

T.C
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AHP İLE POTANSİYEL GÜNEŞ ENERJİ SANTRAL YERLERİNİN
BELİRLENMESİ: ERZURUM İLİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS

Hüsnü Kemal YALÇIN

HAZİRAN-2024
GÜMÜŞHANE



TC.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AHP İLE POTANSİYEL GÜNEŞ ENERJİ SANTRAL YERLERİNİN
BELİRLENMESİ: ERZURUM İLİ ÖRNEĞİ

DETERMINATION OF POTENTIAL SOLAR POWER PLANT LOCATION
USING WITH AHP: ERZURUM PROVINCE EXAMPLE

YÜKSEK LİSANS

Hüsnü Kemal YALÇIN

HAZİRAN-2024
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AHP İLE POTANSİYEL GÜNEŞ ENERJİ SANTRAL YERLERİNİN
BELİRLENMESİ: ERZURUM İLİ ÖRNEĞİ**

**DETERMINATION OF POTENTIAL SOLAR POWER PLANT LOCATION
USING WITH AHP: ERZURUM PROVINCE EXAMPLE**

YÜKSEK LİSANS

Hüsnü Kemal YALÇIN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Burhan Baha BİLGİLİOĞLU

**HAZİRAN-2024
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**AHP ile Potansiyel Güneş Enerji Santral Yerlerinin Belirlenmesi: Erzurum ili Örneği**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

07/06/2024

Hüsnü Kemal YALÇIN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını hazırlama sürecinde bilgi, birikim ve deneyimleriyle her zaman yanımda olan ve bu çalışmanın ortaya çıkmasında en büyük yol göstericim olan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Burhan Baha BİLGİLİOĞLU'na harcamış olduğu zaman, emek ve çaba için teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca lisans ve yüksek lisans aşamalarındaki emeklerinden ötürü Prof. Dr. Fatih DÖNER'e, Dr. Öğr. Üyesi Resul ÇÖMERT'e, Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÇELİK'e ve Dr. Öğr. Üyesi Hatice ÇATAL REİS'e teşekkürlerimi sunarım.

Geçmişten günümüze eğitim-öğretim hayatım boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, beni yetiştiren ve bugün bu çalışmayı gerçekleştirmemde büyük emek ve fedakârlığı olan sevgili aileme, eğitim hayatım boyunca yol göstericim olan kıymetli hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu süreçte bilgi, tecrübe ve manevi desteğini esirgemeyen Aypek Mühendislik Ltd. Şti. sahibi Harita Yüksek ve İnşaat Mühendisi Burçin AYDURMUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hüsnü Kemal YALÇIN
GÜMÜŞHANE-2024

ÖZET

Dünyamız, artan nüfus ve gelişen teknolojinin getirdiği enerji ihtiyacı ile karşı karşıyadır. Bu durum, yenilenemeyen enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve çevreye zarar vermesine neden olmaktadır. Bu nedenle, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmek her zamankinden daha önemli hale gelmiştir. Güneş enerjisi, bu noktada öne çıkan en önemli alternatiflerden biridir. Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça şanslı bir coğrafyada yer almaktadır. Ülkemizin güneşlenme süresi ve güneş ışıınımı yüksektir. Bu durum, güneş enerjisi santralleri kurulumu için ideal koşullar sunmaktadır. Son yıllarda güneş enerjisi yatırımları hızla artmakta ve bu alanda önemli gelişmeler kaydedilmektedir. Güneş enerjisi santrallerinin kurulumu için uygun yer seçimi, yatırımın başarısı açısından kritik önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Erzurum ili için güneş enerjisi santralleri kurulumuna en uygun yerlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) kullanılarak, güneş enerji potansiyeli, arazi kullanımı, eğim, bakı, akarsu ve göllere uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık, yollara uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, fay hatlarına uzaklık, litoloji ve koruma statüsünde bulunan alanlar gibi 11 farklı kriter analiz edilmiştir. Analizler sonucunda Erzurum ilinde güneş enerji santrali kurulumu için uygun bölgeler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde Erzurum ilinde yer alan GES alanları ile üretilen haritada yer alan potansiyel GES alanlarının uyum sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Analitik hiyerarşi yöntemi, Coğrafi bilgi sistemleri, Erzurum, Güneş enerji santrali

SUMMARY

Our world is faced with the energy need brought by increasing population and developing technology. This situation causes rapid depletion of non-renewable energy resources and harms the environment. For this reason, it has become even more significant to turn to clean and sustainable energy sources. At this point Solar energy is one of the most important alternatives . Türkiye is located in a very lucky geography in terms of solar energy potential. Our country has high sunshine duration and solar radiation. This situation offers ideal conditions for the installation of solar power plants. In recent years, solar energy investments have been increasing rapidly and significant developments made in this field. Determining a suitable location for the installation of solar power plants is crucial for the success of the investment.

In this study, it was aimed to determine the most suitable places for the installation of solar power plants for Erzurum province. Using Geographic Information Systems (GIS) and Analytical Hierarchy Method (AHP), solar energy potential, land use, slope, aspect, distance to streams and lakes, distance to energy transmission lines, distance to roads, distance to settlements, distance to fault lines, lithology and protection 11 different criteria, such as areas with status, has been analyzed. As a result of the analyses, suitable regions for solar power plant installation in Erzurum province were obtained. When the results obtained were examined, it was seen that the Solar Power Plant areas in Erzurum province and the potential Solar Power Plant areas in the map produced has been compatible.

Keywords: Analytical hierarchy process, Geographic information systems, Solar power plant, Erzurum

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1.GENEL BİLGİLER	1
1.1.Giriş	1
1.2.Literatür Taraması.....	3
1.3.Çalışmanın Amacı.....	7
1.4.Metodoloji.....	7
1.5.Güneş Enerjisi ve Kullanım Alanları	8
1.5.1.Güneş Enerjisinin Avantajları	9
1.5.2.Güneş Enerjisinin Dezavantajları.....	10
1.6.Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli.....	10
1.7.Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme	12
1.8.Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	13
1.8.1.AHP Yöntemi.....	14
2.UYGULAMA	20
2.1.Çalışma Alanı.....	20
2.2.Yöntem.....	21
2.3.Çalışma Verileri	22
3.ÇALIŞMA VERİLERİNİN DÜZENLENMESİ VE İŞLENMESİ	24
3.1.Çalışma Verilerinin Sınıflandırılması	24
3.1.1.Güneş Enerji Potansiyeli	24
3.1.2.Arazi Kullanımı.....	26
3.1.3.Eğim	29
3.1.4.Bakı	31
3.1.5.Akarsu ve Göllere Uzaklık.....	33
3.1.6.Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık.....	35

3.1.7.Yollara Uzaklık	38
3.1.8.Yerleşim Yerlerine Uzaklık	40
3.1.9.Fay Hatlarına Uzaklık	42
3.1.10.Litoloji.....	44
3.1.11.Koruma Statüsünde Bulunan Alanlar.....	46
3.2.AHP İle Ağırlıkların Belirlenmesi	48
4.BULGULAR.....	50
4.1. Erzurum İli Güneş Enerji Santral Kurulumu İçin Uygun Alanlar	50
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKÇA.....	56
ÖZGEÇMİŞ	60



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Önem dereceleri.....	15
Tablo 2. Güneş enerji potansiyeli sınıflandırma sonrası verilen puanlar.....	26
Tablo 3. Arazi kullanımı sınıflandırma sonrası verilen puanlar	28
Tablo 4. Eğim sınıflandırma sonrası verilen puanlar	31
Tablo 5. Bakı sınıflandırma sonrası verilen puanlar	33
Tablo 6. Akarsu ve göller sınıflandırma sonrası verilen puanlar	35
Tablo 7. Enerji nakil hatları sınıflandırma sonrası verilen puanlar.....	37
Tablo 8. Yollara uzaklık sınıflandırma sonrası verilen puanlar.....	39
Tablo 9. Yerleşim yerlerine uzaklık sınıflandırma sonrası verilen puanlar	41
Tablo 10. Fay hatlarına uzaklık sınıflandırma sonrası verilen puanlar.....	43
Tablo 11. Litoloji sınıflandırma sonrası verilen puanlar.....	45
Tablo 12. Koruma statüsünde bulunan alanlar sınıflandırma sonrası verilen puanlar	47
Tablo 13. Analitik hiyerarşi yöntemi sonucu elde edilen karşılaştırma matrisi.....	48
Tablo 14. Analitik hiyerarşi yöntemi sonucu elde edilen ağırlıklar.....	49
Tablo 15. Analitik hiyerarşi yöntemi sonucu elde edilen tutarlılık oranı	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dünya güneş enerji potansiyel atlası (URL-6).....	9
Şekil 2. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (URL-7).....	11
Şekil 3. Türkiye global radyasyon değerleri (KWH/m ² -gün) (URL-8)	12
Şekil 4. Türkiye güneşlenme süreleri (KWH/m ² -Saat) (URL-8).....	12
Şekil 5. Çalışma alanı (URL-10).....	20
Şekil 6. Erzurum güneş enerji potansiyeli (URL-8).....	21
Şekil 7. Erzurum global radyasyon değerleri (KWH/m ² -gün) (URL-8).....	21
Şekil 8. Erzurum güneşlenme süreleri (KWH/m ² -saat) (URL-8)	21
Şekil 9. İş - Akış şeması.....	22
Şekil 10. Erzurum ili güneş enerji potansiyeli haritası	25
Şekil 11. Erzurum ili sınıflandırılmış güneş enerji potansiyeli haritası	26
Şekil 12. Erzurum ili arazi kullanımı haritası	27
Şekil 13. Erzurum ili sınıflandırılmış arazi kullanımı haritası	29
Şekil 14. Erzurum ili eğim haritası	30
Şekil 15. Erzurum ili sınıflandırılmış eğim haritası	31
Şekil 16. Erzurum ili bakı haritası.....	32
Şekil 17. Erzurum ili sınıflandırılmış bakı haritası	33
Şekil 18. Erzurum ili akarsu ve göller haritası.....	34
Şekil 19. Erzurum ili sınıflandırılmış akarsu ve göllere uzaklık haritası.....	35
Şekil 20. Erzurum enerji nakil hatları haritası	36
Şekil 21. Erzurum ili sınıflandırılmış enerji nakil hatlarına uzaklık haritası	37
Şekil 22. Yol haritası.....	38
Şekil 23. Erzurum ili sınıflandırılmış yollara uzaklık haritası	39
Şekil 24. Yerleşim yerleri haritası.....	40
Şekil 25. Erzurum ili sınıflandırılmış yerleşim yerlerine uzaklık haritası	41
Şekil 26. Fay hatları haritası.....	42
Şekil 27. Erzurum ili sınıflandırılmış fay hatlarına uzaklık haritası	43
Şekil 28. Litoloji haritası.....	44
Şekil 29. Erzurum ili sınıflandırılmış litoloji haritası	45
Şekil 30. Koruma statüsünde bulunan alanlar haritası	46
Şekil 31. Erzurum ili sınıflandırılmış koruma statüsünde bulunan alanlar haritası	47
Şekil 32. Erzurum ili güneş enerji santrali kurulumu için uygun alanlar haritası.....	51

Şekil 33. Erzurum ili güneş enerji santrali kurulu (kırmızı), yapım aşamasında (beyaz), planlanan (mavi) ve önerilen (turuncu) alanların sembolize olarak gösterimi 52



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\lambda_{\max}$	: En büyük özdeğer
n	: Kriter sayısı
w	: Özvektör
w'	: Özdeğer
AHP	: Analytic Hierarchy Process
AHS	: Analitik Hiyerarşi Süreci
AHY	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
ANP	: Analytical Network Process
ArcGIS	: Coğrafi Bilgi Sistemi Yazılımı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CI	: Tutarlılık İndeksi
CR	: Tutarlılık Oranı
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ELECTRE	: Elimination and Choice Translating Reality
GEPA	: Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
km ²	: Kilometre kare
kw/m ²	: Kilowatt/Metre kare
kwh	: Kilowatt-Saat
kwh/m ²	: Kilowatt-Saat/Metre kare
MACBETH	: Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MW	: Megawatt
MWe	: Megawatt net
PROMETHEE	: The Preference Ranking Organization Method For Enrichment
RI	: Rastgele Değer İndeksi
SRA	: Sel Riski Analizi
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya, gün geçtikçe önemli hale gelen ve sürekli artış gösteren enerji ihtiyacını karşılamak için çözüm aramaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, enerji güvenliğini ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla yenilikçi çözümler peşindedir. Bu arayışın merkezinde ise yenilenebilir enerji kaynakları yer almaktadır. Petrol, doğalgaz ve kömür gibi geleneksel fosil kaynakların sınırlı olması ve kullanımı sonucunda ortaya çıkan hava kirliliği, küresel ısınma gibi çevresel problemler yeni arayışlara yol açmaktadır (Aslan, 2019).

Enerji kaynakları, hem kullanımlarına hem de dönüştürülebilirliklerine göre farklı kategorilere ayrılır. Kullanımına göre yenilenebilir (güneş, rüzgâr, hidroelektrik vb.) ve yenilenemez (fosil yakıtlar, nükleer enerji) kaynaklara, dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil (doğadan doğrudan elde edilen) ve ikincil (birincil kaynaklardan dönüştürülen) kaynaklara ayrılır. Tükenebilir enerji kaynakları, zamanla tükenmesi beklenen ve sınırlı rezervlere sahip kaynaklardır. Fosil yakıtlar ve nükleer enerji bu gruba girer. Yenilenebilir enerji kaynakları ise doğada sürekli yenilenerek gelecekte de tükenmeyecek kaynaklardır (İnan vd., 2018).

Petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlar, milyonlarca yıl önce yaşamış canlıların kalıntılarından oluşmuştur. Bu canlılar öldükten sonra, oksijensiz ortamda ve yüksek basınç altında gömülerek zamanla katılaşmış ve fosilleşmiştir. Bu fosilleşme süreci, milyonlarca yıl gibi oldukça uzun bir zaman dilimini kapsar. Fosil yakıtların oluşumu için gerekli olan jeolojik koşullar ve canlı kalıntılarının bozulmadan korunması oldukça özeldir. Bu nedenle, bu kaynakların yenilenmesi söz konusu değildir. Günümüzde tüketilen miktarda fosil yakıtın yeniden oluşması için milyonlarca yıl geçmesi gerekir. Dolayısıyla, petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlar tükenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılır. Bu kaynakların kullanımının artmasıyla birlikte, gelecekte azalmaları ve hatta tükenmeleri öngörülmektedir. Uranyum ve toryum gibi nükleer enerji kaynakları da sınırlı rezervlere sahip olup, fosil yakıtlar gibi tükenebilir enerji kaynakları arasında yer alır. Enerji kaynaklarının bilinçli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılması, gelecekte enerji güvenliğinin ve çevrenin korunması için oldukça önemlidir (İnan vd, 2018).

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyoenerji gibi doğanın sunduğu sınırsız ve temiz enerji potansiyelini barındırmaktadır. Bu kaynaklara yatırım yapmak, enerji bağımsızlığını artırmanın, sera gazı emisyonlarını düşürmenin ve daha sağlıklı bir çevre yaratmanın anahtarı olarak görülmektedir. Son yıllarda, güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi yenilenebilir enerji teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler ve maliyet düşüşleri, bu alana olan ilgiyi de beraberinde getirmektedir. Birçok ülke, enerji politikalarını yenilenebilir enerjiye odaklayarak, bu alandaki yatırımlarını hızla artırmaktadır. Enerji sorununa çözüm arayışında, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, kaçınılmaz bir gereklilik olarak karşımıza çıkmakla birlikte bu dönüşüm, küresel ısınma gibi küresel ölçekteki problemlere karşı da önemli bir mücadele aracı olarak dikkatleri üzerine çekmektedir (Aslan, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkan güneş enerjisi, çevresel açıdan birçok avantaja sahiptir. Güneş panelleri ile güneş ışınlarının elektrik enerjisine dönüştürülmesi sırasında herhangi bir sera gazı veya zararlı emisyon oluşmaz. Bu sayede hava kirliliği ve iklim değişikliğine neden olan diğer enerji kaynaklarının aksine, güneş enerjisi oldukça temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Bunlara ek olarak, güneş enerjisi tükenmez bir kaynaktır. Güneş ışığı her zaman var olduğu için, güneş enerjisi sonsuz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilir. Ayrıca, güneş enerjisi sistemlerinin işletme ve bakım giderleri oldukça düşüktür. Güneş panelleri kurulduktan sonra uzun yıllar boyunca sorunsuz bir şekilde çalışabilir ve ek bir yakıt maliyeti gerektirmez. Güneş enerjisinin bir diğer önemli avantajı ise enerjide dışa bağımlılığı azaltmasıdır. Güneş enerjisi sistemleri ile kendi elektriğinin üretilmesi ve enerji ihtiyacının karşılanabilmesi enerji ithalatına olan ihtiyacı azaltır ve ülkenin enerji güvenliğini artırır (Ayday vd., 2016).

Dünyaya ulaşan güneş ışınlarının yoğunluğu, atmosferin üst sınırında yaklaşık 1.37 kW/m^2 'dir. Bu değer, güneş sabiti olarak da bilinir. Güneş enerjisinden en fazla faydalanan bölge ise ekvatorun 35° kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan "Dünya Güneş Kuşağı"dır. Bu bölge, yılda ortalama 2000-3500 saat güneş ışığı alır ve güneş potansiyeli $3.5-7 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ arasında değişir. Dünyadaki güneş radyasyonu miktarı, bölgeye göre değişiklik gösterir. Kurak bölgelerde bu değer $2000-2500 \text{ kWh/m}^2$ iken, daha üst enlemlerde $1000-1500 \text{ kWh/m}^2$ arasında değişmektedir (İnce, 2021).

Türkiye, coğrafi konumu sayesinde güneş enerjisi açısından oldukça şanslı bir ülkedir. Dünyaya saniyede yaklaşık 170 milyon MW güneş enerjisi gelirken, Türkiye 110 günlük güneşlenme süresiyle bu enerjiden önemli ölçüde faydalanabilir. Bu sayede, Türkiye'de birim metre kare başına yıllık ortalama 1.100 kWh 'lik güneş enerjisi üretim

kapasitesi mevcuttur. Avrupa’da güneş enerjisi yatırımlarında öne çıkan Almanya, İspanya ve Çek Cumhuriyeti gibi ülkelere kıyasla Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli daha fazladır. Bununla birlikte, son yıllarda artan yatırımlar sayesinde Türkiye’nin bu alandaki yatırım oranının da hızla arttığı ve yakın zamanda bu ülkelerdeki oranlara ulaşacağı öngörülmektedir (İnce, 2021).

Ülkemizde enerji ihtiyacında meydana gelen artış, güneş enerjisi gibi sürdürülebilirlik açısından son derece önemli olan yenilenebilir kaynaklara olan talebi de beraberinde getirmektedir. Sonsuz bir güç kaynağı olması ve tesis kurulumundan sonraki süreçte maliyetsiz olması, güneş enerjisine olan ilgiyi artırmaktadır. Ülkemizin coğrafi konumu güneş enerjisinden faydalanma noktasında büyük bir avantaj sağlamaktadır ancak GES kurulumunda yatırımın geri dönüş süresini kısaltmak ve santralin daha verimli çalışmasını sağlamak için göz önünde bulundurulması gereken bazı faktörler vardır.

Bu çalışmanın temel amacı, Erzurum ilinde Güneş Enerjisi Santralleri (GES) için en uygun alanları belirlemek ve haritalandırmaktır. Bu kapsamda, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak, yeni bir GES kurulumu durumunda en uygun alanın seçilmesine yardımcı olacak bir model geliştirmektir.

1.2. Literatür Taraması

Hızla gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacı, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, ülkemizin güneş potansiyeli açısından oldukça zengin olması nedeniyle diğer kaynaklara kıyasen daha fazla dikkat çekmektedir. Güneş enerjisinden en yüksek verimi ve en az maliyeti elde etmek için yer seçimi kritik önem taşımaktadır. Bu noktada, GES için yer seçimi çalışmalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olarak AHP yöntemi kullanılmaktadır. AHP, karmaşık karar verme problemlerini sistematik bir şekilde analiz ederek en uygun alternatifi belirlemeye yardımcı olan bir yöntemdir.

CBS ve AHP kullanılarak çeşitli bölgelerde GES yer seçimi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazı örnekler şunlardır:

Baban ve Parry (2001) gerçekleştirdikleri bu çalışmanın temel amacı kurulması planlanan rüzgar santrallerine yönelik yapılan anket çalışması ve literatür taraması sonucu elde edilen bilgiler ışığında Birleşik Krallık için CBS destekli bir karar destek sistemi oluşturmaktır (Baban ve Parry, 2001).

Aydin vd. (2010) tarafından yapılan çalışmanın amacı rüzgâr türbinlerinin yer seçimine yönelik CBS araçlarını kullanarak rüzgâr enerji potansiyeli ve çevreye uygunluğuyla ilgili bir karar destek sistemi oluşturmaktır (Aydin vd., 2010).

Charabi ve Gastli (2011) yaptıkları bu çalışmanın amacı Umman'da yapımı planlanan büyük GES alanlarının arazi uygunluğunu CBS tabanlı mekânsal analizlerle değerlendirmektir (Charabi ve Gastli, 2011).

Şimşek (2014) tarafından yapılan çalışmada amaç, rüzgâr enerjisinin potansiyelinden elde edilecek verimi en üst düzeye çıkarmak, ÇKKV ve CBS entegrasyonunu kullanarak rüzgâr santralleri için en uygun yerleri belirlemektir (Şimşek, 2014).

Xu vd., (2015) bu çalışmada kömür yakıtlı elektrik santrali sahasının belirlenmesi için yollar, elektrik ağları, yakıt kaynakları ve arazi kullanımı gibi kriterleri bir araya getirerek mekânsal analize dayanan CBS tabanlı bir modelleme yapmayı amaçlamaktadır (Xu vd., 2015).

Üke (2016) bu çalışmada Çorum'da farklı mağazalara ve etkinliklere ev sahipliği yapacak bir AVM için tüketici odaklı en uygun lokasyonu belirlemeyi amaçlamaktadır. AHP yöntemi kullanılarak, AVM kurulumuna uygun lokasyonlar belirlenecek ve tüketicilerin tercihleri doğrultusunda en ideal yerler tespit edilecektir (Üke, 2016).

Demirer (2017) çalışmasında temel amaç, ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemini kullanarak elektrik üretim amaçlı güneş enerjisi santrali kurulumu için en uygun bölgenin belirlenmesidir (Demirer, 2017).

Akçay (2019) bu çalışmada, ülkemizde güneş enerji potansiyeli yüksek 6 il seçerek, güneş enerjisi yatırımı için en uygun ili belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda AHP ile kriterler ağırlıklandırılacak ve TOPSIS yöntemi kullanılarak bu iller sıralanacaktır. Sonuç olarak, elde edilen bulgular ışığında güneş enerjisi yatırımı için en uygun il belirlenecektir (Akçay, 2019).

Solğun (2019) tarafından gerçekleştirilen bu tez çalışmasında amaç, CBS ortamında bir karar destek sistemi tasarlanarak GES için uygun arazilerin, arazi çalışması yapılmaksızın belirlenmesidir (Solğun, 2019).

Acar (2019) bu çalışma, Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki İnebolu Havzası'nda heyelan duyarlılık haritalaması oluşturmayı ve bölgedeki heyelan riskini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda 10 farklı kriter belirlenmiş ve bu kriterlere ilişkin haritalar CBS kullanılarak üretilmiştir. Son aşamada ise AHP kullanılarak faktör ağırlıkları belirlenmiş ve bu ağırlık değerlerine göre heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Acar, 2019).

