

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ
YÖNTEMLERİ İLE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ:
BATI AKDENİZ ÖRNEĞİ**

İsmail YILMAZ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ
YÖNTEMLERİ İLE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ:
BATI AKDENİZ ÖRNEĞİ**

İsmail YILMAZ

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

HAZİRAN 2024

ANTALYA

**BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ
YÖNTEMLERİ İLE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ:
BATI AKDENİZ ÖRNEĞİ**

İsmail YILMAZ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 25/06/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir KOÇER (Danışman)

[imza]

Doç. Dr. Serdar SELİM

[imza]

Doç. Dr. Adem YILMAZ

[imza]

ÖZET

BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ: BATI AKDENİZ ÖRNEĞİ

İsmail YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Dr. Abdülkadir KOÇER

II. Danışman: Öğr. Gör. Dr. Ercüment AKSOY

Haziran 2024; 90 sayfa

Küresel ısınmanın giderek daha belirgin hale geldiği günümüzde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına duyulan ihtiyaç göz ardı edilemez. Fosil yakıtların tüketimi sadece küresel ısınmanın etkilerini şiddetlendirmekle kalmamakta, aynı zamanda hava kalitesini olumsuz etkilemekte ve insan sağlığını ciddi risk altına sokmaktadır. Bu araştırmanın amacı, Türkiye'nin Batı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Antalya, Burdur ve Isparta illerinde güneş enerjisi santralleri (GES) için en uygun yerleri belirlemektir. Çalışmada, mekansal bilgilerin çıkarılması için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) kullanılmıştır. GES yer seçiminin değerlendirilmesinde iklim, ekonomi, topografya ve çevresel faktörler de dahil olmak üzere 11 kriter dikkate alınmıştır. Karar verme sürecinde kriterleri değerlendirirken daha objektif sonuçlar elde etmek amacıyla, santralin verimliliğini büyük ölçüde etkileyen güneş ışıınımı, sıcaklık, bulut sıklığı oranı ve su buharı yoğunluğu gibi iklim faktörlerinin önem ilişkileri makine öğrenimi teknikleri kullanılarak kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Kriter ağırlıkları, uzman görüşleri, literatür gözlemleri ve makine öğrenimi sonuçları dikkate alınarak BAHP yöntemi ile hesaplanmıştır. Sonuçlar, bölgenin yaklaşık %20'sinin GES için uygun alanlardan oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada, bölgede kurulu olan GES'lerin konumu çevresel etkiler açısından da değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, mevcut santrallerin 72'sinin fay hatlarına, maden sahalarına, su kaynaklarına, yerleşim alanlarına ve yol güzergahlarına olan mesafeleri açısından uygun olmadığı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, CBS, Güneş enerjisi santrali, Makine Öğrenmesi, Yer Seçimi

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi. Dr. Abdülkadir KOÇER

Doç. Dr. Serdar SELİM

Doç. Dr. Adem YILMAZ

ABSTRACT

SITE SELECTION FOR SOLAR POWER PLANTS WITH FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS AND MACHINE LEARNING METHODS: THE CASE OF THE WEST MEDITERRANEAN

İsmail YILMAZ

MSc Thesis in Remote Sensing and Geographic Information Systems

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Abdülkadir KOÇER

II. Supervisor: Lect. Dr. Ercüment AKSOY

June 2024; 90 pages

As global warming becomes increasingly evident, the need to use renewable energy sources cannot be overstated. The consumption of fossil fuels not only exacerbates the effects of global warming but also negatively affects air quality and puts human health at serious risk. This research aims to determine the most suitable locations for solar power plants (SPPs) in the Turkish provinces of Antalya, Burdur, and Isparta, which are situated in the Western Mediterranean Region. The study employs the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method, in conjunction with Geographic Information System (GIS) for the extraction of spatial information. In evaluating SPP site selection, 11 criteria were considered, including climate, economy, topography, and environmental factors. To obtain more objective results when evaluating the criteria in the decision-making process, the importance of relationships among climatic factors such as solar irradiance, temperature, cloud frequency, and water vapor density, which greatly affect the efficiency of the power plant, has been comprehensively analyzed using machine learning techniques. The criteria weights were calculated by the FAHP method, considering expert opinions, literature observations, and machine learning results. The findings indicate that approximately 20% of the region comprises suitable areas for SPP. In this study, the location of the SPPs installed in the region was also evaluated in terms of environmental impacts. The results of the analyses indicated that 72 of the existing power plants are not suitable in terms of their distances to fault lines, mining sites, water resources, residential areas, and road routes.