Aslan (2019) bu çalışmada, CBS teknikleri kullanılarak Kayseri’de GES kurulumuna en uygun alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, çalışma alanına ait konumsal veriler analiz edilebilir hale getirilerek bu veriler ışığında uygunluk haritası oluşturulmuş, elde edilen sonuç il genelinde kurulu olan bazı güneş enerji santrallerinin konumları ile karşılaştırılarak, mevcut santrallerin yer seçiminin ne kadar doğru yapıldığı değerlendirilmiştir (Aslan, 2019).

Giamalaki ve Tsoutsos (2019) bu çalışmada CBS ve AHP kullanarak Akdeniz’de güneş enerji santralleri kurulumu için en ideal konumların belirlenmesine ve sürdürülebilir bir yapı olmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Giamalaki ve Tsoutsos, 2019).

Özcan (2019) Bu tez çalışmasında, taşınmaz değerlemesinde AHP ve CBS yöntemlerinin birlikte kullanımının etkinliği sonucu taşınmaz değerleri ve aralarındaki satış ilişkileri incelenmiştir (Özcan, 2019).

Ceylan ve Yılmaz (2020) tarafından, Sivas il merkezi ve yakın çevresinin gelecekteki yerleşim ihtiyaçları için uygun alanları belirlemek amacıyla kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. CBS tabanlı bir yaklaşım benimseyen çalışma, topoğrafik yapı, litolojik birimler, arazi kullanım kabiliyet sınıfları, erozyon, su kaynakları ve arazi kullanımı gibi çeşitli faktörleri göz önünde bulundurarak yerleşime uygun ve uygun olmayan alanları belirlemiştir (Ceylan ve Yılmaz, 2020).

Ertunç ve Çay (2020) yaptıkları bu çalışmada, Bayburt ve Gümüşhane illeri için en uygun havalimanı konumlarının belirlenmesini amaçlamışlardır. Bu çalışmada, CBS ve ÇKKV yöntemlerinden olan AHP kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle havalimanı yer seçimi için önemli kriterler belirlenmiş ve bu kriterlerin ağırlıkları AHP yöntemi ile hesaplanmıştır. Daha sonra, CBS kullanılarak Bayburt ve Gümüşhane illerindeki tüm potansiyel alanlar bu kriterler doğrultusunda değerlendirilmiştir (Ertunç ve Çay, 2020).

Günen (2021) bu çalışma Kahramanmaraş ilinde güneş enerji santralleri için en uygun yerleri belirlemek amacıyla CBS ve AHP yöntemleri birlikte kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak uygun yerleri gösteren uygunluk haritası oluşturulmuştur (Günen, 2021).

Günen (2021) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada Kayseri’de GES için en uygun yer belirlenerek kurulum yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla CBS ve ÇKKV yöntemleri kullanılarak en uygun yerler belirlenmiştir (Günen, 2021).

İnceyavuz (2022) bu çalışmada yapımı planlanan AVM projesi için uygulama alanı olarak Adana ili seçilmiştir. Çalışmada CBS ve değerlendirme yöntemlerinden

faydalanılarak literatürdeki önceki çalışmalar ve uzman görüşleri ışığında en uygun lokasyonun belirlenmesi amaçlanmıştır (İnceyavuz, 2022).

Özçelik (2022) çalışmada Muş'un güneş enerjisi potansiyeli, CBS ve AHP yöntemi ile araştırılmış ve bölgeye özgü bir güneş enerjisi haritası oluşturulmuştur. Elde edilen haritanın, Muş için güneş enerjisi yatırımlarında önemli bir rehber olabileceği düşünülmektedir (Özçelik, 2022).

Beycur (2022) Elazığ ili için gerçekleştirilen bu çalışmada AHP ve CBS kullanılarak GES için uygun alanlar belirlenmiştir. 12 kriter belirlenerek gerçekleştirilen bu çalışmada kriterlerin ağırlıkları AHP ile hesaplanmıştır. Kriterlere göre uygunluk haritaları CBS'de oluşturularak Elazığ'da GES için en uygun konumlar belirlenmiştir.

Tanrıkulu (2023) gerçekleştirdiği bu çalışmada, Denizli'de GES için yer seçimi modelini geliştirmek üzere CBS ve AHP yöntemlerini entegre etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, Denizli ilinde gerçekleştirilmiş olup sonucunda uygunluk haritası oluşturulmuştur (Tanrıkulu, 2023).

Demir (2023) bu çalışmada, Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'nü kapsayan bir çalışma alanı için orman yangın riski haritası oluşturulmuştur. Haritalamada, CBS ve AHP yöntemi birlikte kullanılmıştır. AHP yöntemi ile ağaç türleri, kapalılık, meşcere çağları, eğim, bakı, yollara, yerleşim yerlerine ve ziraat alanlarına yakınlık gibi yangın riskini etkileyen faktörlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Belirlenen ağırlıklar ve CBS verileri kullanılarak yangın riski haritası üretilmiştir (Demir, 2023).

İnce (2023) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada sel afetlerinin etkisini azaltmak ve gerekli önlemleri belirlemek için sel risk analizi (SRA) yapılmıştır. CBS ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılarak yağış, eğim, arazi kullanımı gibi parametreler değerlendirilmiş ve sel risk haritası oluşturulmuştur (İnce, 2023).

Taoufik ve Fekri (2023) gerçekleştirdikleri bu çalışmada Fas'a bağlı Souss-Massa bölgesinin güneş-hidrojen dönüşüm potansiyelini AHP ve CBS araçları ile birlikte incelemeyi amaçlamaktadırlar. Hidrojen üretimi için en ideal alanların belirlenmesi için 10 farklı kriter belirlenmiş ve bu kriterler AHP ile ağırlıklandırılmış ve potansiyel alanlar belirlenmiştir (Taoufik ve Fekri, 2023).

Albraheem ve Awlaqi (2023) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, rüzgâr santralleri için en uygun saha seçimini belirlemek amacıyla teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal faktörleri kapsayan bir analiz sunulmuştur. AHP ve CBS tekniklerini kullanarak ve ana kriterleri göz önünde bulundurarak kapsamlı bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır (Albraheem ve Awlaqi, 2023).

1.3. Çalışmanın Amacı

Modern dünyada, nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte enerjide meydana gelen ihtiyaçta hızla artmaktadır. Artan bu ihtiyacı karşılamak için fosil yakıtlara olan bağımlılık artarken, bu durum çevresel kirliliğe ve iklim değişikliğine yol açmaktadır. Aynı zamanda, fosil kaynakların sınırlı olması ve artan talep nedeniyle fiyatları da yükselmektedir. Bu durum karşısında, birçok ülke alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, rüzgâr, güneş, su, biyoenerji, jeotermal ve hidroelektrik gibi temiz ve tükenmez kaynaklardan elde edilen enerjiyi ifade eder. Bu kaynaklar, fosil yakıtlara kıyasla çevreye daha az zarar verir ve daha sürdürülebilir bir enerji kaynağı sunar (Solğun, 2019).

Ülkemizde enerji ithalatının büyük bir kısmı fosil yakıtlara harcanmaktadır. Ancak, ülkemiz coğrafi konumu dolayısıyla büyük bir yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir ve güneş enerjisi açısından oldukça zengin bir ülkedir. Güneşlenme süresi ve güneş ışınlarının yoğunluğu bakımından oldukça elverişli bir coğrafi konuma sahip olan Türkiye, güneş enerjisi yatırımları için büyük bir potansiyele sahiptir (Solğun, 2019).

Bu çalışmanın amacı, Erzurum ilinde yapılması planlanan GES için ihtiyaç duyulan bölgenin tespiti, GES için uygunluk haritasının elde edilmesi, GES kurulumunu etkileyen kriterlerin bulunması, sonuç olarak da GES için uygunluk haritasının elde edilmesidir.

1.4. Metodoloji

Bu tez çalışmasına öncelikle literatür taraması yapılarak başlandı. Yapılan araştırmalarda konuyla ilgili öncesinde yapılmış tezler, yazılmış kitaplar ve makaleler incelenerek konuyla ilgili bilgiler derlendi. Veri toplama sürecinde, Erzurum ilinin topoğrafik, jeolojik ve iklimsel özelliklerine ait veriler gerekli kaynaklardan elde edilmiş ve CBS ile analize uygun hale getirilmiştir. Elde edilen verilerin AHP yöntemi kullanılarak analiz edilebilmesi için kriterler ve alt kriterler belirlenmiş, bu kriterler ışığında alanında uzman 12 Harita Mühendisi, 9 İnşaat Mühendisi, 7 Elektrik Mühendisi ve 2 Jeoloji Mühendisi olmak üzere toplam 30 farklı kişiye yönelik anket çalışması uygulanmış, bunun sonucunda ikili karşılaştırmalar yapılmış, öncelik oranları hesaplanmış, tutarlılık kontrolü yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Sonuçlar, Erzurum ilindeki potansiyel güneş enerjisi santral yerlerini belirlemek için kullanılmış ve kriterlerin ağırlıklarıyla birlikte belirlenmiştir.

1.5. Güneş Enerjisi ve Kullanım Alanları

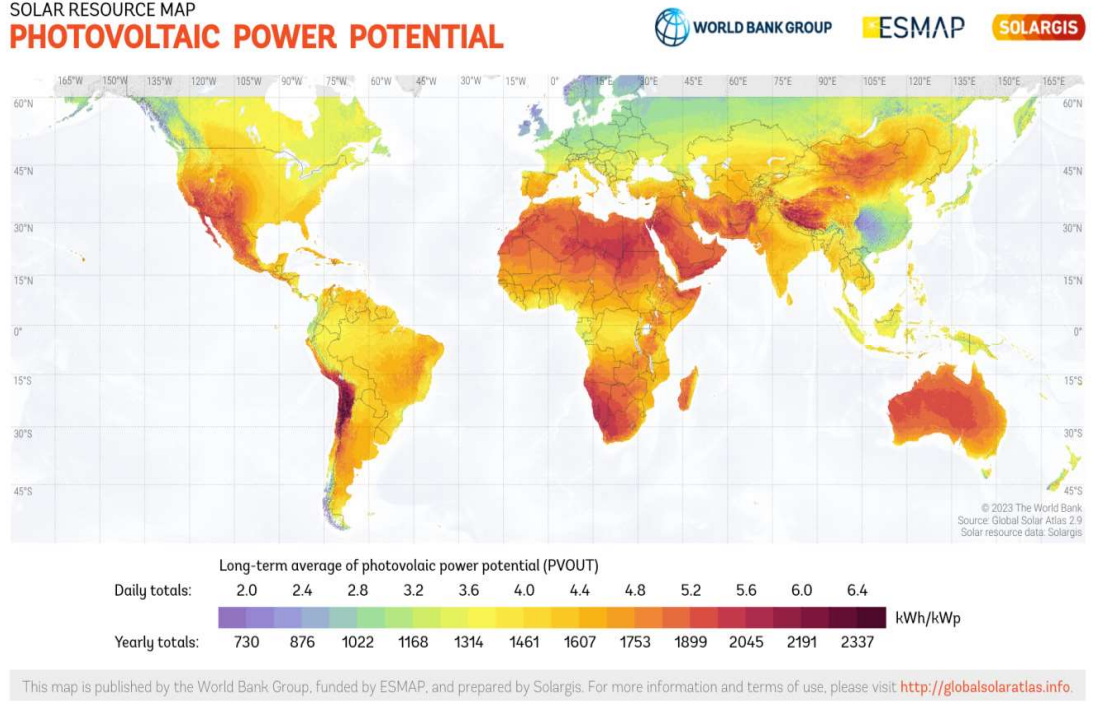
Dünya, var olduğu ilk andan itibaren güneşin cömert enerjisinden faydalanmıştır. Bu kadim güç kaynağı, medeniyetlerin yükselişine tanıklık etmiş ve insanlığın ilerlemesine katkıda bulunmuştur. Güneş enerjisinin bilinen ilk uygulamaları oldukça eskilere dayanmaktadır. Yiyecekleri kurutmak ve korumak için güneş ışığından faydalanmak, insanlığın en eski uygulamalarından biridir. Zamanla bu basit yöntemler gelişerek, güneş enerjisini toplama ve depolama fikirleri ortaya çıkmıştır. Güneş enerjisi, günümüzde de yenilenebilir enerji kaynakları arasında öncü konumdadır. Temiz, güvenilir ve sürdürülebilir olması, onu geleceğin enerjisi olarak öne çıkarmaktadır. Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak ve sera gazı emisyonlarını düşürmek için güneş enerjisinden daha fazla faydalanılması gerekmektedir (Yakşı, 2021).

Güneş, sadece ışık ve ısıdan ibaret değil, dünyanın ihtiyaç duyduğu enerjinin de temel kaynağıdır. Yeryüzünün şekli ve elips yörüngesi gibi faktörler, güneş ışınlarının farklı bölgeleri farklı oranlarda ısıtmasına neden olur. Bu ısı farklılıkları, atmosferde basınç dengesizlikleri yaratarak rüzgârlar oluşmasına zemin hazırlar. Rüzgârlar ise kinetik enerjileriyle yelkenli gemileri çalıştırır, rüzgâr türbinlerini döndürerek elektrik üretir ve daha birçok fayda sağlar. Güneş ışığının, fotosentez yoluyla bitkiler tarafından enerjiye dönüştürülmesiyle besin üretimi gerçekleşir. Bu besinler, besin zinciri aracılığıyla tüm canlılara ulaşarak onların enerji ihtiyacını karşılar. Dolayısıyla, biyokütle enerji kaynakları da fotosentez ve besin zincirinin bir sonucu olarak güneş enerjisi ile dolaylı bir şekilde bağlantılıdır. Denizler de güneş ışınlarının etkisiyle farklı oranlarda ısınır. Bu ısı farklılıkları deniz suyu akıntılarına ve dalgalara yol açar. Dalga ve akıntı enerjisi ise bu akıntıların ve dalgaların kinetik enerjisinden faydalanarak elektrik üretmek için kullanılır. Görüldüğü gibi, güneş ışınlarının denizleri ısıtması sonucu ortaya çıkan dalga ve akıntı enerjisi de güneş enerjisi ile dolaylı bir ilişkiye sahiptir (Baydar, 2021).

Güneş, sadece bir ısı ve ışık kaynağı olmanın ötesinde, dünya üzerinde süregelen yaşamın ve enerjinin temelini oluşturan bir güçtür. Güneş enerjisini doğrudan veya dolaylı olarak kullanan çeşitli enerji kaynakları sayesinde, yeryüzünün işleyişi ve insanlığın kalkınması sağlanır. Güneşin bu muazzam gücünden faydalanmak, sürdürülebilir bir geleceğe adım atmak için büyük önem taşımaktadır (Baydar, 2021).

Güneş enerjisi temiz, yenilenebilir ve çevre dostudur. Fabrikalardan tarıma, hastanelerden akaryakıt istasyonlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılabilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Evlerin elektrik ihtiyacını karşılayan çatı güneş

panelleri oldukça popülerdir. Elektriğin olmadığı yerlerde, sulamada, seralarda, ısıtmada, trafik lambalarında ve işaretlerde kullanılan güneş enerjisi bu kullanıma yönelik verilebilecek örneklerden bazılarıdır. Dünya güneş enerji potansiyel atlası Şekil 1.'de verilmiştir (URL-6).



Şekil 1. Dünya güneş enerji potansiyel atlası (URL-6).

1.5.1. Güneş Enerjisinin Avantajları

Güneş, gezegenimizin ısı kaynağı olmasının yanı sıra, yenilenebilir enerji kaynakları arasında da öncü konumdadır. Dünyada kullanımı oldukça fazla olan bu enerji türü, hem ülkemiz hem de dünya için büyük önem taşımaktadır. Güneş ışınlarından faydalanarak üretilen enerji, sahip olduğu birçok avantajla öne çıkmaktadır. Güneş enerjisinin sağladığı bazı avantajlara aşağıda yer verilmiştir (Şahin, 2022).

- Güneş yenilenebilirlik açısından sonsuz bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisi üretimi sırasında sera gazı emisyonu veya başka bir atık oluşmaz, hava ve toprak kirliliği açısından çevreye zararı yoktur.
- Kuruldukları alanlarda çevreye gürültü kirliliği vermezler.
- Tesis kurulumu sonrasında işletme ve bakım maliyetleri minimum seviyededir.
- Güneş enerjisinde dışa bağımlılık söz konusu olmadığından ötürü ekonomik olarak yatırım kazancı yüksektir.

- Tesis kurulumu aşamasında ve sonrasında gelişen işletme süreçlerinde istihdama katkısı vardır (Şahin, 2022).

1.5.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

Güneş enerjisinin sunmuş olduğu birçok avantaj olsa da, bununlar birlikte göz önünde bulundurulması gereken bazı dezavantajlar da vardır. Güneş enerjisinin dezavantajlarına aşağıda yer verilmiştir.

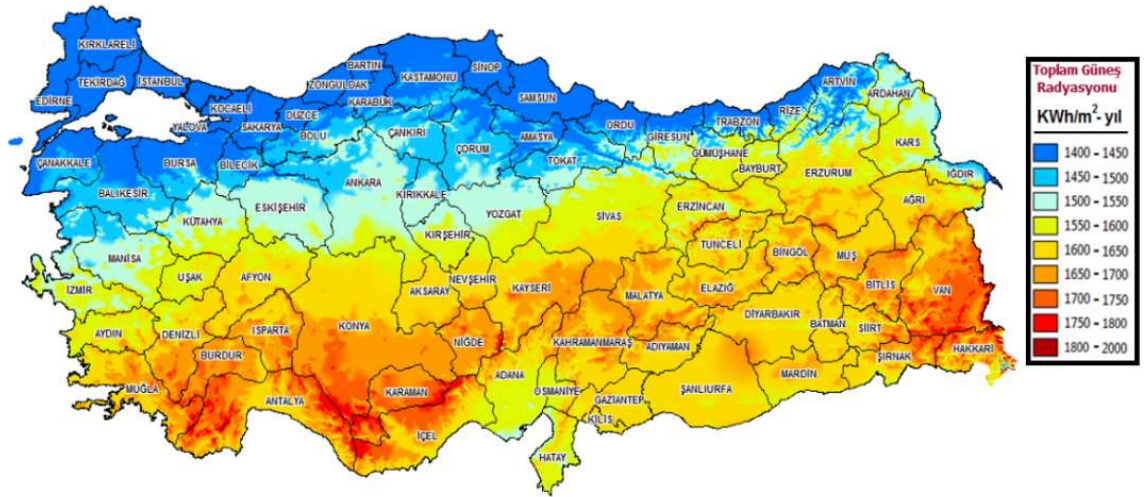
- Güneş enerji santrallerinin ilk kurulum maliyetlerinin fazla olması en büyük dezavantajdır.

- İklim, mevsim, gece ve gündüz sürelerine bağlı olarak enerji üretiminde meydana gelen dalgalanmalar enerjinin depolanma gereksinimini ortaya çıkarmakta, buda sonuç olarak depolama maliyeti oluşturmaktadır.

- Güneş enerji santrallerinin kurulabilmesi için geniş arazilere ihtiyaç duyulur (Şahin, 2022).

1.6. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli

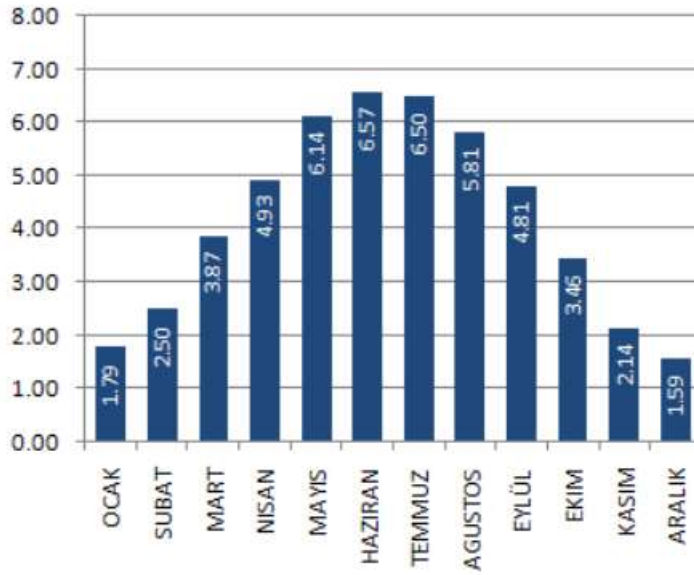
Türkiye, coğrafi konumu ve iklimi sayesinde güneş enerjisi açısından müthiş bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyelin farkına son dönemlerde varılmasıyla birlikte, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı da harekete geçmiş ve 5 yıllık titiz çalışmalar sonucunda "Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası" (GEPA) oluşturulmuştur. GEPA'nın ortaya koyduğu veriler, Türkiye'nin güneş enerjisi konusunda ne kadar şanslı olduğunu bir kez daha kanıtlar niteliktedir. Yıllık ortalama 2.741 saat güneşlenme süresi (günlük 7.5 saat) ve metrekare başına 1.527 kWh/yıl (günlük 4.18 kWh/gün) güneş enerjisi alımı, bu alanda ülkenin potansiyelini net bir şekilde göstermektedir. Hem ülkenin enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynayabilecek hem de yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak çevreye katkıda bulunabilecek güneş enerjisi potansiyelinin farkında olmak ve onu değerlendirmek ülkenin geleceği açısından da büyük önem arz etmektedir. Bununla birlikte güneş enerjisi alanındaki yatırımların artması ve teşviklerin devam etmesi halinde Türkiye güneş enerjisinde öncü ülkelerden biri haline getirebilir. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 2.'de verilmiştir (URL-7).



Şekil 2. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (URL-7).

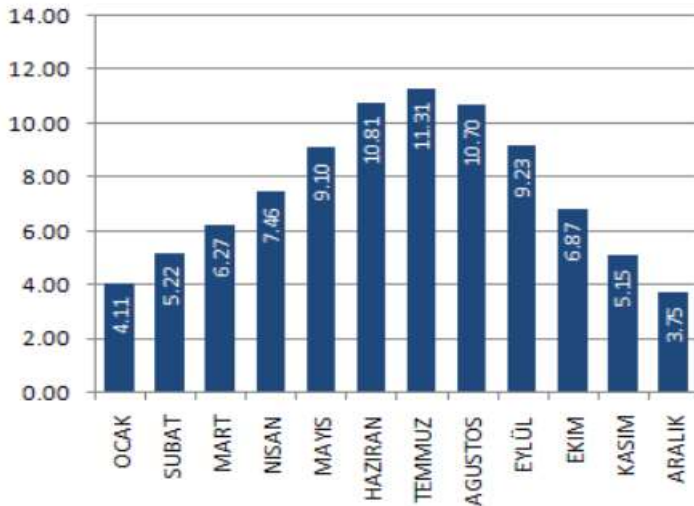
Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin incelendiği bu haritada koyu kırmızı ve sarı tonlar, güneş ışıınımı alan bölgeleri gösterir. Bu bölgeler arasında güneş enerjisi potansiyeli en yüksek olan bölgeler Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ve İç Anadolu'dur. Bu bölgeler, haritada kırmızı renkle gösterilmiştir. Güneş ışıınımı daha az alan Karadeniz kıyıları ve Marmara Bölgesi ise haritada açık ve koyu mavi tonlarla gösterilmiştir.

Türkiye'de güneş ışıınım değerleri bölgelere göre önemli ölçüde değişiklik gösterir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, yıllık 1460 kWh/m² güneş ışıınımı ile en yüksek değere sahip bölge durumundadır. Karadeniz Bölgesi 1120 kWh/m² ile en düşük ışıınımı alan bölge olmasına rağmen bu değer bile birçok ülkede oldukça yüksek olarak kabul edilir. Şekil 3.'te Türkiye'nin aylık ortalama güneş radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) gösterilmektedir. Bu grafikten anlaşılabileceği üzere, güneş ışıınımı değerleri kış aylarında düşerken, yaz aylarında artmaktadır. Güneş ışıınımı değerlerinin bölgelere göre farklı olması, bölgelerin coğrafi özelliklerindeki farklılıklar ile ilgili bir durumdur (Demir, 2022).



Şekil 3. Türkiye global radyasyon değerleri (KWH/m²-gün) (URL-8).

Türkiye, coğrafi konumu sayesinde güneş ışınlarından bolca faydalanabilen bir ülkedir. Orta kuşakta yer alması sebebiyle, yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) güneşlenme süresi uzarken, kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat) kısalmaktadır. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre, Temmuz ayı 11.31 saat ile en fazla güneş alan ayken, Aralık ayı 3.75 saat ile en az güneş alan aydır. Şekil 4.'te ise Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri gösterilmektedir (Demir, 2022).



Şekil 4. Türkiye güneşlenme süreleri (KWH/m2-Saat) (URL-8).

1.7. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme

CBS, bir bilgi sistemi olmasının yanında aynı zamanda konumsal veriyi toplayan, işleyen ve analiz eden güçlü bir araçtır. Temel olarak, haritalarda ve grafiklerde görselleştirilebilen dünyanın coğrafi özelliklerini sayısal formata dönüştürür. CBS bir

karar destekleme sistemi olarak da düşünüldüğünde konumsal verinin analizi sayesinde, daha bilinçli ve doğru kararlar vermeye yardımcı olur. Bu sayede şehir planlama, arazi kullanımı, doğal afet yönetimi ve çevre koruma gibi birçok alanda kritik bir öneme sahiptir (Balcı vd., 2000).

CBS, sadece grafik verileri değil, niteliksel verileri de işleyebilen, karmaşık bir hibrit sistemdir. Basit haritalar oluşturmaktan karmaşık karar verme süreçlerine kadar uzanan geniş bir yelpazede kullanılabilir. Ulaşım, telekomünikasyon, çevre ve kıyı planlaması, ticaret, güvenlik, mühendislik, olimpiyat organizasyonları ve hatta siyaset gibi alanlarda fayda sağlar. Bu sayede CBS, farklı disiplinlerden gelen kişilerin karmaşık coğrafi problemleri anlamalarına ve çözümler üretmelerine yardımcı olan güçlü bir araçtır (Balcı vd., 2000).

Sonuç olarak CBS sadece bir bilgi sistemi değil, farklı disiplinleri bir araya getiren, karmaşık problemleri çözen ve daha yaşanabilir bir dünya inşa edilmesine katkıda bulunan güçlü bir araçtır. Gelişen teknolojilerle birlikte CBS'nin gücü ve kullanım alanları da her geçen gün artacak ve geleceğin şehirlerini ve sürdürülebilir kalkınmayı şekillendirmede kritik bir rol oynamaya devam edecektir.

CBS ve ÇKKV yöntemleri, özellikle GES yer seçimi gibi karmaşık karar verme süreçlerinde önemli katkılar sağlar. CBS, konumsal verileri analiz ederek ve görselleştirerek zaman kazandırır ve doğru kararlar ve yatırımlar yapılmasını kolaylaştırır. ÇKKV yöntemleri ise, birden fazla kriteri göz önünde bulundurarak en uygun seçeneğin belirlenmesine yardımcı olur. Örneğin, bir GES kurmak için en uygun yeri seçerken, güneşlenme süresi, arazi eğimi, altyapı imkânları ve çevresel etki gibi birçok kriterin değerlendirilmesi gerekir. CBS ve ÇKKV yöntemlerini birlikte kullanarak bu kriterler analiz edilebilir ve en doğru kararı verilebilir (Türkseven, 2019).

1.8. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Yaşamın her alanında, artan seçenekler ve değerlendirilmesi gereken kriterler ile yapılması gereken seçimler karmaşık bir hal alabilir. Bu karmaşıklığı çözmek ve daha doğru seçimler yapabilmek için ÇKKV yöntemleri devreye girer. ÇKKV, önceden belirlenmiş ve ağırlıklandırılmış kriterlere göre, belli sayıda alternatif arasında karşılaştırma ve sıralama yapmayı sağlar. Bu sayede, çelişen özelliklere sahip seçenekler arasında en iyisini bulmak kolaylaşır. Yöntem, ilk olarak karar verilecek problemin tüm alternatifleri ve kriterlerini belirlemeyi içerir. Ardından her bir alternatifin her bir kriterine göre performansı ölçülür ve kriter ağırlıkları saptanır. Son aşamada ise birleştirme modelleri kullanılarak kriter ağırlıkları ve alternatiflerin

performans değerleri birleştirilir ve her bir alternatifin bütünsel değeri hesaplanır. En yüksek bütünsel değere sahip alternatif, en uygun seçim olarak değerlendirilir. ÇKKV yöntemleri, karmaşık problemlerin çözümünde, daha objektif ve tutarlı seçimler yapılmasına ve farklı bakış açılarının göz önünde bulundurulmasına yardımcı olur. Bu yöntemler mühendislik, işletme, ekonomi, tıp ve daha birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Akçay, 2019).

ÇKKV yöntemi, birden fazla kritere dayalı karmaşık problemlerin çözümü için sistematik ve kapsamlı bir çerçeve sunar. Üç ana aşamadan oluşan bu yöntem, problemin net bir şekilde tanımlanmasını, uygun bir çözüm tasarımının yapılmasını ve en uygun şekilde çözümün seğilmesini sağlar (Tanrıku, 2023).

Bazı ÇKKV yöntemleri; AHP, ANP, ELECTRE, MACHBETH, PROMETHEEİ TOPSIS olarak sıralanabilir (Solęun, 2019).

1.8.1. AHP Yöntemi

1970’li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve karar verme problemlerinde hızlı çözümler üreten AHP, çok kriterli bir karar analizidir. Amacı, en uygun çözüme en kısa sürede ulaşmaktır. Bu doğrultuda öncelikle amaç belirlenir ve ardından kriterler, alt kriterler ve alternatif seçenekler hiyerarşık bir yapı halinde sıralanır (Kuruüzüm ve Atsan, 2001).

AHP, seğenekleri karşılaştırma yoluyla ölçütlere göre sıralayan bir yöntemdir. Çok kriterli ve çok seğenekli problemlerde, bu araç sayesinde karar vericiler en ideal sonuca en kısa sürede ve en az çabayla ulaşabilirler. AHP’nin en önemli özelliklerinden biri, problemi birden fazla seviyeden oluşan hiyerarşık bir yapı ile ele almasıdır. Bu sayede, karmaşık problemler bile kolayca analiz edilebilir ve çözüme kavuşturulabilir. Her bir seğenek, bir üst seviyedeki seğeneklerle ikili olarak karşılaştırılarak karar vericinin en uygun seğeneği belirlemesine yardımcı olur (Solęun, 2019).

AHP ile karmaşık karar verme problemlerini çözmek için takip edilmesi gereken belirli adımları ve matematiksel formülleri içeren işlem aşamaları aşağıda gösterilmiştir.

1: Karar Probleminin Tanımlanması

Karar verme problemlerinin çözümü, sistematik ve tutarlı bir yaklaşım gerektirir. Bu bağlamda, iki aşamalı bir tanımlama süreci faydalı bir araç olarak ortaya çıkar. İlk aşamada, karar noktaları belirlenir. Bu, kararın kaç farklı sonuç üzerinden değerlendirileceğini ve karşılaştırılacağını netleştirir. Bu aşamada, m harfi ile gösterilen karar noktalarının sayısı netleştirilir. İkinci aşamada ise, karar noktalarını etkileyen faktörler saptanır. Bu faktörler, her bir karar sonucunun değerlendirilmesinde rol

oynayan ve nihai seçimin yapılmasını etkileyen unsurlardır. Bu aşamada n harfi ile gösterilen faktör sayısı belirlenir ve her bir faktörün detaylı tanımı yapılır. Faktörlerin doğru şekilde belirlenmesi ve detaylıca tanımlanması, ikili karşılaştırmaların tutarlı ve mantıklı bir zeminde yapılmasını sağlar. Bu sayede, en uygun karar seçeneği rasyonel bir şekilde belirlenebilir. Tablo 1.'de önem dereceleri gösterilmiştir (Yaralıoğlu, 2001).

2: Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Gösterimlerde m ve n olarak oluşturulan faktörlerin karşılaştırma matrisi, n×n boyutlu bir kare matristir. Bu matrisin köşegen elemanları her zaman 1 değerini alır. Bunun sebebi, her bir faktörün kendi kendisiyle karşılaştırılmasının mantıksız olması ve bu karşılaştırmanın her zaman 1 sonucunu vermesidir (Yaralıoğlu, 2001).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & 1 & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Tablo 1. Önem dereceleri

Önem Derecesi	Tanımı
1	İki kriter eşit derecede öneme sahip
3	1. kriter 2. kritere göre biraz daha önemli
5	1. kriter 2. kritere göre oldukça önemli
7	1. kriter 2. kritere göre çok önemli
9	1. kriter 2. kritere göre son derece önemli
2-4-6-8 Ara Değerler	Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır

Örneğin, karşılaştırma matrisinde üçüncü satırın beşinci sütun bileşeni (i=3, j=5) 7 değeri alıyorsa, beşinci satırın üçüncü sütun bileşeni (i=5, j=3) 1/7 değerini alır. Yani, A seçeneği B seçeneğine göre x kat daha tercih edilirse, B seçeneği de A seçeneğine göre 1/x kat daha tercih edilir. Bu ilke, karşılaştırma matrisinin simetrik olmasını sağlar (Yaralıoğlu, 2001).

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

3: Faktörlerin Yüzde Önem Dağılımlarının Belirlenmesi

Karşılaştırma matrisi, belirli bir mantık çerçevesinde faktörlerin birbirlerine göre önem seviyelerini gösteren bir araçtır. Fakat bu faktörlerin bütündeki ağırlıklarını, yani

yüzdelik önem dağılımlarını belirlemek için, karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörlerinden faydalanılır. Bu amaçla, n adet ve n bileşenli B sütun vektörü oluşturulur (Yaralıoğlu, 2001).

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

B sütun vektörünün oluşturulabilmesi için aşağıdaki formül uygulanır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Örneklendirecek olursak A karşılaştırma matrisi verilmiş ve B_i vektörü elde etmek isteniyorsa;

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 4 \\ 2 & 1 & 5 \\ 1/4 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

A matrisi kullanılarak oluşturulmak istenen B_i vektörünün elemanları sırasıyla aşağıdaki formüllerle hesaplanacaktır ve B_i vektörü elde edilecektir;

$$B_{11} = \frac{1}{1 + 2 + 1/4} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

$$B_{12} = \frac{1/2}{1/2 + 1 + 1/5} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

$$B_{13} = \frac{4}{4 + 5 + 1} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

$$B_I = \begin{bmatrix} 0.306 \\ 0.294 \\ 0.400 \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

İşlem doğruluğunun kontrolü açısından sütundaki değerler toplamının 1 sonucunu vermesi gerekir.

$$0.306 + 0.294 + 0.400 = 1 \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Belirtilen adımlar, her bir değerlendirme faktörü için tekrarlandığında, faktör sayısı kadar B sütun vektörü elde edilir. Bu vektörler, bir matris formatında bir araya getirildiğinde ise C matrisi oluşur. C matrisi, n x n boyutlu bir matristir ve her bir satırı bir B sütun vektörünü temsil eder (Yaralıoğlu, 2001).

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

C matrisi, faktörlerin birbirlerine göre yüzdelerik önem dağılımlarını belirlemek için kullanılabilir. Bu amaçla, C matrisinin her bir satırının ortalaması hesaplanarak Öncelik vektörü olarak isimlendirilen W sütun vektörü elde edilir (Yaralıoğlu, 2001).

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

W sütun vektörü aşağıda gösterilmiştir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (\text{Eşitlik 13})$$

4:Tutarlılık Hesabı

Kriterlerin önem ağırlıklarının tutarlı olup olmadığını kontrol etmek için tutarlılık indeksi hesaplanması gerekir. Bu işlem, iki aşamada gerçekleştirilecek olup ilk adımı özdeğer hesabı, ikinci adımı ise tutarlılık indeksi hesabıdır (Tanrıkulu, 2023).

λ_{max} :en büyük özdeğer

n : kriter sayısı

w : özvektör

w' : özdeğer

CI : tutarlılık indeksi

RI : rastgele değer indeksi

CR : tutarlılık oranı

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum \left(\frac{w_1'}{w_1} + \frac{w_2'}{w_2} + \dots + \frac{w_n'}{w_n} \right) \quad (\text{Eşitlik 14})$$

Uzman görüşlerinin ne kadar tutarlı olduğunu değerlendirmek için tutarlılık indeksi hesaplanır.

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (\text{Eşitlik 15})$$

Uzman görüşlerinin tutarlılığını değerlendirmek için CR hesaplanır. Bu hesaplamada CI ve Rastgele Tutarlılık İndeksi (RI) faktör sayısı dikkate alınarak kullanılır (Tanrıkulu, 2023).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (\text{Eşitlik 16})$$

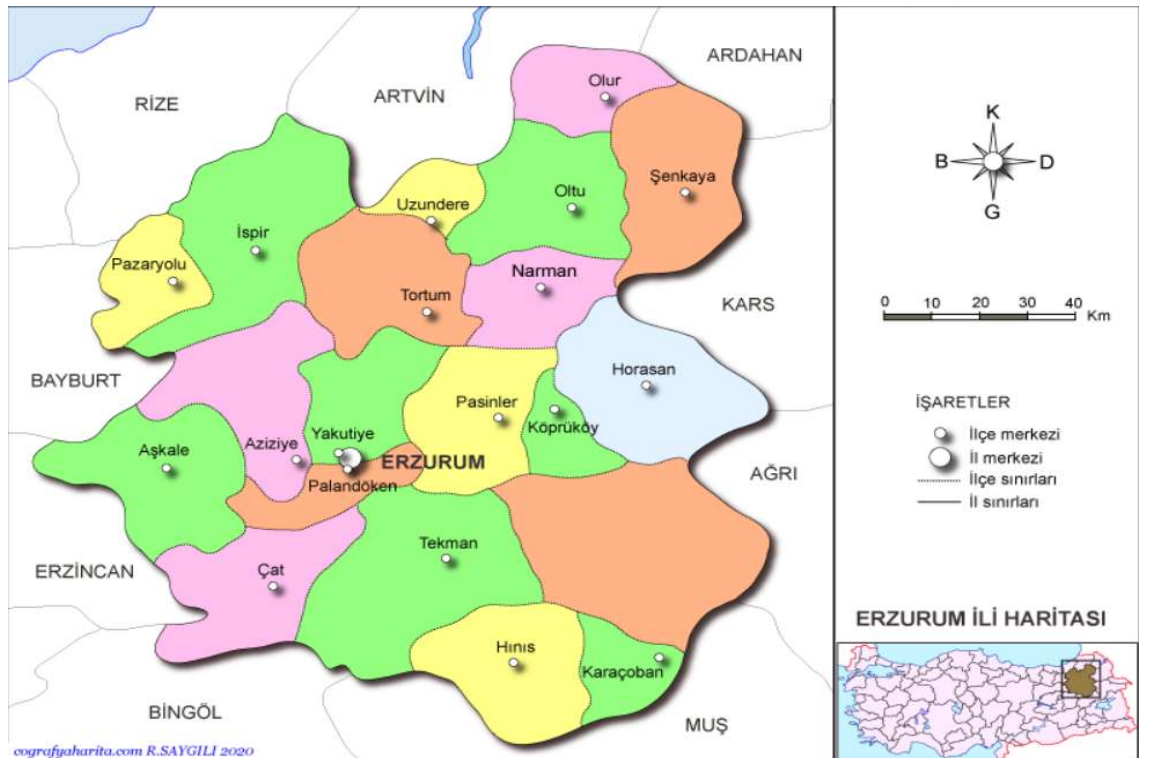
Uzman görüşlerinin tutarlılığını değerlendirmek için CR hesaplanır. Bu hesaplamada CI ve RI kullanılır. CR değeri 0.10'dan küçükse, uzman görüşleri tutarlı kabul edilir ve karar verme süreci güvenilir olarak değerlendirilir. Ancak CR değeri 0.10'dan büyükse, bu uzman görüşlerinde tutarsızlık olduğunu gösterir. Bu durumda, karar vericinin karşılaştırmalarını tekrar gözden geçirmesi ve gerekirse anketi yeniden doldurması istenir. Tutarlılık oranı, AHP gibi karar verme yöntemlerinde önemli bir göstergedir. CR değeri ne kadar küçükse, karar verme süreci o kadar güvenilirdir (Aslan, 2019).



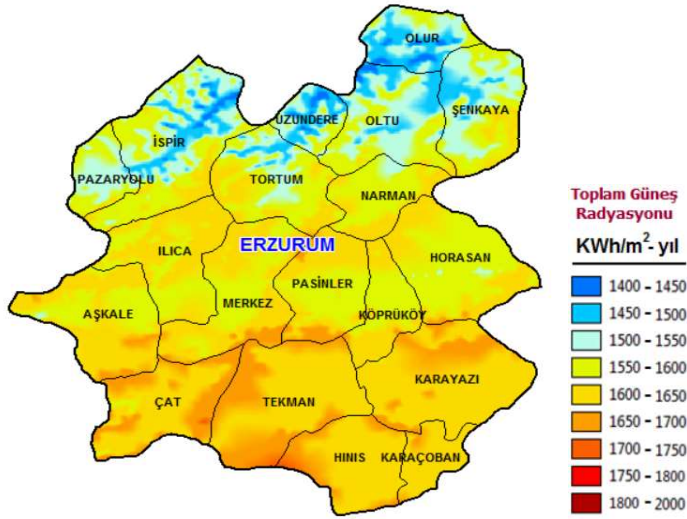
2. UYGULAMA

2.1. Çalışma Alanı

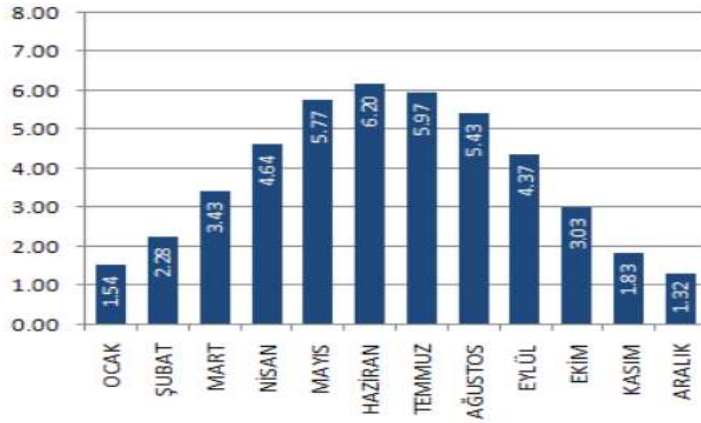
Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Erzurum, 39 Kuzey - 41 Doğu boylamları arasında konumlanmış, Türkiye'nin en geniş dördüncü ili olma özelliğini taşımaktadır. Kuzeyinde Doğu Karadeniz Bölümü, güneyinde Bingöl ve Muş, batısında Erzincan, doğusunda ise Ağrı, Kars ve Ardahan illeri ile komşudur. 25.066 km² yüzölçümüne sahip Erzurum'un sınır komşuları arasında Ağrı, Ardahan, Artvin, Bayburt, Bingöl, Erzincan, Kars, Muş ve Rize illeri yer almaktadır. Aziziye, Palandöken ve Yakutiye merkez ilçeler olmak üzere toplam 18 ilçeye ayrılan Erzurum'da nüfus yoğunluğu en fazla Yakutiye ilçesinde, en az ise Pazaryolu ilçesinde görülmektedir. Yükselti bakımından ise Karayazı ilçesi 2350 metre ile en yüksek, Uzundere ilçesi ise 1000 metre ile en alçak konumda yer alma özelliği taşımaktadır. En geniş yüzölçümüne sahip ilçesi ise İspir'dir. Şekil 5.'te çalışma alanı, Şekil 6.'da, Şekil 7.'de ve Şekil 8.'de ise sırasıyla Erzurum güneş enerji potansiyeli, Erzurum global radyasyon değerleri ve Erzurum güneşlenme süreleri gösterilmiştir (URL-9).



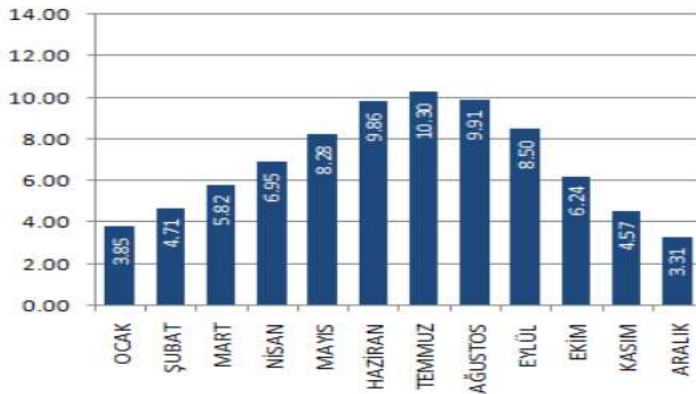
Şekil 5. Çalışma alanı (URL-10).



Şekil 6. Erzurum güneş enerji potansiyeli (URL-8).



Şekil 7. Erzurum global radyasyon değerleri (KWH/m²-gün) (URL-8).

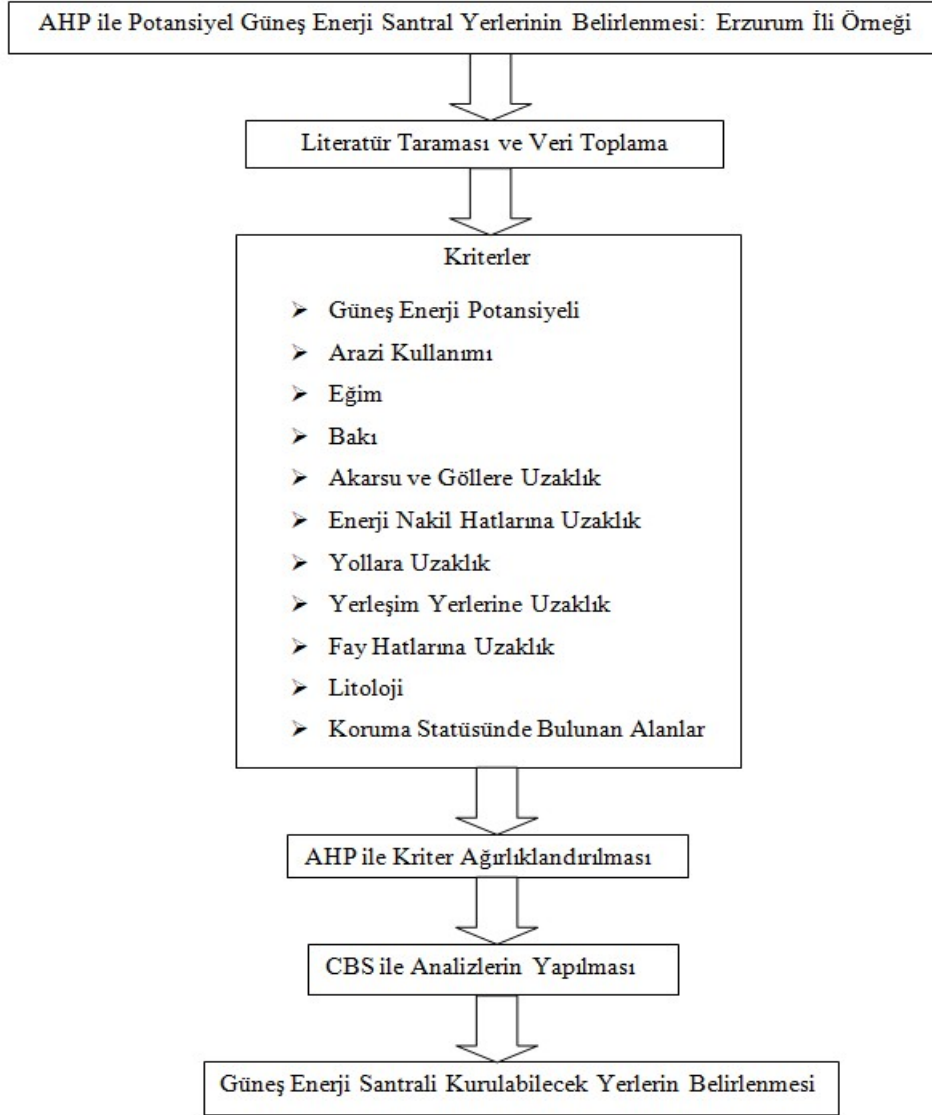


Şekil 8. Erzurum güneşlenme süreleri (KWH/m²-saat) (URL-8).