KEYWORDS: Fuzzy Analytic Hierarchy Process, GIS, Machine Learning, Site Selection, Solar Power Plant

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Abdülkadir KOÇER

Assoc. Prof. Dr. Serdar SELİM

Assoc. Prof. Dr. Adem YILMAZ

ÖNSÖZ

Bu çalışma, özellikle güneş enerjisi santralleri başta olmak üzere küresel ısınmanın etkileriyle mücadelede önemli bir rol oynayan yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanmaktadır. Artan çevresel kaygılar ve fosil yakıtlara bağımlılığın yol açtığı sorunlar, enerji üretiminde daha sürdürülebilir ve çevre dostu alternatif arayışını hızlandırmaktadır. Bu amaçla, Batı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Antalya, Burdur ve Isparta illerinde GES'ler için en uygun alanların belirlenmesi üzerine yapılan bu araştırma hem akademik hem de pratik açıdan önemli bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu tezde kullanılan yöntemlerin ve elde edilen bulguların, Türkiye'de güneş enerjisi alanında yapılan araştırmalara yeni bir bakış açısı getireceği öngörülmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), makine öğrenimi ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) gibi analitik araçların kullanımıyla elde edilen verilerin değerlendirilmesi, karar verme süreçlerinde daha objektif ve doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır.

Ayrıca, bu çalışmada güneş enerjisi potansiyelinin yanı sıra çevresel etkilerin de göz önünde bulundurulması, sürdürülebilir enerji projelerinin planlanması ve uygulanması açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Bu tez sürecinde, beni yönlendiren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir KOÇER'e sabırlı rehberliği, sağladığı geri bildirimler ve destekleyici tutumu için teşekkür ederim. Tezin olgunlaşmasında önemli rol oynayan danışmanım Öğr. Gör. Dr. Ercüment AKSOY'a, akademik yöndeki katkılarının yanı sıra hayat yolculuğumda sürekli destek olduğu için müteşekkirim. Ayrıca tez sürecinde manevi katkılarından dolayı değerli hocam, Dr. Öğr. Üyesi Cevdet Bertan GÜLLÜDAĞ'a teşekkür ederim.

Son olarak, bu süreçte beni destekleyen, sabırla her zaman yanımda olan ve teşvik eden aileme içtenlikle teşekkür etmek isterim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Dünya ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları	8
2.2. Güneş Enerjisi Teknolojileri	14
2.3. Batı Akdeniz Bölgesi’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri	20
3.2. Akış Diyagramı	24
3.3. Kısıtlayıcı Faktörlerin Belirlenmesi	25
3.3.1. Ana yollara uzaklık	25
3.3.2. Su yüzeylerinden uzaklık	25
3.3.3. Faylardan uzaklık.....	26
3.3.4. Maden sahalarına uzaklık	26
3.3.5. Yerleşim alanlarına uzaklık	26
3.3.6. Korunan alanlara uzaklık	26
3.3.7. Havacılık ve askeri alanlara uzaklık	26
3.3.8. Güneş ışıınımı	26
3.4. Güneş Enerjisi Santrali için Kriterlerin Belirlenmesi	27
3.4.1. İklim faktörü	29
3.4.1.1. Güneş ışıınımı	29
3.4.1.2. Yıllık ortalama sıcaklık	29
3.4.1.3. Yıllık ortalama bulut sıklığı oranı	29
3.4.1.4. Yıllık ortalama su buharı yoğunluğu.....	29
3.4.2. Ekonomi faktörü	29
3.4.2.1. Enerji iletim hatları ve trafo merkezlerine uzaklık	29

3.4.2.2. Ana yollara uzaklık	30
3.4.2.3. Yerleşim alanlarına uzaklık.....	30
3.4.3. Topoğrafya faktörü	30
3.4.3.1. Eğim	30
3.4.3.2. Bakı	30
3.4.3.3. Yükseklik	30
3.4.4. Çevre faktörü	31
3.4.4.1. Arazi kullanımı.....	31
3.5. İklim Faktörünün Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Değerlendirilmesi.....	31
3.5.1. Rastgele orman algoritması (Random forest)	31
3.5.2. Ekstra ağaçlar algoritması (Extra trees)	32
3.5.3. Karar ağacı algoritması (Decision tree)	32
3.5.4. Model değerlendirme	32
3.6. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi.....	34
3.6.1. Kriterlerin ağırlıklandırılması	34
3.7. Coğrafi Bilgi Sistemleri Veri Tabanının Oluşturulması	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
4.1. Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçimi için Belirlenen Kriterlerin Mekansal Analizi.....	38
4.1.1. Güneş ışınlamı	38
4.1.2. Yıllık ortalama sıcaklık.....	40
4.1.3. Yıllık ortalama bulut sıklığı oranı.....	42
4.1.4. Yıllık ortalama su buharı yoğunluğu	44
4.1.5. Ana Yollara Uzaklık	46
4.1.6. Enerji iletim hatlarına uzaklık.....	48
4.1.7. Yerleşim alanlarına uzaklık	50
4.1.8. Yükseklik	52
4.1.9. Eğim.....	54
4.1.10. Bakı.....	56
4.1.11. Arazi kullanımı	58
4.1.12. Güneş enerjisi santrali için uygun olmayan alanların belirlenmesi	60
4.2. İklim Faktörünün Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Değerlendirilmesi.....	61
4.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması	64