2.2. Yöntem

Erzurum ilinde kurulması planlanan GES için en uygun alanları belirlemeyi amaçlayan bu çalışmada, ÇKKV yöntemi olan AHP kullanılmıştır. Bu kapsamda, yapılan literatür taraması sonucunda konuyla ilgili 11 adet yer seçimi kriteri belirlenmiş

olup alanında uzman 30 farklı kişiye yönelik anket çalışması yapılmış ve bu anketlerden elde edilen bilgiler doğrultusunda kriterlerin ağırlıkları AHP ile hesaplanmıştır. Ardından, CBS yazılımı olan ArcGIS kullanılarak kriter ağırlıklarına göre analiz paftaları oluşturulmuş ve veriler birleştirilmiştir. Son aşamada ise, ArcGIS kullanılarak güneş enerjisi santrali için uygunluk haritası üretilmiştir. İş-Akış Şeması Şekil 9.'da verilmiştir (Tanrıkulu, 2023).



Şekil 9. İş - Akış şeması

2.3. Çalışma Verileri

Erzurum ilinde GES kurulumu yapılabilecek alanların tespitiyle ilgili yapılan bu çalışmada dikkat edilmesi gereken bazı kriterler belirlenmiş olup bu kriterler aşağıda verilmiştir.

- Güneş Enerji Potansiyeli
- Arazi Kullanımı

- Eğim
- Bakı
- Akarsu ve Göllere Uzaklık
- Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık
- Yollara Uzaklık
- Yerleşim Yerlerine Uzaklık
- Fay Hatlarına Uzaklık
- Litoloji
- Koruma Statüsünde Bulunan Alanlar



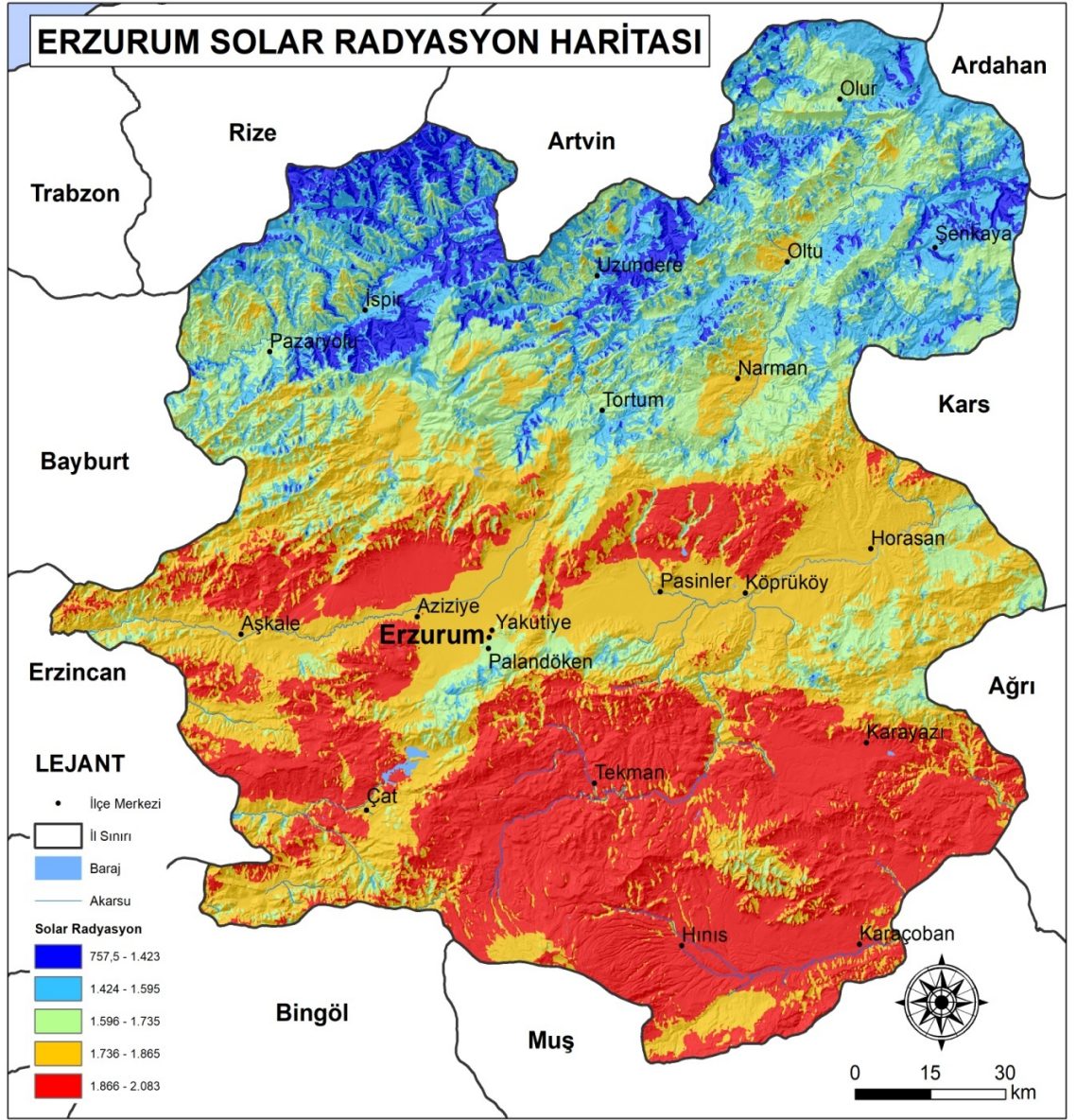
3. ÇALIŞMA VERİLERİNİN DÜZENLENMESİ VE İŞLENMESİ

3.1. Çalışma Verilerinin Sınıflandırılması

CBS, kriterleri mekânsal bakış açısıyla analiz ederek sınıflandırma konusunda oldukça güçlü bir araçtır. Haritalar, uydu görüntüleri ve diğer coğrafi verileri depolama, analiz etme ve görselleştirme imkânı sunan CBS, farklı kaynaklardan gelen verileri bir araya getirerek daha kapsamlı değerlendirmeler yapılmasını sağlar. Çalışmanın bu aşamasında gruplandırma alt gruplarının oluşturulabilmesi için literatürdeki çalışmalar göz önünde bulundurulacak ve kriterlerin sınıflandırma işlemi CBS yazılımı olan ArcGIS ile gerçekleştirilecek olup AHP yöntemi ile ağırlıkları belirlenecektir.

3.1.1. Güneş Enerji Potansiyeli

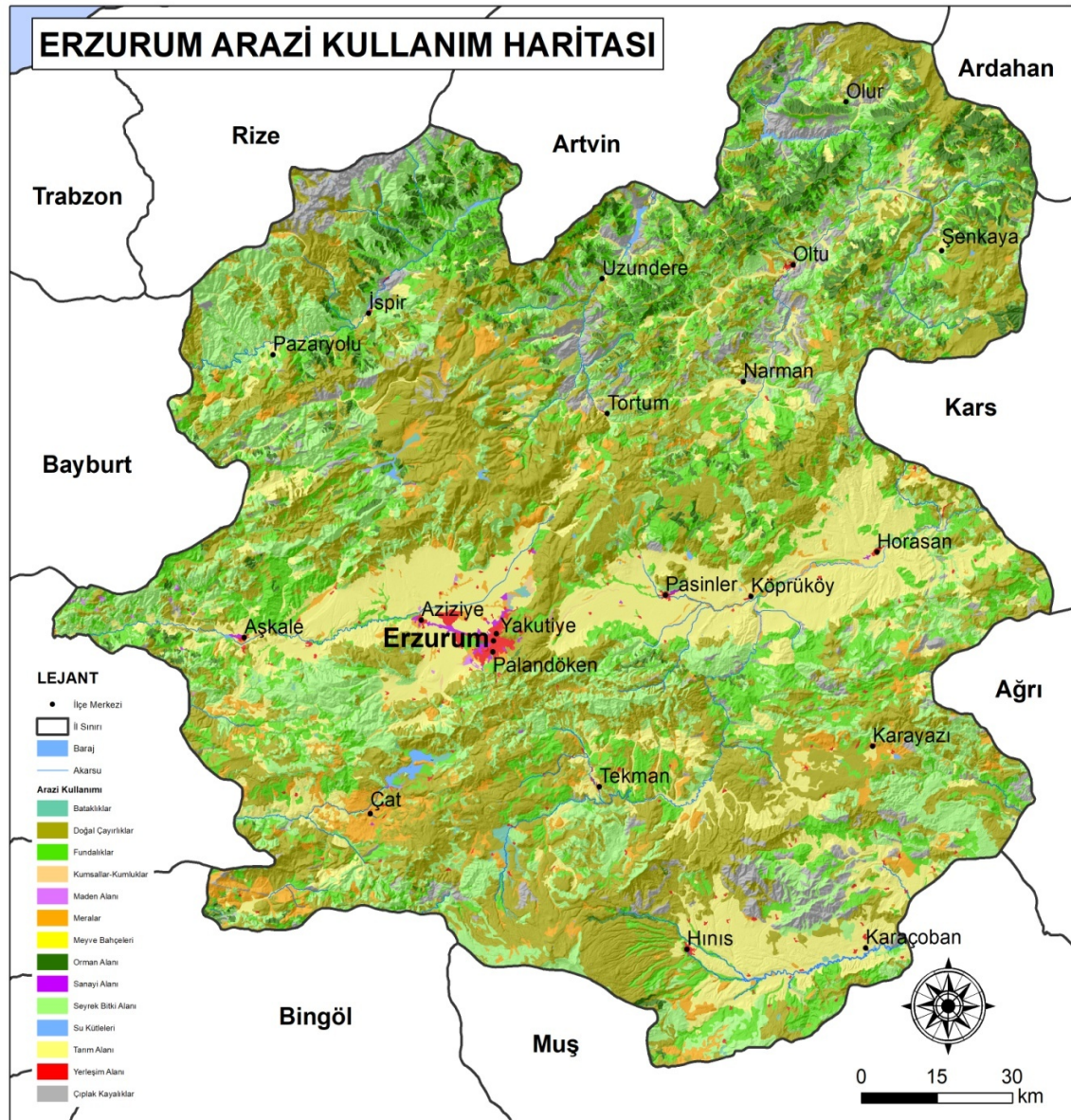
Güneş panellerinin verimliliği güneş ışınımına, yani güneşten gelen enerji miktarına doğrudan bağlıdır. Güneş ışınımı, yıl boyunca günün saatine ve konumuna göre değişiklik gösterir. Bulutlar, toz ve hava kirliliği gibi atmosferik faktörler de güneş ışınımını etkileyebilir. Güneş panelleri tasarlarken ve yerleştirirken güneş ışınımının yoğunluğu göz önünde bulundurulmalıdır. Güneş ışınımı yüksek olan bir bölgede kurulan güneş paneli, daha az güneş ışınımı alan bir bölgeye kurulan sisteme göre daha fazla elektrik üretecektir. Analizler sonucu elde edilen Erzurum ili güneş enerji potansiyeli haritası Şekil 10.'da gösterilmiştir (Tanrıkulu, 2023). Güneş enerji potansiyeline ait veriler Global Solar Atlas aracılığıyla 1000 m çözünürlüklü olarak elde edilmiştir (URL-4).



Şekil 10. Erzurum ili güneş enerji potansiyeli haritası

Güneş ışınımına bağlı olarak güneş enerjisi potansiyeli belirli aralıklara göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırmada, yüksek radyasyon değerlerine 1 ile 5 arasında değişen puanlar atanır. Puanlama, güneş ışınımının yoğunluğuna göre yapılır ve yüksek ışınım değerleri daha yüksek puanlarla gösterilir. Puan verme işlemi tamamlandıktan sonra, güneş enerjisi potansiyeli verisi sınıflandırma aşamasına geçilir. Sınıflandırma puanları Tablo 2.'de, sınıflandırma haritası ise Şekil 11.'de gösterilmiştir.

alma süresi ve açısı, arazi eğimi, toprak tipi ve mevcut bitki örtüsü gibi faktörler değerlendirilmelidir. Arazi kullanımı kriterleri bu çalışmada, 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'nun tarım arazilerinin vasıflarının değiştirilmesini yasaklaması nedeniyle, marjinal tarım arazileri ile sınırlı tutulmuştur. Marjinal tarım arazileri, mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri ve dikili tarım arazileri dışında kalan, toprak ve topoğrafik sınırlamalar nedeniyle üzerinde sadece geleneksel toprak işlemeli tarımın yapıldığı arazilerdir. Bu araziler, tarımsal üretim potansiyellerinin düşük olması ve yerel ihtiyaçlara göre değerlendirilmesi sebebiyle, söz konusu yatırımlar için daha uygun alanlar olarak değerlendirilmektedir. Analizler sonucu elde edilen arazi kullanım haritası Şekil 12.'de gösterilmiştir (Uyan, 2017). Arazi kullanımına ait veriler Corine aracılığıyla elde edilmiştir (URL-1).

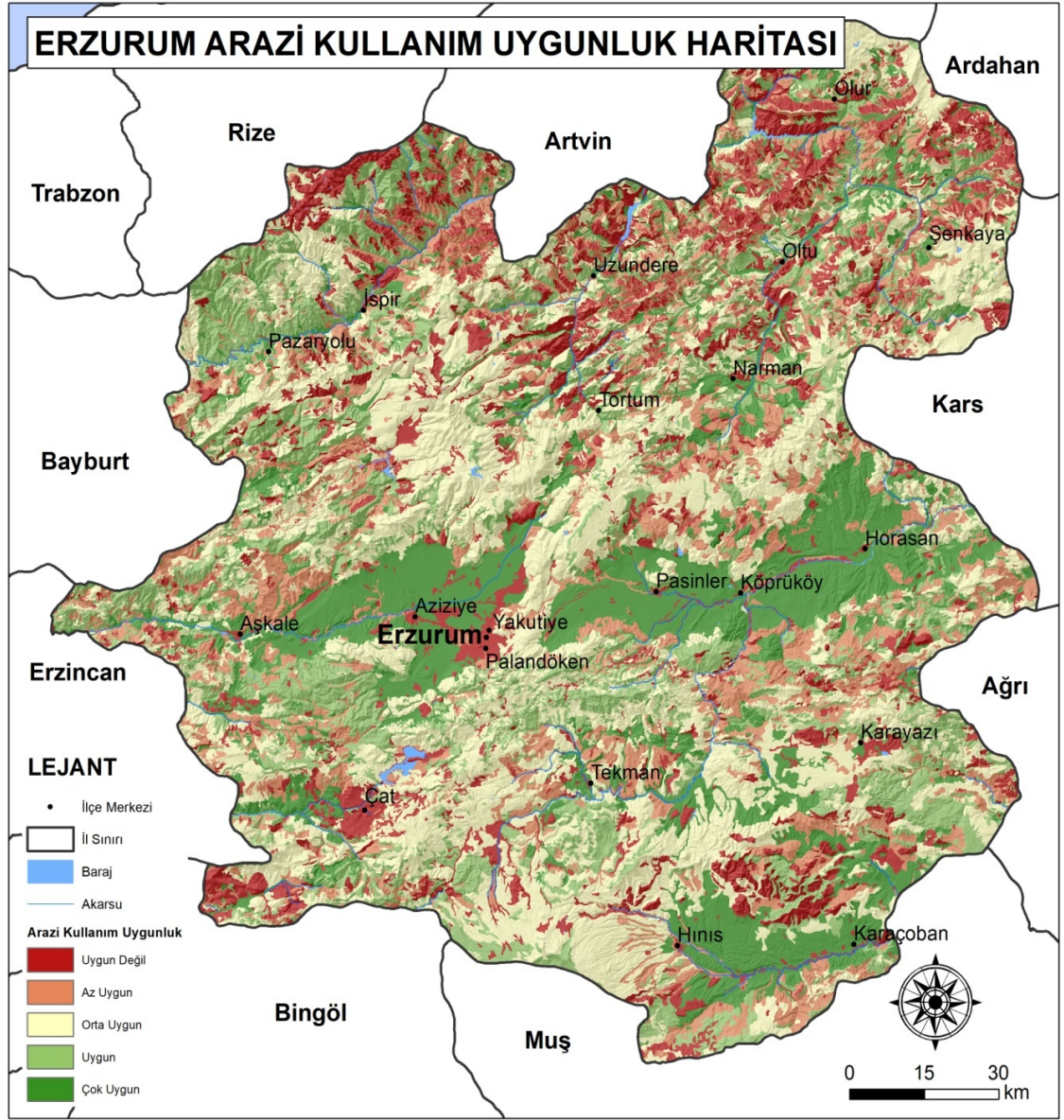


Şekil 12. Erzurum ili arazi kullanımı haritası

GES kurulumu için uygun olmayan alanlar, sınıflandırma paftasında 1 değeri ile gösterilmiştir. Bu alanlar arasında yerleşim alanı, maden alanı, meralar, orman alanı, kumsallar ve kumluklar, çıplak kayalıklar, bataklıklar, su kütleleri bulunmaktadır. Sınıflandırma puanları Tablo 3.'te, sınıflandırma haritası ise Şekil 13.'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Arazi kullanımı sınıflandırma sonrası verilen puanlar

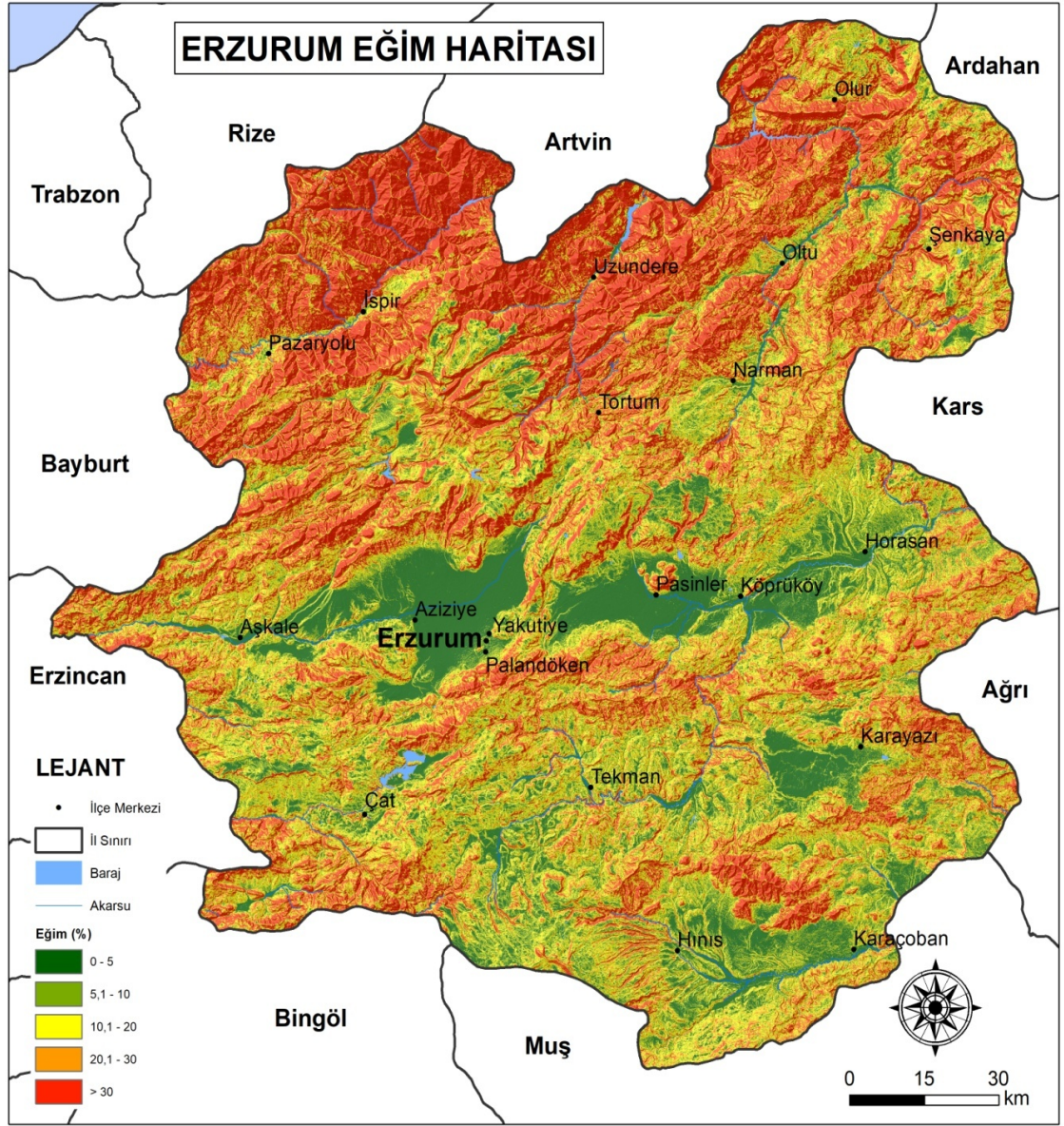
Arazi Kullanım	Puan
Yerleşim Alanı, Sanayi Alanı, Maden Alanı, Meralar, Orman Alanı, Kumsallar-Kumluklar, Çıplak Kayalıklar, Bataklıklar, Su Kütleleri	1
Fundalıklar	2
Doğal Çayırliklar	3
Seyrek Bitki Alanı	4
Marjinal Tarım Arazisi	5



Şekil 13. Erzurum ili sınıflandırılmış arazi kullanımı haritası

3.1.3. Eğim

GES’lerde arazi eğimi, kurulum maliyetini ve verimliliği doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Eğim ne kadar fazlaysa, güneş panellerinin montajı ve altyapı çalışmalarına yönelik maliyet de artar. Erzurum’un eğimli arazilere sahip olması bu açıdan dezavantaj gibi görünse de, güneş ışınlarının daha dik açıyla ulaşması arazi eğimine bağlı olarak santrale ait verimliliği de artırabilir. Analizler sonucu elde edilen eğim haritası Şekil 14.’te gösterilmiştir (Aslan, 2019). Eğime ait veriler USGS aracılığıyla elde edilmiştir (URL-2).

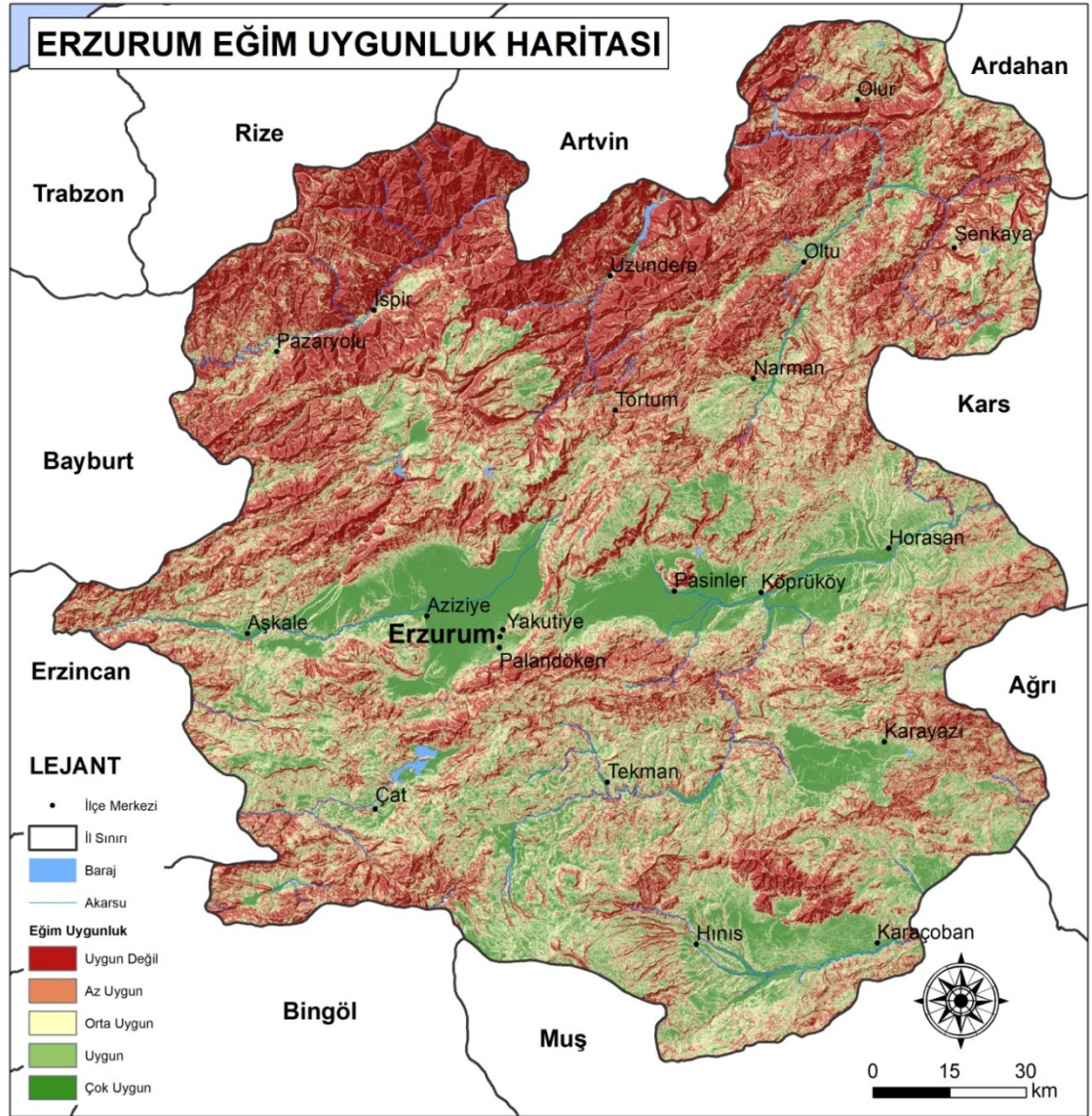


Şekil 14. Erzurum ili eğim haritası

GES kurulumu için arazi eğimiyle ilgili literatürde farklı görüşler olsa da genel kanı eğimin %3'ten küçük olması gerekliliği üzerinedir. Bu çalışmada, eğim beş alt kritere bölünerek her bölge için ağırlık değerleri hesaplanmıştır. %0-2 aralığı 5, %2-5 arası eğimler 4, %5-10 arası eğimler 3, %10-15 arası eğimler 2 ve %15-20 arası eğimler 1 puan olarak değerlendirilmiştir. Bu puanlama sistemi ve AHP yöntemi ile her bölgenin GES kurulumu için uygunluğu objektif bir şekilde belirlenmiştir. Sınıflandırma puanları Tablo 4.'te, sınıflandırma haritası ise Şekil 15.'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Eğim sınıflandırma sonrası verilen puanlar

Eğim (%)	Puan
15-20	1
10-15	2
5-10	3
2-5	4
0-2	5

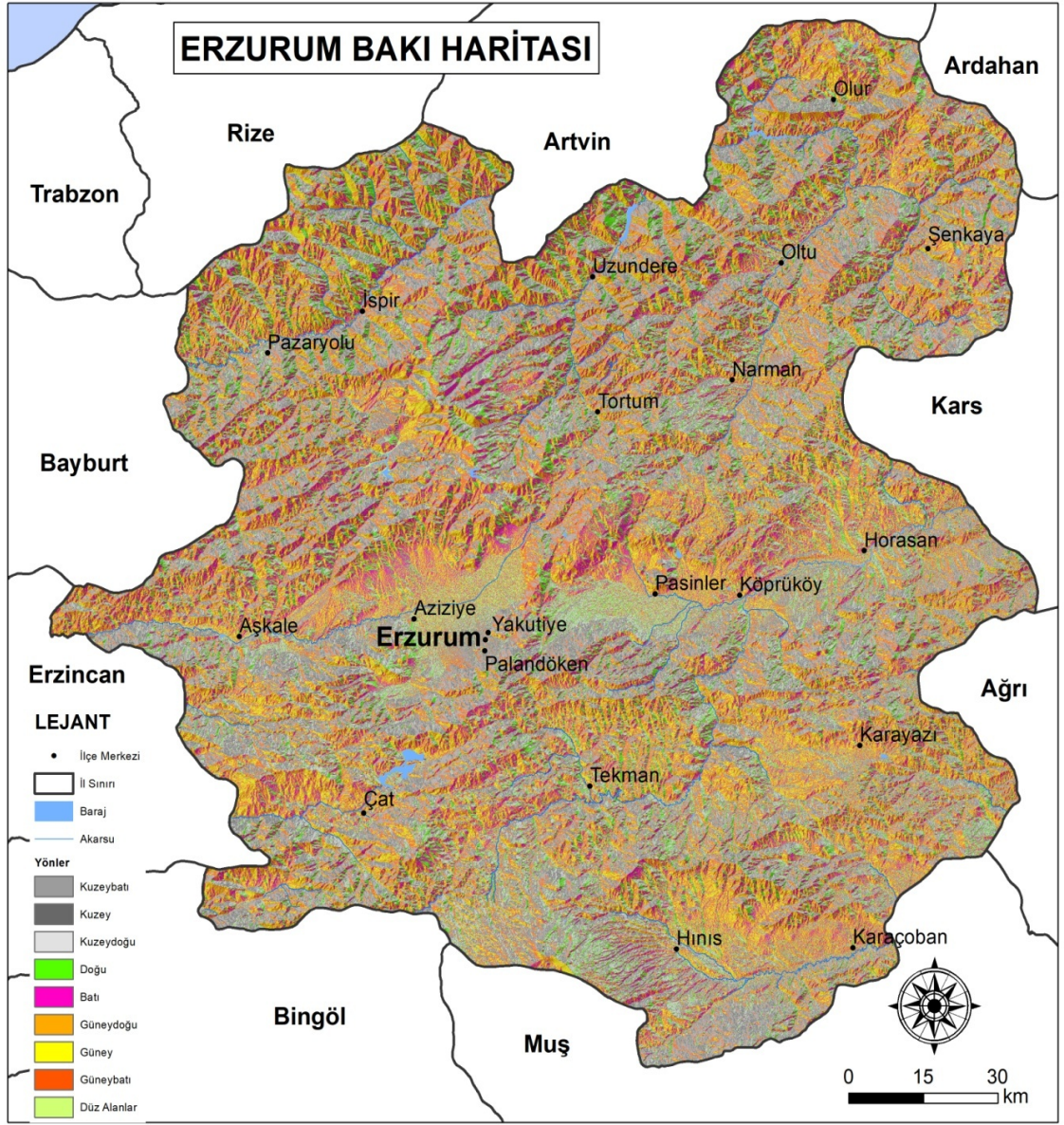


Şekil 15. Erzurum ili sınıflandırılmış eğim haritası

3.1.4. Bakı

Türkiye’de coğrafi konum itibarıyla güneş ışınları güneyden gelmektedir. GES kurulumunda önemli olan panellerin güneş ışığına olabildiğince fazla maruz kalmasıdır ve buna bağlı olarak santrallerin güneye cepheli olan bölgelerde yer alması büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı bakı kriteri bu çalışmada önemli bir unsur olarak göze

çarpmaktadır. Analizler sonucu elde edilen bakı haritası Şekil 16.'da gösterilmiştir (Colak vd., 2020). Bakıya ait veriler USGS aracılığıyla elde edilmiştir (URL-2).



Şekil 16. Erzurum ili bakı haritası

Bu analizde bakı 5 farklı sınıfa ayrılmıştır. GES kurulacak bölgenin daha düz ve güney yönlü bir alan olması gerekmektedir. Buna bağlı olarak oluşturulan sınıflandırılmış bakı haritasında güney ve düz alanlar ile güneydoğu ve güneybatıda kalan alanlar güneş enerji santrali kurulumu açısından uygun bulunmuştur. Sınıflandırma puanları Tablo 5.'te, sınıflandırma haritası ise Şekil 17.'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Bakı sınıflandırma sonrası verilen puanlar

Bakı (Yön)	Puan
Kuzey	1
Kuzeybatı-Kuzeydoğu	2
Doğu-Batı	3
Güneydoğu-Güneybatı	4
Güney ve Düz Alanlar	5



Şekil 17. Erzurum ili sınıflandırılmış bakı haritası

3.1.5. Akarsu ve Göllere Uzaklık

GES için arazi seçimi oldukça önemlidir. Dere, akarsu, baraj ve göl gibi su kaynaklarına yakın olması, projenin başarısını doğrudan etkileyebilir. Özellikle dere ve akarsu yataklarına yakın kurulumlar, kış aylarında sel baskını riski taşır. Bu gibi doğal afetler santrali maddi açıdan büyük zarara uğratabilir, işletme maliyetlerini artırabilir,

elektrik üretimini sekteye uğratabilir veya tamamen durdurabilir. Bu nedenle, GES arazisi seçerken sel ve taşma riski göz önünde bulundurulmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır. Akarsu yataklarından ve taşkın bölgelerinden uzak, sağlam zeminli ve güneş ışığı alan araziler tercih edilmelidir. Analizler sonucu elde edilen akarsu ve göller haritası Şekil 18.'de gösterilmiştir (Solğun, 2019). Akarsu ve göllere uzaklığa ait veriler OpenStreetMap aracılığıyla elde edilmiştir (URL-3).

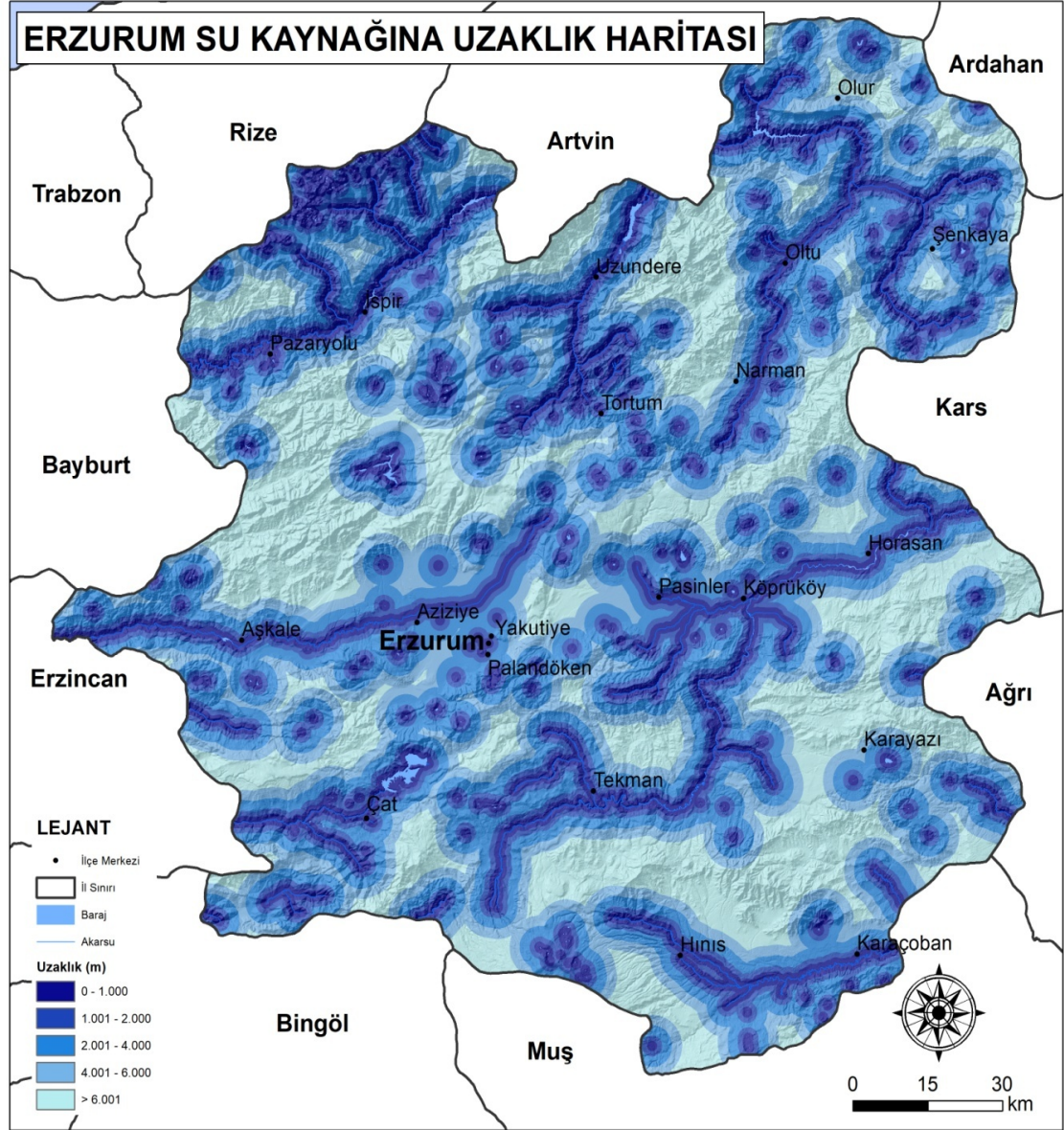


Şekil 18. Erzurum ili akarsu ve göller haritası

Uygun olmayan alanlar, sınıflandırma paftasında 0 ve 1 puan değeri ile gösterilmiştir. Bu alanların su kaynağına yakınlıkları 0-1.000 ve 1.001-2.000 aralığında olup GES kurulumu açısından uygun değildir. GES verimliliği düşünüldüğünde kurulumu düşünülen alanın 4 ile puanlandırılan alanlar olduğu değerlendirilmiştir. Sınıflandırma puanları Tablo 6.'da, sınıflandırma haritası ise Şekil 19.'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Akarsu ve göller sınıflandırma sonrası verilen puanlar

Akarsuya Uzaklık (m)	Puan
0-1.000	0
1.001-2.000	1
2.001-4.000	2
4.001-6.000	3
>6.001	4

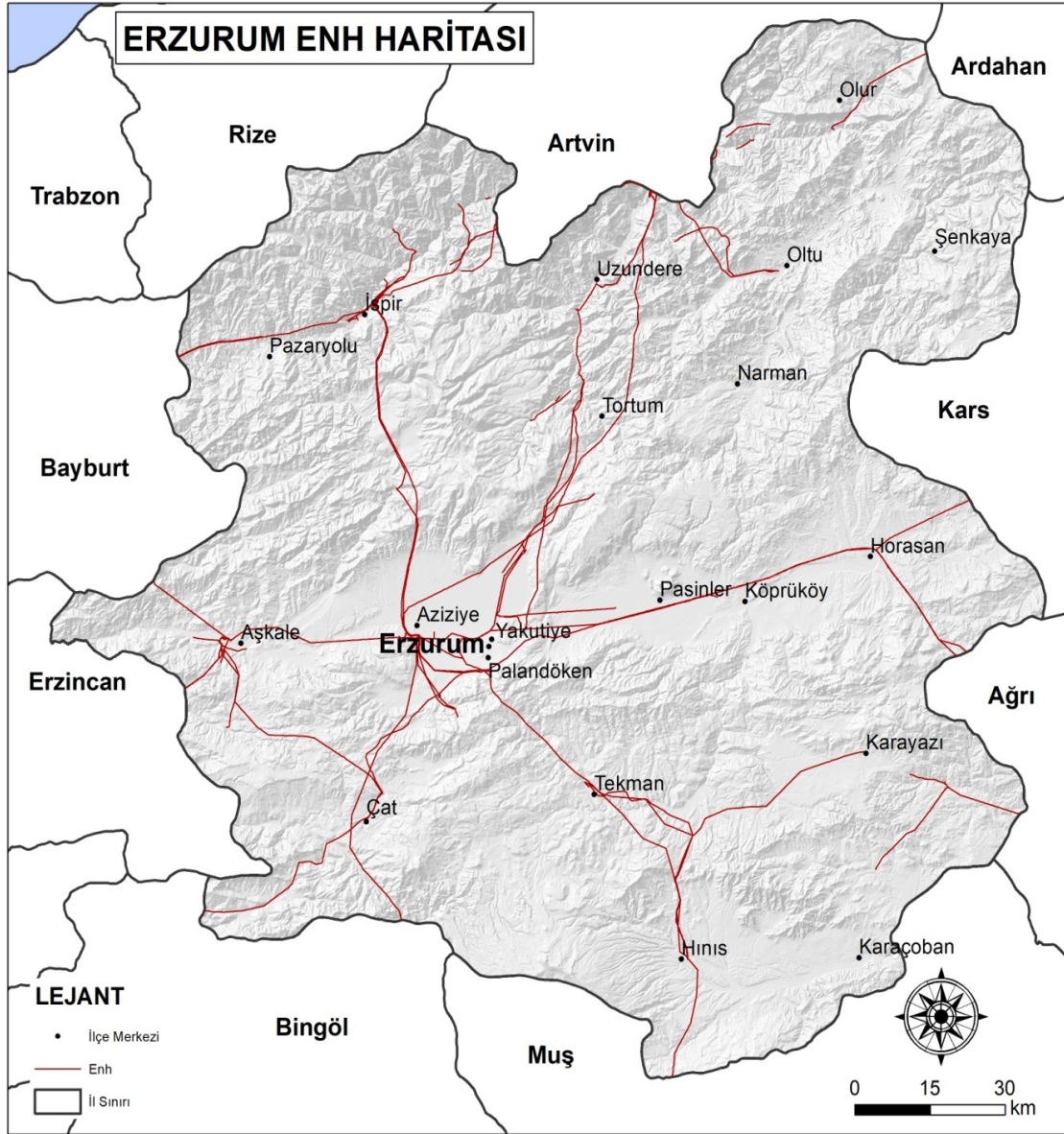


Şekil 19. Erzurum ili sınıflandırılmış akarsu ve göllere uzaklık haritası

3.1.6. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık

Göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörlerden biri de enerji nakil hatlarına olan uzaklıktır. Eğer GES arazisi, enerji nakil hatlarına veya trafo merkezlerine uzak bir konumda bulunuyorsa, üretilen elektriğin bu noktalara taşınması

için ek altyapı yatırımı gerekecektir. Bu durum, projenin maliyetini önemli ölçüde artırabilir. Bu nedenle, GES arazisi seçerken mevcut enerji nakil hatlarına yakınlık öncelikli kriterlerden biri olmalıdır. Mümkünse, arazinin enerji nakil hattına veya trafo merkezine en yakın noktaya kurulması, hem kurulum maliyetlerini düşürmeye hem de elektrik kayıplarını minimize etmeye yardımcı olacaktır. Analizler sonucu elde edilen enerji nakil hatları uzaklık haritası Şekil 20.'de gösterilmiştir (Aslan, 2019). Enerji nakil hatlarına uzaklığa ait veriler OpenStreetMap aracılığıyla elde edilmiştir (URL-3).



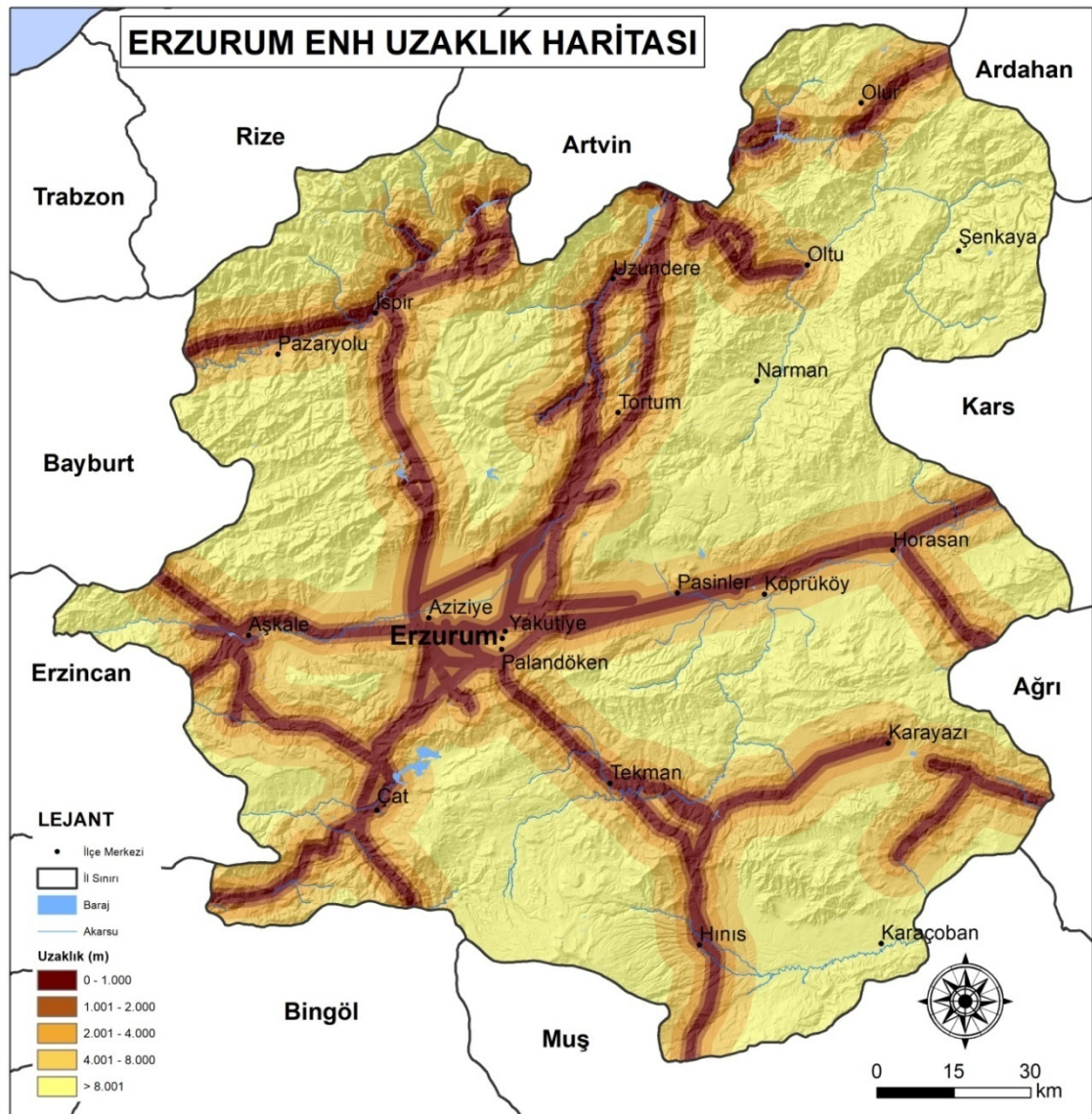
Şekil 20. Erzurum enerji nakil hatları haritası

İletim hatlarına en yakın konumda bulunan alanlar 5 puan olarak en uygun olarak sınıflandırılır. Bu durum, üretilen elektriğin iletim hatlarına kolayca aktarılabilmesi ve elektrik kayıplarının minimize edilmesi anlamına gelir. İletim hatlarından uzaklaştıkça

puan da düşer. Uzaklık 1 puana kadar gerilediğinde ise uygun değil olarak değerlendirilir. Bu durum, elektrik iletimi için ek altyapı yatırımı ihtiyacı doğurur ve projenin maliyetini önemli ölçüde artırır. Sınıflandırma puanları Tablo 7.'de, sınıflandırma haritası ise Şekil 21.'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Enerji nakil hatları sınıflandırma sonrası verilen puanlar

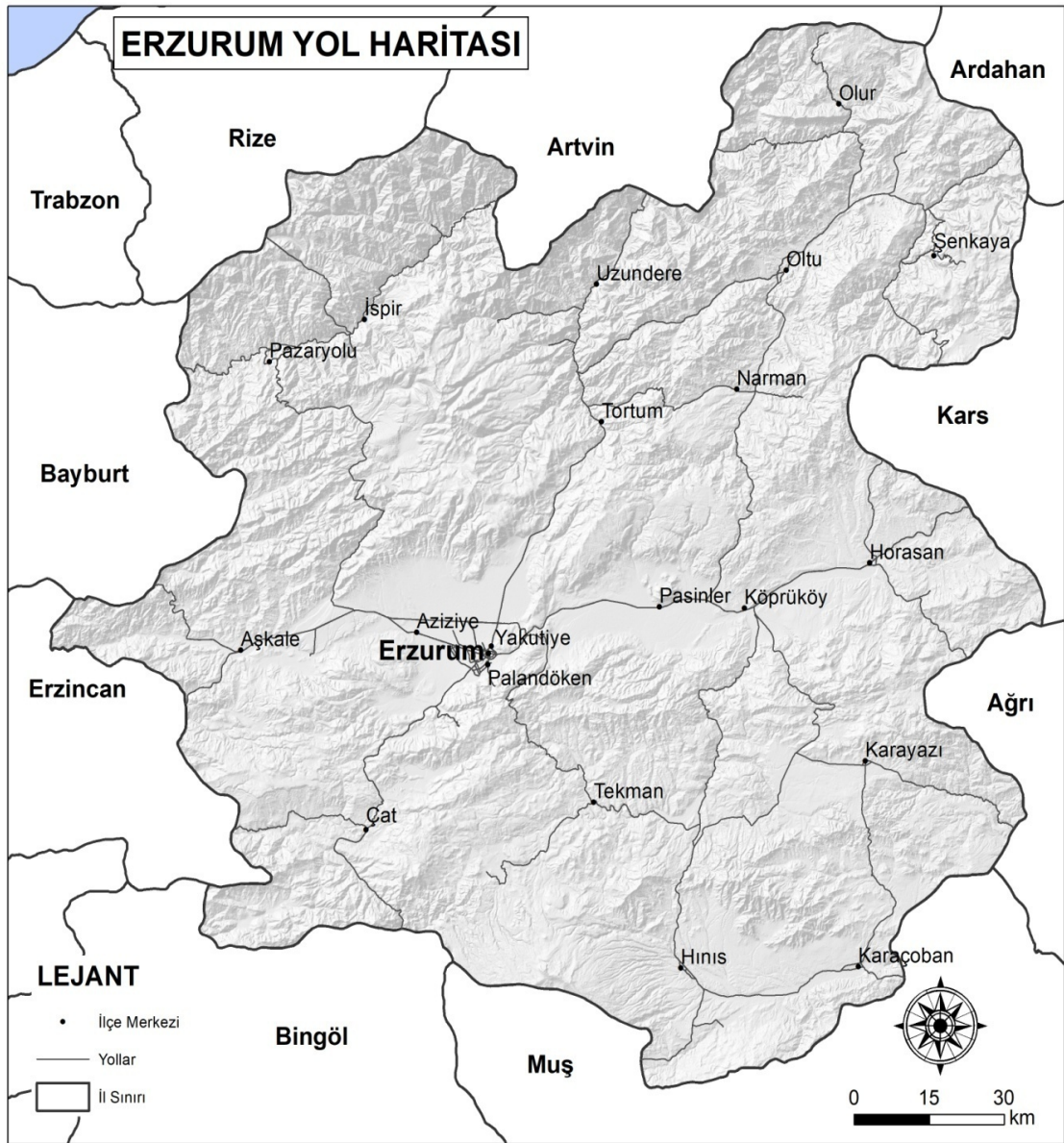
ENH (m)	Puan
>8.001	1
4.001-8.000	2
2.001-4.000	3
1.001-2.000	4
0-1.000	5



Şekil 21. Erzurum ili sınıflandırılmış enerji nakil hatlarına uzaklık haritası

3.1.7. Yollara Uzaklık

GES'lerde yollara olan uzaklık hem bakım-onarım maliyetleri hem de çevresel etki açısından önemli bir kriterdir. Yollara yakınlık, ilk kurulumda altyapı çalışmalarının maliyetini düşürür ve ulaşım kolaylığı sağlar. Ancak aşırı yakınlık, yollardan geçen araçların atıklarının güneş panellerini kirletmesi ve güvenlik riskleri yaratması gibi olumsuz sonuçlar doğurabilir. Panellerin yollardan belirli bir uzaklıkta olması hem santrallerin uzun ömürlü olması hem de çevresel etkilerin minimuma inmesini sağlar. Analizler sonucu elde edilen yol haritası Şekil 22.'de gösterilmiştir (Arca ve Çıtıroğlu, 2022). Yollara uzaklığa ait veriler OpenStreetMap aracılığıyla elde edilmiştir (URL-3).

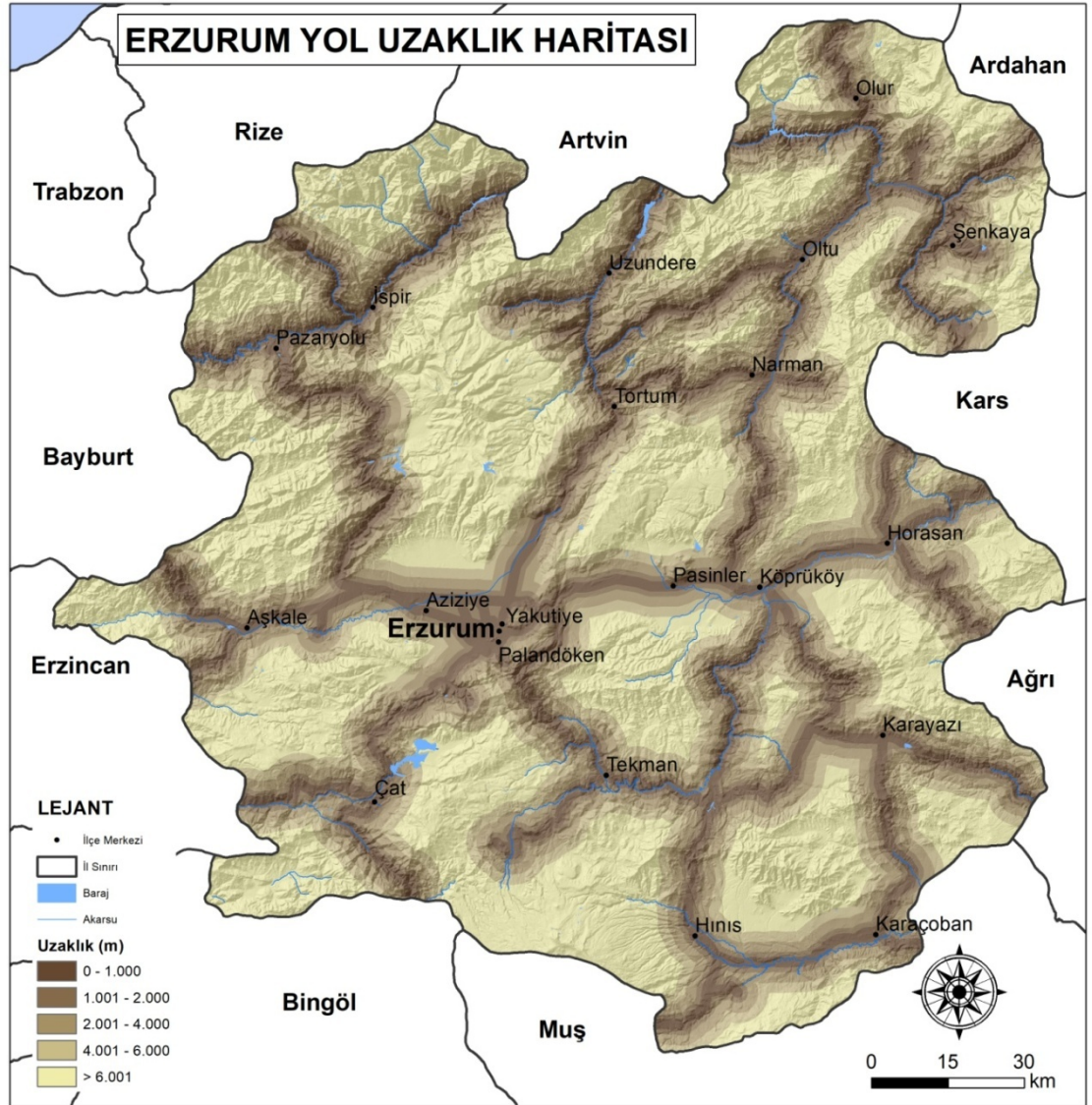


Şekil 22. Yol haritası

Bu analizde yola yakınlık kriteri 5 sınıfa ayrılmış ve 0-1.000 aralığında kalan alanlar yollara yakın olduğu gerekçesiyle değerlendirme dışı bırakılmıştır. 1.001-2.000 aralığında kalan bölgeler ise 4 değerini alarak güneş enerji santrali kurulumuna en uygun alanlar olarak değerlendirilmiştir. Sınıflandırma puanları Tablo 8.'de, sınıflandırma haritası ise Şekil 23.'te gösterilmiştir.

Tablo 8. Yollara uzaklık sınıflandırma sonrası verilen puanlar

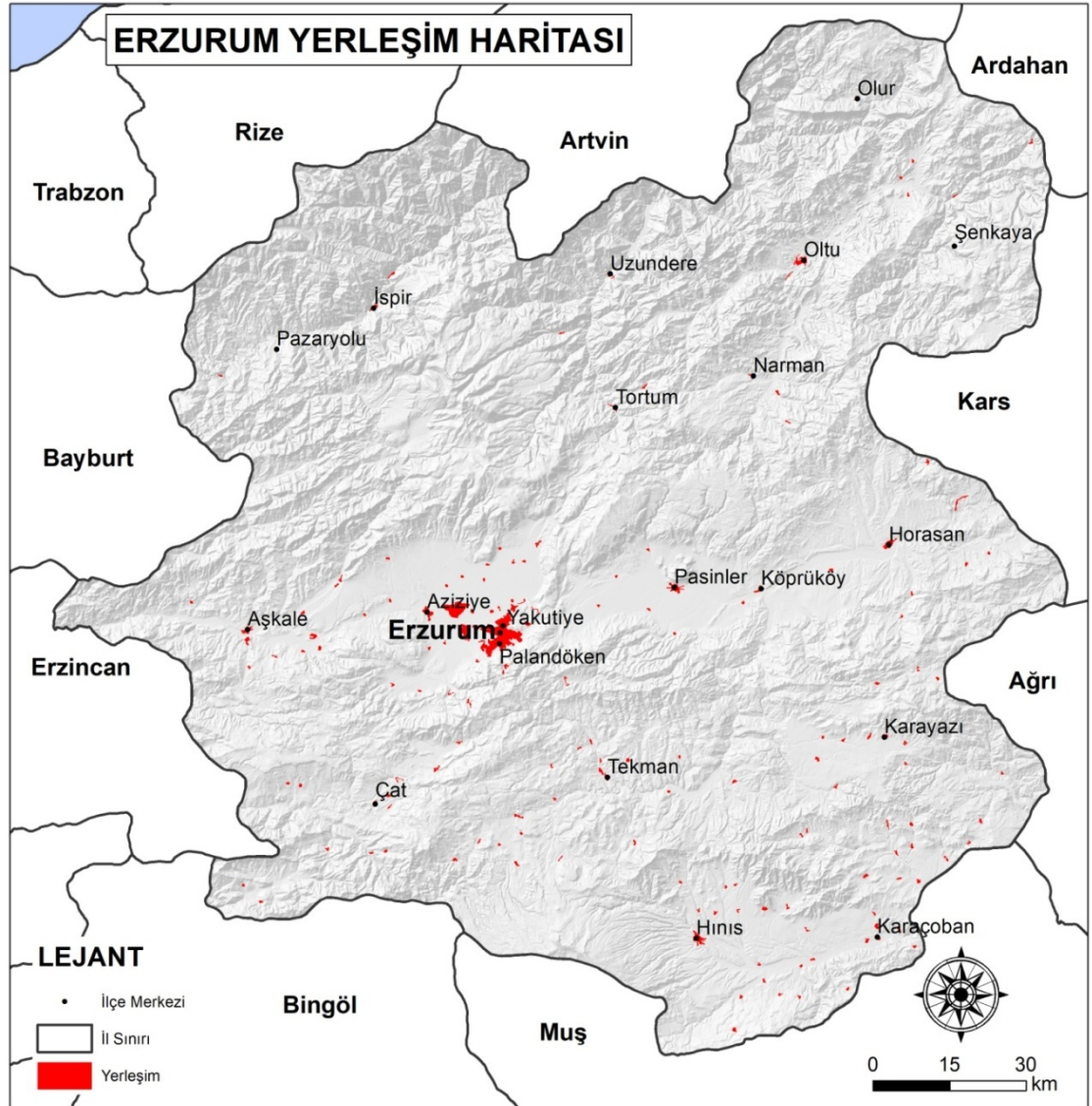
Yola Uzaklık (m)	Puan
0-1.000	0
>6001	1
4.001-6.000	2
2.001-4.000	3
1.001-2.000	4



Şekil 23. Erzurum ili sınıflandırılmış yollara uzaklık haritası

3.1.8. Yerleşim Yerlerine Uzaklık

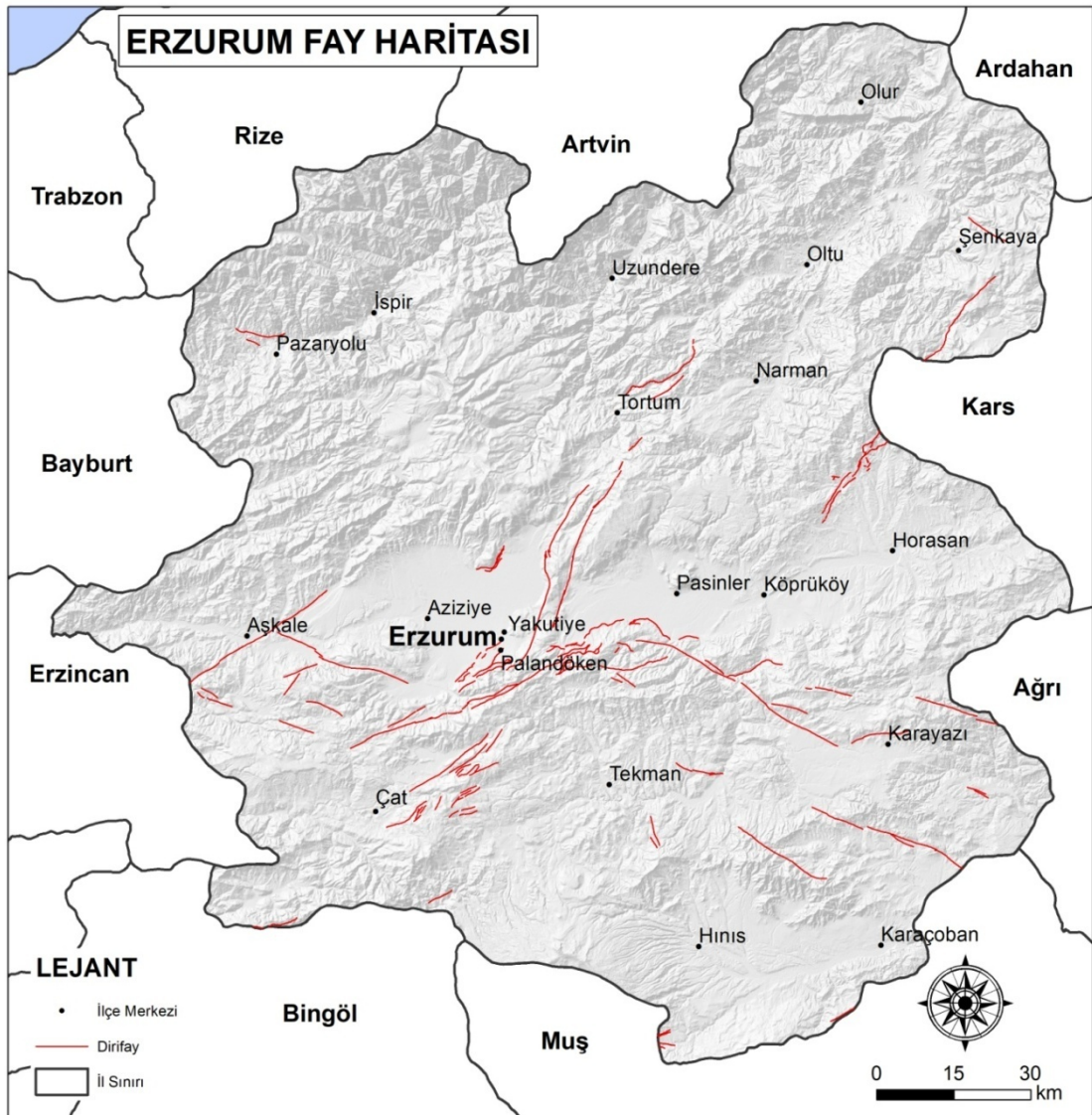
GES yerleşim yerlerine olan uzaklığı, uzun vadeli planlama açısından önemli bir kriterdir. Yerleşim yerlerinin büyüme eğilimi, GES'lerin gelecekte yerleşim alanları ile iç içe geçme riskini doğurmaktadır. Bu durum, hem kamusal alanlarda gölgelenme gibi teknik problemlere hem de gürültü kirliliği gibi çevresel sorunlara yol açabilir. Öte yandan, GES'lerin yerleşim yerlerinden çok uzakta olması da enerji iletim maliyetlerini artırır. Bu nedenle, GES arazisi seçerken yerleşim yerlerine ideal bir uzaklık bulmak kritik önem taşır. Bu sayede hem santrallerin uzun ömürlü ve sürdürülebilir olması hem de bölgenin enerji ihtiyacının en uygun şekilde karşılanması sağlanır. Analizler sonucu elde edilen yerleşim yerleri haritası Şekil 24.'te gösterilmiştir (Arca ve Çıtıroğlu, 2022). Yerleşim yerlerine uzaklığa ait veriler OpenStreetMap aracılığıyla elde edilmiştir (URL-3).



Şekil 24. Yerleşim yerleri haritası

3.1.9. Fay Hatlarına Uzaklık

Güneş enerji santrali kurulumunda yer seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörlerden bir diğeri fay hatlarına olan uzaklıktır. GES için arazi seçimi yaparken depremsellik önemli bir risk faktörüdür. Doğu Anadolu Bölgesi, Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu gibi aktif fay hatlarının etkisi altında bulunmaktadır. Bu nedenle, bölgedeki GES projelerinde deprem riskinin göz önünde bulundurulması ve gerekli önlemlerin alınması kritik önem taşır. Bölgede Aşkale Fay Zonu, Başköy-Kandilli Fay Zonu, Palandöken Fay Zonu ve Erzurum-Dumlu Fay Zonu olmak üzere dört temel fay hattı öne çıkmaktadır. Bu fay hatlarının potansiyel deprem büyüklükleri, GES arazisi seçiminde ve proje tasarımında dikkate alınmalıdır. Analizler sonucu elde edilen fay hatları haritası Şekil 26.'da gösterilmiştir (Anadolu Kılıç, 2021). Fay hatlarına uzaklığa ait veriler MTA Genel Müdürlüğü aracılığıyla elde edilmiştir (URL-5).

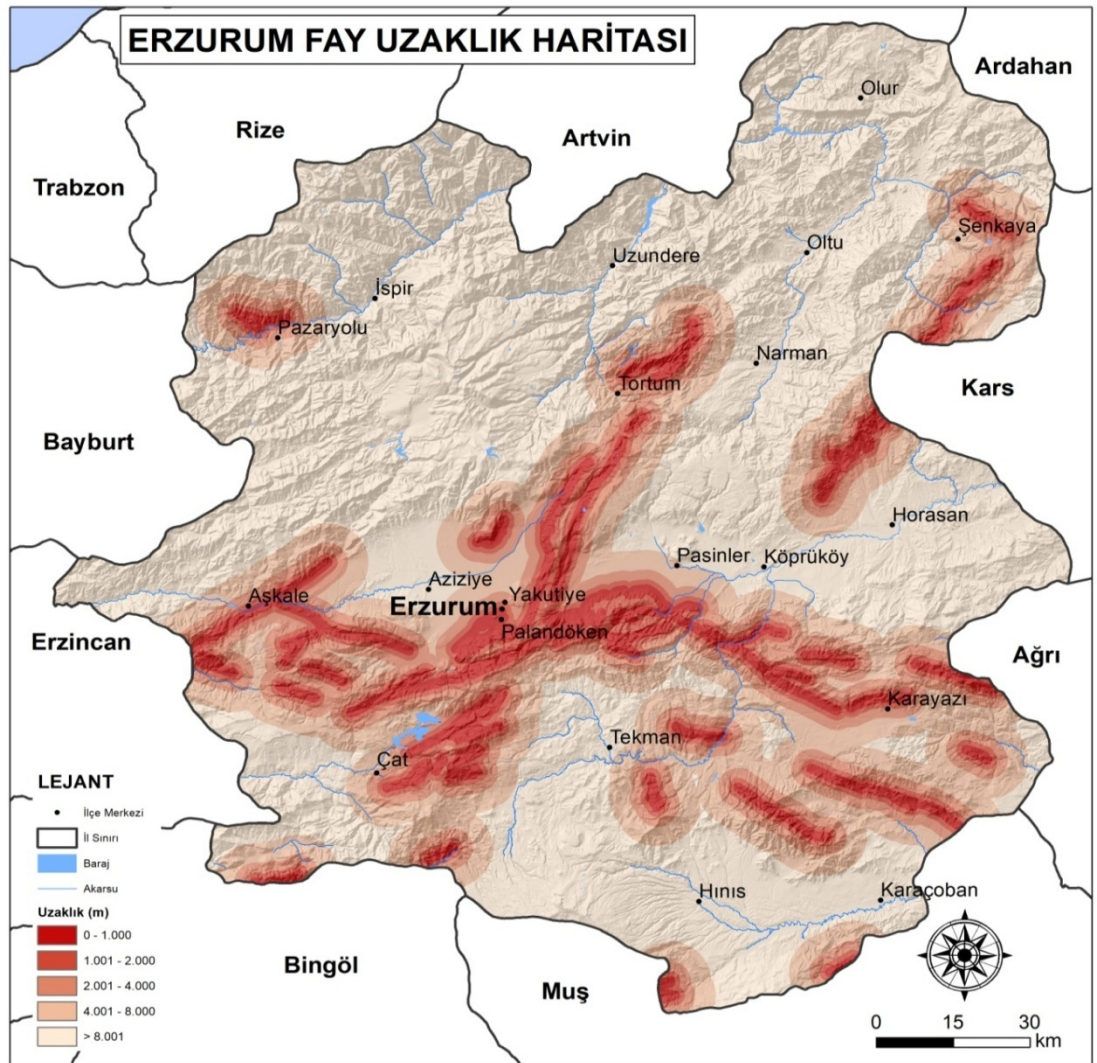


Şekil 26. Fay hatları haritası

Bu analizde fay hattına yakınlık kriteri 5 sınıfa ayrılmıştır. Fay hatlarına en uzak konumda bulunan alanlar 5 puan olarak en uygun alan olarak sınıflandırılır. Bu durum, olası depremlerde santralin göreceği zararları minimum seviyeye indirir ve bakım onarım maliyeti oluşmasını engeller. Fay hatlarına yaklaştıkça puan da düşer. Uzaklık 1 puana kadar gerilediğinde ise uygun değil olarak değerlendirilir. Sınıflandırma puanları Tablo 10.'da, sınıflandırma haritası ise Şekil 27.'de gösterilmiştir.

Tablo 10. Fay hatlarına uzaklık sınıflandırma sonrası verilen puanlar

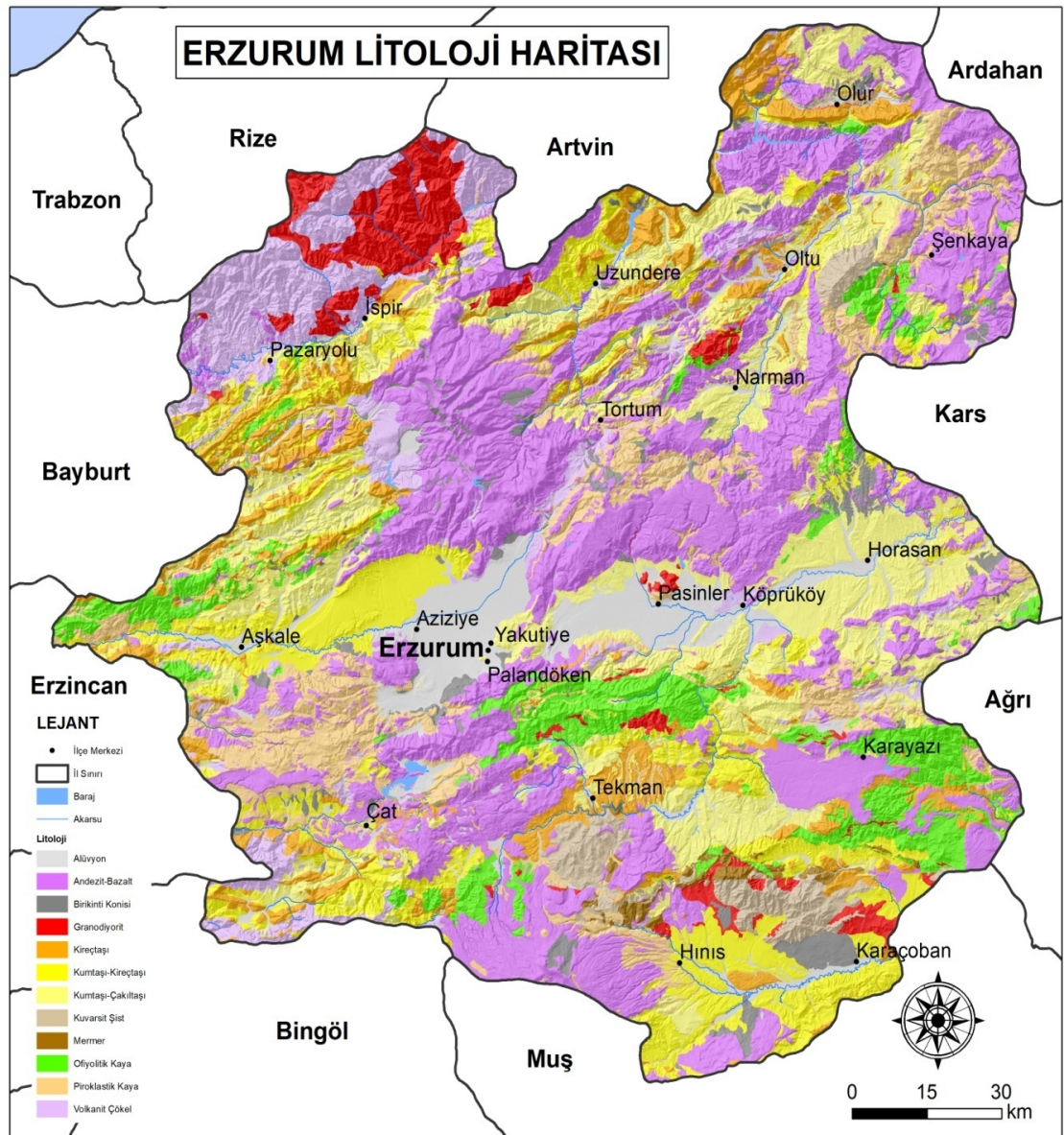
Fay Hattına Uzaklık (m)	Puan
0-1.000	1
1.001-2.000	2
2.001-4.000	3
4.001-8.000	4
>8.001	5



Şekil 27. Erzurum ili sınıflandırılmış fay hatlarına uzaklık haritası

3.1.10.Litoloji

Dikkate alınması gereken kriterlerden biri olan litoloji yani jeolojik kayaçların türleri ve özellikleridir. GES tesisinin uzun ömürlü olması isteniyorsa; sağlam ve stabil zeminler, yüksek taşıma kapasitesine sahip kayaçlar, düşük aşınma ve erozyon oranına sahip kayaçlar ve su geçirgenliği yüksek kayaçların bulunduğu bölgeler üzerinde çalışmalar yapılmalıdır. Analizler sonucu elde edilen fay hatları haritası Şekil 28.'de gösterilmiştir. Litolojiye ait veriler MTA Genel Müdürlüğü aracılığıyla elde edilmiştir (URL-5).



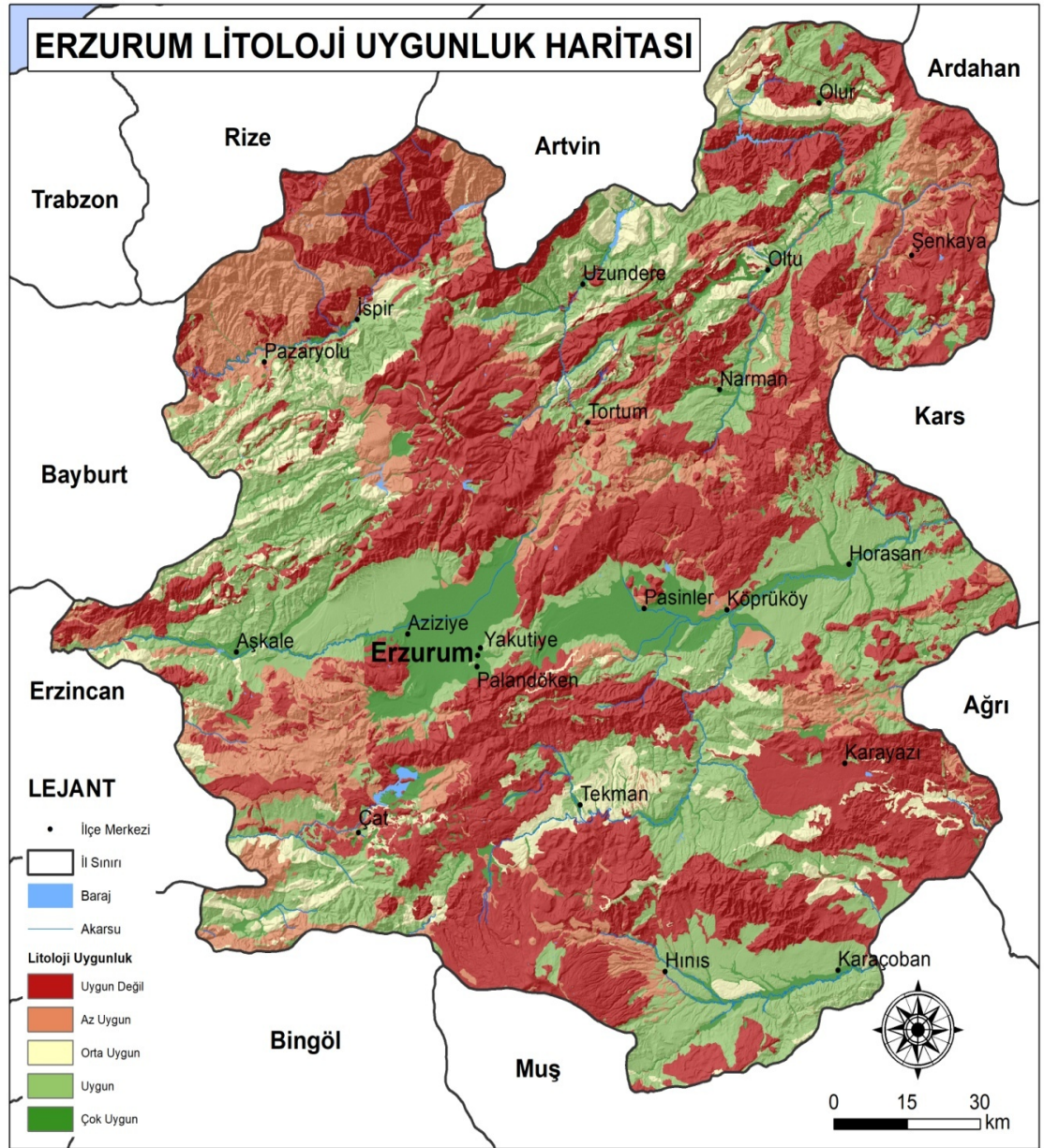
Şekil 28. Litoloji haritası

GES kurulumu için çok uygun olan alanlar sınıflandırma paftasında 5 puan değeri ile uygun olan alanlar ise 4 puan değeri ile gösterilmiştir. Bunların arasında

andezit-bazalt, granodiyarit ve ofiyolitik kaya yapısındaki alanlar bulunmaktadır. Sınıflandırma puanları Tablo 11.'de, sınıflandırma haritası ise Şekil 29.'da gösterilmiştir.

Tablo 11. Litoloji sınıflandırma sonrası verilen puanlar

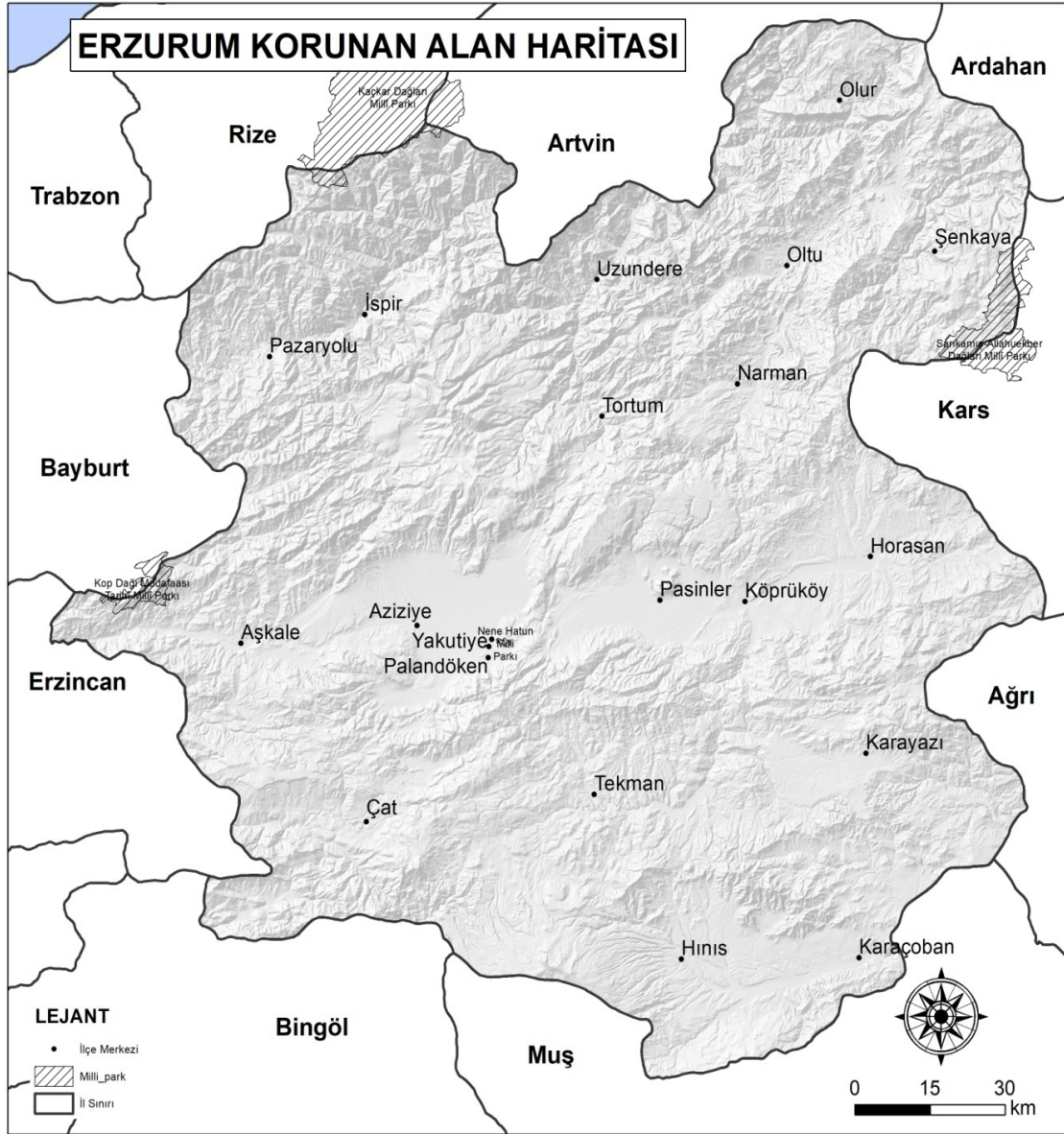
Litoloji	Puan
Alüvyon, Birikinti Konisi, Kumtaşı-Çakıldaşı, Mermer	1
Piroklastik Kaya, Volkanit Çökel	2
Kuvarsit Şist, Kireçtaşı, Kumtaşı-Kireçtaşı	3
Ofiyolitik Kaya	4
Andezit-Bazalt, Granodiyarit	5



Şekil 29. Erzurum ili sınıflandırılmış litoloji haritası

3.1.11.Koruma Statüsünde Bulunan Alanlar

Yapılan çalışmalarda koruma alanlarının dikkate alınması gerekliliği önemli bir unsurdur. Santral kurulmadan önce kültürel kaynakların korunması ve bunların devamlılığının sağlanması öncelik alınarak santral bu alanlar dışında kalan bölgeye kurulmalıdır. Analizler sonucu elde edilen koruma statüsünde bulunan alanlar haritası Şekil 30.'da gösterilmiştir. Koruma statüsünde bulunan alanlara ait veriler OpenStreetMap aracılığıyla elde edilmiştir (URL-3).



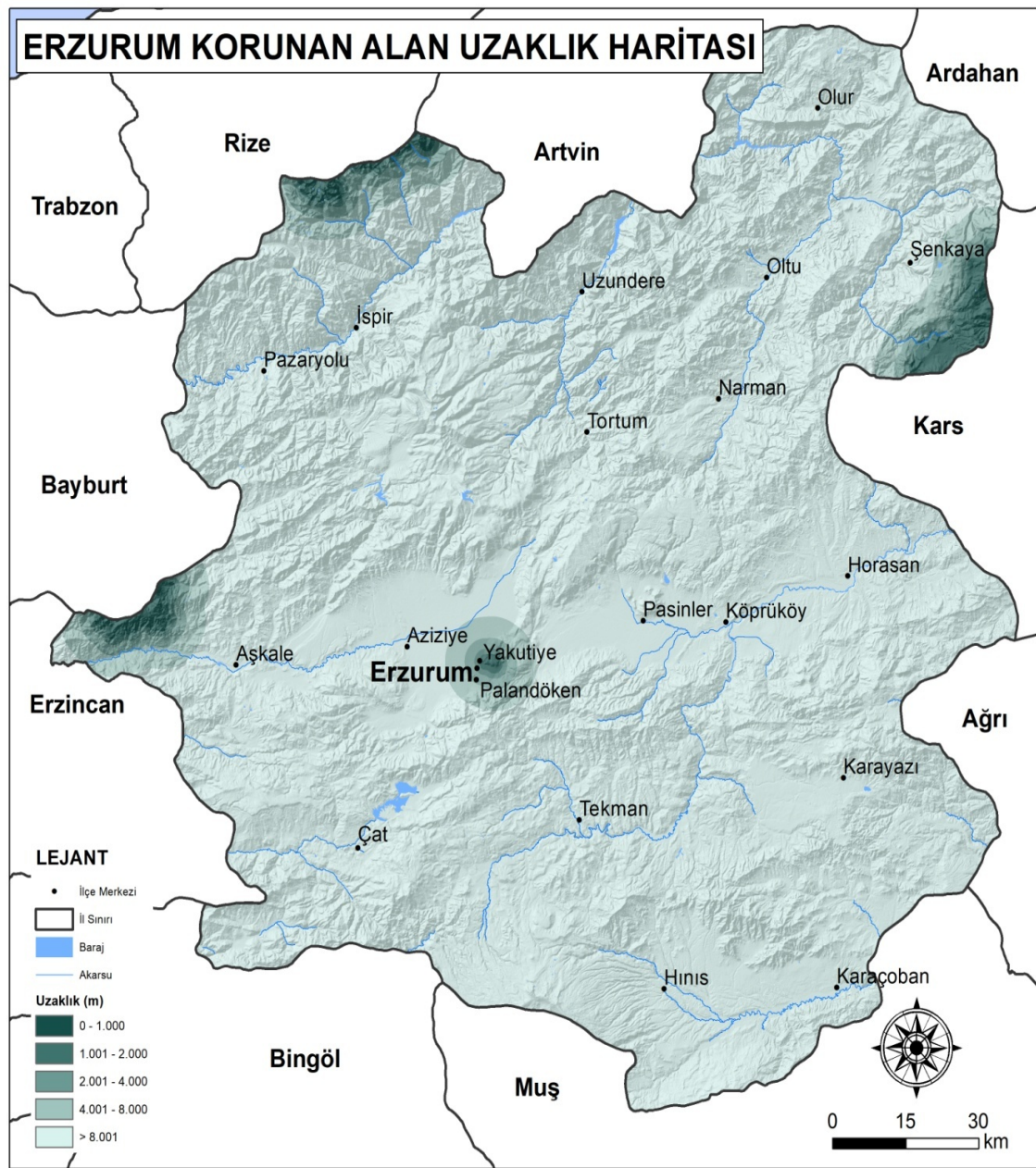
Şekil 30. Koruma statüsünde bulunan alanlar haritası

Koruma statüsünde bulunan alanlar sınıflandırma paftasında 0-1.000 aralığında yer alıp 1 puan değeri ile uygun olmayan alanlar olarak belirlenmiştir. Yapımı planlanan santralin bu alanlardan 1.000 m ve üzeri bir mesafede olması gerekmektedir.

Sınıflandırma puanları Tablo 12.'de, sınıflandırma haritası ise Şekil 31.'de gösterilmiştir.

Tablo 12. Koruma statüsünde bulunan alanlar sınıflandırma sonrası verilen puanlar

Koruma Statüsünde Bulunan Alanlar(m)	Puan
0-1.000	1
1.001-2.000	2
2.001-4.000	3
4.001-8.000	4
>8.001	5



Şekil 31. Erzurum ili sınıflandırılmış koruma statüsünde bulunan alanlar haritası

3.2. AHP İle Ağırlıkların Belirlenmesi

GES kurulumunda en uygun yeri seçmek, projenin başarısı için kritik önem taşır. Bu çalışmada, analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak GES kurulumu için 11 kriterin (güneş enerji potansiyeli, arazi kullanımı, eğim, bakı, akarsu ve göllere uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık, yollara uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, fay hatlarına uzaklık, litoloji ve koruma statüsünde bulunan alanlar) ağırlıkları belirlenmiştir. Çalışmada, alanında uzman 30 farklı kişiye anket çalışması düzenlenmiş ve kriterler 1'den 9'a kadar bir ölçekte karşılaştırılarak önem dereceleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler AHP ile analiz edilerek her bir kriterin diğerlerine göre göreceli ağırlığı hesaplanmıştır. Bu sayede, GES kurulumu için en uygun yer seçilirken hangi kriterlerin daha fazla dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir. Bu yöntemin kullanımı, GES kurulumunda daha bilinçli ve bilimsel bir yaklaşımın benimsenmesini sağlayarak projelerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artıracaktır. Tablo 13.'te Analitik hiyerarşi yöntemi sonucu elde edilen karşılaştırma matrisi, Tablo 14.'te Analitik hiyerarşi yöntemi sonucu elde edilen ağırlıklar, Tablo 15.'te ise Analitik hiyerarşi yöntemi sonucu elde edilen ağırlıklar gösterilmiştir.

Tablo 13. Analitik hiyerarşi yöntemi sonucu elde edilen karşılaştırma matrisi

Kriterler	a	b	c	d	e	f	g	h	ı	j	k
(a) Yollara Uzaklık	1	2	3	1	1/7	1/5	1/4	1	1/6	1/5	1
(b) Yerleşim Yerlerine Uzaklık	1/2	1	2	1/2	1/9	1/7	1/5	1	1/8	1/6	1/2
(c) Akarsu ve Göllere Uzaklık	1/3	1/2	1	1/4	1/9	1/8	1/6	1/2	1/8	1/7	1/3
(d) Arazi Kullanımı	1	2	4	1	1/6	1/5	1/3	1	1/5	1/4	1
(e) Güneş Enerji Potansiyeli	7	9	9	6	1	2	2	9	1	2	6
(f) Eğim	5	7	8	5	1/2	1	2	8	1	1	3
(g) Fay Hatlarına Uzaklık	4	5	6	3	1/2	1/2	1	5	1/2	1/2	2
(h) Koruma Statüsünde Bulunan Alanlar	1	1	2	1	1/9	1/8	1/5	1	1/8	1/6	1/2
(ı) Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	6	8	8	5	1	1	2	8	1	1	5
(j) Bakı	5	6	7	4	1/2	1	2	6	1	1	4
(k) Litoloji	1	2	3	1	1/6	1/3	1/2	2	1/5	1/4	1

AHP ile elde edilen kriter ağırlıkları, GES için en önemli faktörlerin neler olduğunu ortaya koymaktadır. Beklendiği gibi, en yüksek ağırlık 0.225 ile güneş enerji potansiyeline verilmiştir. Bu GES kurulumunda en önemli kriterin, seçilen alanın güneş ışınlarından ne kadar fazla faydalanabileceğinin altını çizmektedir. Güneş enerji potansiyelini sırasıyla 0.182 ile enerji nakil hatlarına uzaklık, 0.159 ile eğim, 0.151 ile bakı ve 0.101 ile fay hatlarına uzaklık kriterleri takip etmektedir. Bu kriterlerin de GES kurulumu için önemli olduğu bilinmektedir. Enerji nakil hatlarına yakınlık, üretilen enerjinin daha az kayıpla iletilmesine olanak sağlar. Eğim ve bakı, güneş panellerinin

güneş ışınlarını en etkin şekilde alabilmesi için önemlidir. Arazi kullanımı ise, projenin çevresel etkisini ve yasal izinlerin alınmasını etkileyebilir.

Tablo 14. Analitik hiyerarşi yöntemi sonucu elde edilen ağırlıklar

Kriterler	Ağırlıklar
Güneş Enerji Potansiyeli	0.225
Arazi Kullanımı	0.039
Eğim	0.159
Bakı	0.151
Akarsu ve Göllere Uzaklık	0.016
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	0.182
Yollara Uzaklık	0.035
Yerleşim Yerlerine Uzaklık	0.023
Fay Hatlarına Uzaklık	0.101
Litoloji	0.043
Koruma Statüsünde Bulunan Alanlar	0.026
Toplam	1

Tablo 15. Analitik hiyerarşi yöntemi sonucu elde edilen tutarlılık oranı

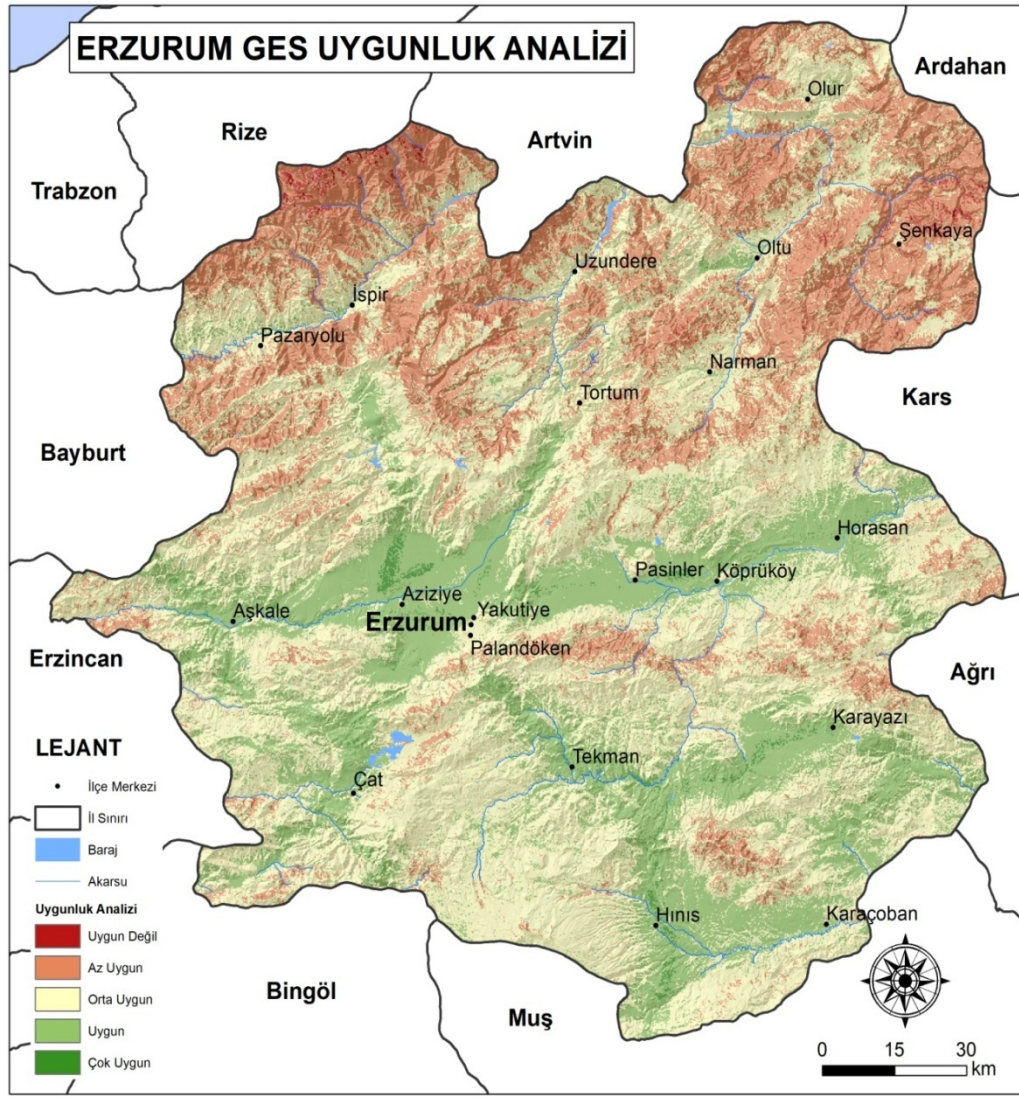
0.0151

Analitik hiyerarşi yöntemi ile hesaplanan tutarlılık oranı 0.0151 olarak bulunmuştur. Bu değer 0.10'un altında olduğu için, elde edilen ağırlıkların tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu da, anket katılımcılarının kriterleri tutarlı bir şekilde değerlendirdiğini ve AHP'nin bu sorunda güvenilir bir araç olduğunu kanıtlamaktadır. Sonuç olarak, AHP ile elde edilen kriter ağırlıkları, GES kurulumu için yer seçerken göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörleri net bir şekilde ortaya koymaktadır.

4. BULGULAR

4.1. Erzurum İli Güneş Enerji Santral Kurulumu İçin Uygun Alanlar

Erzurum il genelinde güneş enerji santrali kurulabilecek en uygun alanları belirlemek için kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür. İlk aşamada güneş enerji potansiyeli, arazi kullanımı, eğim, bakı, akarsu ve göllere uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık, yollara uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, fay hatlarına uzaklık, litoloji ve koruma statüsünde bulunan alanlar olmak üzere 11 kriterin mekânsal analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerden elde edilen kriter haritaları, kriterlerin önemini ve dağılımını görselleştirmeye yardımcı olmuştur. Daha sonra, analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak bu kriterlerin güneş enerji santrali kurulumu için önemleri değerlendirilmiştir. Alanında uzman 30 farklı kişinin değerlendirmeleri doğrultusunda, güneş enerji potansiyeli (0.225) en önemli kriter olarak belirlenmiş, enerji nakil hatlarına uzaklık (0.182), eğim (0.159), bakı (0.151) ve fay hatlarına uzaklık (0.101) kriterleri ise sırasıyla onu takip etmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları ve raster harita verileri, AHP ile birleştirilerek Erzurum’da güneş enerji santrali kurulması için en uygun alanlar belirlenmiştir. Sonuç haritası, şehrin önemli bir kısmının GES kurulumu için orta uygun, uygun ve çok uygun olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Erzurum’un güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengin bir bölge olduğunu ve bu alanda önemli yatırımlara ev sahipliği yapabileceğini ortaya koymaktadır. Ek olarak, çalışma güneş enerjisi potansiyeli haritasının tek başına yeterli olmadığını da göstermiştir. Farklı kriterler devreye girdiğinde farklı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, GES kurulumu için alan seçerken sadece güneş enerjisi potansiyeline değil, diğer kriterlere de dikkat edilmesi önemlidir. Şekil 32.’de Erzurum ili güneş enerji santrali kurulumu için uygun alanlar haritası gösterilmiş olup, Şekil 33.’te ise Erzurum ili güneş enerji santrali kurulu, yapım aşamasında, planlanan ve önerilen alanlar haritası sembolize olarak gösterilmiştir.



Şekil 32. Erzurum ili güneş enerji santrali kurulumu için uygun alanlar haritası

GES kurulabilecek alanların haritasının doğruluğunu kontrol etmek amacıyla Erzurum'da faaliyet gösteren mevcut GES'lerin konumları haritadaki uygun alanlarla karşılaştırılmıştır. İlde faaliyet gösteren Aşkale GES (Aşkale-5.00 MW), Halk Enerji Erzurum GES (Aziziye-4.90 MW), Erkal Elektrik GES (Pasinler-0.99 MW), Her-İş İnşaat GES (Pasinler-0.99 MW), Pado Dondurma GES (Aziziye-0.30 MW), Erzurum'daki diğer Lisanssız GES'ler (104.00 MW) olmak üzere toplamda 116 MWe gücünde kurulu GES mevcuttur (URL-11).

Ayrıca Kadioğlu GES(Aziziye-4.34 MW) ve Halk Enerji Aziziye Lisanssız GES (Aziziye-4,00 MW) olmak üzere toplamda 8.34 MWe gücüne sahip yapımına devam edilen güneş enerji santralleri dikkat çekmektedir (URL-11).

Bununla birlikte Kahve GES (Palandöken-80 MW), Demirgeçit GES (Aziziye-70 MW) ve Gelinkaya GES (Aziziye-30 MW) olmak üzere toplamda 180 MWe gücünde ön lisans almış olup kurulumu planlanan GES alanları mevcuttur (URL-11).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji ihtiyacımızın artması ve fosil yakıtlara olan bağımlılığımızın beraberinde getirdiği çevresel sorunlar, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmaktadır. Güneş enerjisi, sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması, sera gazı emisyonlarının artması ve iklim değişikliği gibi global sorunlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini daha da artırmaktadır. Güneş enerjisinin temiz, tükenmez ve sürdürülebilir bir kaynak olması, onun geleceğin enerji çözümleri arasında başı çekmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda, Türkiye'nin doğu bölgesinde yer alan Erzurum, güneş enerjisi açısından önemli bir potansiyele sahip şehirlerimizden biridir. Erzurum'un geniş arazileri, yüksek rakımı, güneşlenme süresi ve yoğunluğu gibi faktörler, GES için uygun alanlar sunmaktadır. GES'ler, enerji arz güvenliğini sağlamak, yerel kalkınmayı desteklemek ve çevresel etkileri minimize etmek için stratejik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, Erzurum'da GES kurulumu için uygun alanların belirlenmesi büyük bir önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Erzurum ilinde GES kurulumu için en uygun alanlar belirlenmiştir. Çalışmada güneş enerji potansiyeli, arazi kullanımı, eğim, bakı, akarsu ve göllere uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık, yollara uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, fay hatlarına uzaklık, litoloji ve koruma statüsünde bulunan alanlar gibi birçok kriter göz önünde bulundurulmuştur. CBS ve ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda, Erzurum'da GES kurulumuna en uygun alanlar belirlenmiş ve sonuç haritası oluşturulmuştur. Harita incelendiğinde, Merkez, Aziziye, Aşkale, Yakutiye, Pasinler, Köprüköy, Horasan, Tekman, Çat, Hınıs, Karayazı ve Karaçoban bölgelerinin GES kurulumu için uygun ve çok uygun alanlar olduğu tespit edilmiştir. Bu alanlar dışında kalan ve şehrin kuzey kesimlerinde yer alan Pazaryolu, İspir, Tortum, Uzundere, Narman, Oltu ve Olur bölgeleri ise orta uygun olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, Erzurum'un güneş enerjisi yatırımları için büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Çalışmada kullanılan kriterler, Erzurum'un iklimsel ve coğrafi özelliklerine göre belirlenmiştir. Güneşlenme süresi ve yoğunluğunun yanı sıra, arazi yapısının eğimi ve yönelimi gibi faktörler de göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, enerji nakil hatlarına, yollara, yerleşim yerlerine, su kaynaklarına ve fay hatlarına olan uzaklık gibi unsurlar da değerlendirilmiştir. Bu kriterler, GES kurulumunun teknik ve ekonomik açıdan en uygun şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olmuştur. Erzurum'daki GES yer seçiminde kullanılan CBS ve ÇKKV yöntemleri, farklı verilerin entegrasyonu ve analiz edilmesi sürecinde büyük kolaylık sağlamıştır. CBS, mekânsal verilerin görselleştirilmesi ve analizi için etkili bir araçtır. ÇKKV ise, birden fazla kriterin dikkate alınarak en uygun kararın verilmesini sağlar. Bu iki yöntemin birleşimi, GES yer seçiminde daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımıştır.

GES kurulumuna uygun alanlarda yatırımlar teşvik edilmeli ve GES yer seçiminde kullanılan kriterler, bölgeden bölgeye farklılık gösteren özel koşullara göre değerlendirilmelidir. CBS ve ÇKKV yöntemleri gibi araçlar, GES yer seçimi çalışmalarında daha yaygın olarak kullanılmalıdır. Ayrıca, güneş enerjisi yatırımlarının teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması için bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Bu şekilde, güneş enerjisinin kullanımının artırılması sağlanabilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş hızlandırılabilir. Yenilenebilir enerji projeleri, yerel ekonomiye katkı sağlamakta, istihdam yaratmakta ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir.

Güneş enerjisi yatırımlarının teşvik edilmesi, enerji politikalarının sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, enerji arz güvenliğini artıracak ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir adım olacaktır. Bu bağlamda, Erzurum ve benzeri potansiyele sahip diğer illerde yapılacak çalışmalar, Türkiye'nin enerji dönüşüm sürecinde önemli bir rol oynayacaktır. Güneş enerjisinin yaygınlaştırılması, enerji maliyetlerini düşürecek ve çevresel sürdürülebilirliği artıracaktır. Bu çalışma, güneş enerjisi alanında yapılacak gelecekteki araştırmalar için de önemli bir referans kaynağı olacaktır. Güneş enerjisi yatırımlarının artırılması ve bu alandaki çalışmaların yaygınlaştırılması, Türkiye'nin enerji bağımsızlığına ve sürdürülebilir kalkınmasına katkı sağlayacaktır.

Güneş enerjisi santrallerinin kurulumu, yerel ekonomilere de önemli katkılar sağlar. GES projeleri, inşaat ve işletme aşamalarında istihdam yaratır ve yerel işletmelere yeni fırsatlar sunar. Ayrıca, yerel enerji üretimi sayesinde enerji maliyetleri düşer ve enerji arz güvenliği artar. Bu durum, bölgesel kalkınmayı destekler ve yerel halkın refah seviyesini yükseltir.

Sonuç olarak, bu çalışma Erzurum’da GES kurulumu için önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Ayrıca, Türkiye’deki diğer illerde de yapılacak benzer çalışmalar, ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin daha etkin kullanılmasına katkıda bulunarak enerjide dışa bağımlılığı azaltacaktır. Bu durum, ülkemizin enerji güvenliğini güçlendirecek ve ekonomik anlamda sürdürülebilir bir geleceğe adım atmamıza yardımcı olacaktır. Erzurum’daki bu çalışma, aynı zamanda diğer illere de örnek teşkil edebilir ve benzer metodolojilerle farklı bölgelerde de GES yer seçimi çalışmaları yapılabilir. Böylece, Türkiye genelinde güneş enerjisi potansiyelinin tam anlamıyla değerlendirilmesi sağlanabilir ve enerji çeşitliliği artırılabilir. Güneş enerjisi yatırımlarının artması, hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük faydalar sağlayacak, Türkiye’nin enerji bağımsızlığına ve sürdürülebilir kalkınmasına önemli katkılarda bulunacaktır. Bu çalışmada kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar, güneş enerjisi alanında yapılan diğer araştırmalar için de değerli bir kaynak oluşturmaktadır. AHP ve CBS gibi modern ve etkili yöntemlerin entegrasyonu, daha isabetli ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı olacaktır. Güneş enerjisi potansiyeli değerlendirilirken dikkate alınan kriterlerin çeşitliliği ve kapsamlılığı, çalışmanın bilimsel değerini ve uygulama alanlarını genişletmektedir. Erzurum’daki bu çalışma, Türkiye’nin enerji dönüşüm sürecinde önemli bir adım olarak değerlendirilmeli ve yenilenebilir enerji alanında yapılan çalışmalar desteklenmelidir. Güneş enerjisine yönelik yatırımların ve bu alanda yapılan bilimsel çalışmaların artması ve yaygınlaşması dileğiyle.

KAYNAKÇA

- Acar, E., (2019). *AHP Yöntemi ve CBS Analizleri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.*
- Akçay, M., (2019). *AHP-TOPSIS Hibrit Yöntemi İle Türkiye’de Güneş Enerjisi Santrali İçin Yer Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.*
- Albraheem, L., Awlaqi, L. A., (2023). Geospatial Analysis of Wind Energy Plant in Saudi Arabia Using a GIS-AHP Technique, *Energy Reports*, 9, 5878-5898.
- Anadolu Kılıç, N. C., (2021). Erzurum İli Doğa Olayları Profili ve Deprem Tehlikesi, *Afet ve Risk Dergisi*, 4(1), 61-83.
- Aslan, Ş., (2019). *Güneş Enerji Santrali Yer CBS Kullanımı: Kayseri İli Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.*
- Ayday, C., Yaman, N., Sabah, L., Höke, O., (2016). Güneş Enerji Santrali Yer Seçiminde Açık Kaynak Kodlu CBS Kullanımı-Eskişehir İl Örneği, 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana, s.510-520.
- Aydin, N. Y., Kentel, E., Duzgun, S., (2010). GIS-Based Environmental Assesment of Wind Energy Systems For Spatial Planning: A Case Study From Western Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 364-373.
- Baban, S. M., Parry, T., (2001). Developing and Applying a GIS-Assited Approach to Locating Wind Farms in the UK, *Renewable Energy*, 24(1), 59-71.
- Balcı, İ., Çoban, O.H., Eker, M., (2000). Coğrafi Bilgi Sistemi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 115-132.
- Baydar, O., (2021). *Kamu Binalarında Yenilenebilir Enerji Kullanımı: Çanakkale 112 Acil Çağrı Merkezi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi.*
- Beycur, S., (2022). *Elazığ İlinde Güneş Enerjisi Santral Yerlerinin CBS ve AHP Yöntemleri ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.*
- Ceylan Ş., Yılmaz I., (2020). Orta Ölçekli Yerleşime Uygunluk Planlarının CBS Tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kullanılarak Hazırlanması: Sivas İl Merkezi Örneği, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 545-558.
- Charabi, Y., Gastli, A., (2011). PV Site Suitability Analysis Using GIS-Based Spatial Fuzzy Multi-Criteria Evaluation, *Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561.

- Colak, H. E., Memisoglu, T., Gercek, Y., (2020). Optimal Site Selection For Solar Photovoltaic (PV) Power Plants Using GIS and AHP: A Case Study of Malatya Province, Turkey, *Renewable Energy*, 149, 565-576.
- Çıtıroğlu, K. H., Arca, D., (2022). Güneş Enerjisi Santral (GES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi ile Belirlenmesi: Karabük Örneği, *Geomatik Dergisi*, 7(1), 17-25.
- Demir, A., (2023). CBS Tabanlı AHP Yöntemiyle Orman Yangını Risk Haritasının Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi*.
- Demir, K.B., (2022). Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Performansı Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi: Bayburt Güneş Enerji Santrali Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi*.
- Demirer, A., (2017). Güneş Enerji Santrali Yer Seçimi Probleminin Analitik Hiyerarşi Prosesi Yardımı İle Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi*.
- Ertunç E., Çay T., (2020). Havaalanı Yer Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 200-210.
- Giamalaki, M., Tsoutsos, T., (2019). Sustainable Siting of Solar Power Installations in Mediterranean Using a GIS/AHP Approach, *Renewable Energy*, 141, 64-75.
- Günen, M.A., (2021). A Comprehensive Framework Based on GIS-AHP For the Installation of Solar PV Farms in Kahramanmaraş, Turkey, *Renawable Energy*, 178, 212-225.
- Günen, M.A., (2021). Determination of the Suitable Sites For Consructing Solar Photovoltaic (PV) Power Plants in Kayseri, Turkey Using GIS-Based Ranking and AHP Methods, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 57232-57247.
- İnan, İ., Akbulut, İ., Aslan, E., (2018). Enerji Sorununun Çözümünde Yenilenemez ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri ve Önemi, *Türk Dünyası Araştırmaları Vakfı*, 120, s.11-40.
- İnce, A. F., (2023). Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Sel Risk Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Isparta ili Uluborlu-Senirkent Havzası Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi*.

- İnce, İ. T., (2021). Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretiminde Örnek Uygulamalar, İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, *Disiplinlerarası Yenilik Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 1-10.
- İnceyavuz, H., (2022). *Coğrafi Bilgi Sistemi (CSB) Tabanlı Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yardımıyla Alışveriş Merkezleri İçin Uygun Yer Seçimi: Adana Şehir Merkezi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.*
- Kuruüzüm, A., Atsan, N., (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, *Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1), 83-105.
- Özcan, T., (2019). *Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) Kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Destekli Taşınmaz Değer Haritası Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.*
- Özçelik, M., (2022). *Muş İlinde Güneş Enerjisi Potansiyelinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi (AHP) ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muş Alparslan Üniversitesi.*
- Solğun, N., (2019). *Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Güneş Enerji Santrali Kurulabilecek Alanların Belirlenmesi: Adıyaman Besni Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.*
- Şahin, Ö., (2022). *Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Yenilenebilir Enerji, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.*
- Şimşek, A.B., (2014). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizinin Rüzgâr Türbini Yer Seçim Probleminde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.*
- Tanrıkulu, Y.S., (2023). *Güneş Enerji Santrali Yatırımları İçin Yer Seçimi Analizi: Denizli İli Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi.*
- Taoufik, M., Fekri, A., (2023). A GIS-Based Multi-Criteria Decision-Making Approach For Site Suitability Analysis of Solar-Powered Hydrogen Production in the Souss-Massa Region, Morocco, *Renewable Energy Focus*, 46, 385-401.
- Türkseven, C.S., (2019). *Güneş Enerji Santrali Yer Seçiminde CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Destek Sisteminin Uygulanması (Eskişehir İli Örneği), Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi.*

- URL-1, [https:// land.copernicus.eu/products/corine-land-cover](https://land.copernicus.eu/products/corine-land-cover). 10.01.2024
- URL-2, [https:// usgs.gov](https://usgs.gov). 10.01.2024
- URL-3, [https:// openstreetmap.org](https://openstreetmap.org). 11.03.2024.
- URL-4, [https:// globalsolaratlas.info](https://globalsolaratlas.info). 12.03.2024.
- URL-5, [https:// mta.gov.tr](https://mta.gov.tr). 12.03.2024.
- URL-6, [https:// solargis.com/maps-and-gis-data/download/world](https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world). 28.04.2024.
- URL-7, [https:// enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes](https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes). 28.04.2024
- URL-8, [https:// gepa.enerji.gov.tr](https://gepa.enerji.gov.tr). 28.04.2024.
- URL-9, [https:// erzurum.ktb.gov.tr/TR-56063/cografya.html](https://erzurum.ktb.gov.tr/TR-56063/cografya.html). 01.05.2024.
- URL-10, https://cografyaharita.com/turkiye_mulki_idare_haritalari. 01.05.2024.
- URL-11, [https:// enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/erzurum](https://enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/erzurum). 12.05.2024.
- Uyan, M., (2017). Güneş Enerjisi Santrali Kurulabilecek Alanların AHP Yöntemi Kullanılarak CBS Destekli Haritalanması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 343-351.
- Üke, K., (2016). AHP Yöntemi ile Çorum Şehrinde Avm Kuruluş Yeri Seçimi, *Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi*.
- Xu, J., Song, X., Wu, Y., Zeng, Z., (2015). GIS-Modelling Based Coal-Fired Power Plant Site Identification and Selection, *Applied Energy*, 159, 520-539.
- Yakşı, B., (2021). Yenilenebilir Enerjinin Fosil Yakıt Tüketimi Açısından Çevresel Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi*.
- Yaralhoğlu, K., (2001). Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Proses, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1), 129-142.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenim ve ortaöğrenimini Gümüşhane Aysin Rafet Ataç İlkokulu'nda, lise öğrenimini ise Gümüşhane Ali Fuat Kadirbeyoğlu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2016 yılında Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümüne başladı, 2021 yılında lisans diploması alma hakkı kazandı. 2021 yılı Haziran ayında Gümüşhane'de faaliyet gösteren Aypek Mühendislik ve Mimarlık bünyesinde Harita Mühendisi olarak ilk iş deneyimine başladı. Aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2023 yılı Haziran ayından itibaren de ilde faaliyet gösteren özel bir TOKİ firmasında Harita Mühendisi olarak çalışmaya başladı.