4.4. Batı Akdeniz Bölgesi GES için Duyarlılık Haritası	66
4.4.1. Antalya ili duyarlılık haritası	68
4.4.2. Burdur ili duyarlılık haritası	69
4.4.3. Isparta ili duyarlılık haritası	71
4.5. Mevcut Kurulu Santrallerin Mekansal Değerlendirilmesi	73
4.5.1. Antalya ili mevcut santrallerin değerlendirilmesi.....	75
4.5.2. Burdur ili mevcut santrallerin değerlendirilmesi	76
4.5.3. Isparta ili mevcut santrallerin değerlendirilmesi	77
4.6. Tartışma.....	78
5. SONUÇLAR.....	82
6. KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Güneş Enerjisi Santralleri için Yer Seçimi: Batı Akdeniz Örneği” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

25/06/2024

İsmail YILMAZ

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
°C	: Derece celsius
mol/m ²	: Metrekare başına mol
GW	: Gigawatt
Kg	: Kilogram
km ²	: Kilometrekare
kWh/kWp	: Kilowatt-saat/kilowatt-peak
kWh/m ²	: Metrekare başına kilowatt-saat
kWh/m ² .gün	: Metrekare başına günlük kilowatt-saat
kWh/m ² /yıl	: Metrekare başına yıllık kilowatt-saat
λm	: Özdeğer
m	: Metre
Mtep	: Milyon ton eşdeğer petrol
MWh/m ² /yıl	: Metrekare başına yıllık megawatt-saat
NO	: Azot monoksit
NO ₂	: Azot dioksit
NO _x	: Azot oksitler
PWh	: Petawatt-saat
SO ₂	: Kükürt dioksit
SO ₃	: Kükürt trioksit
TWh	: Terawatt-saat
Wm ⁻²	: Metrekare başına watt

“01,01” Ondalık Ayırıcı

Kısaltmalar

AHP	: Analitik Hiyerarşı Prosesi
BAHP	: Bulanık Analitik Hiyerarşı Prosesi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CSP	: Potansiyel Konsantre Güneş Enerjisi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PV	: Fotovoltaik
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 2013-2022 yılları arasında küresel yenilenebilir enerji üretim kapasitesi	9
Şekil 2.2. 2013-2022 yılları arası Türkiye’de yenilenebilir enerji kapasitesi.....	10
Şekil 2.3. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının zaman içindeki kapasite değişimi.....	11
Şekil 2.4. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının zaman içindeki kapasite değişimi...12	
Şekil 2.5. Fotovoltaik güneş enerjisi panelleri (IEA 2024).....	14
Şekil 2.6. Fas'ın Ouarzazate kentinde kurulan CSP projesi (Solarpaces 2021).....	15
Şekil 2.7. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA 2019).....	16
Şekil 2.8. Fotovoltaik güç potansiyel haritası.....	17
Şekil 2.9. Batı Akdeniz Bölgesi güneşlenme süreleri.....	18
Şekil 2.10. Batı Akdeniz Bölgesi güneş ışıınımı değerleri.....	19
Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu	20
Şekil 3.2. Batı Akdeniz Bölgesi’nin aylık ortalama sıcaklık değerleri.....	21
Şekil 3.3. Batı Akdeniz Bölgesi’nin aylık ortalama yağışlı gün sayısı.....	22
Şekil 3.4. Batı Akdeniz Bölgesi’nin aylık yağış miktarı.....	23
Şekil 3.5. Akış diyagramı.....	24
Şekil 3.6. Makine öğrenmesi aşamaları	31
Şekil 4.1. Batı Akdeniz Bölgesi güneş ışıınımı haritası.....	38
Şekil 4.2. Batı Akdeniz Bölgesi güneş ışıınımı açısından GES uygunluk haritası.....	39
Şekil 4.3. Batı Akdeniz Bölgesi yıllık ortalama sıcaklık haritası.....	40
Şekil 4.4. Batı Akdeniz Bölgesi sıcaklık açısından GES uygunluk haritası.....	41
Şekil 4.5. Batı Akdeniz Bölgesi yıllık ortalama bulut sıklığı oranı haritası.....	42
Şekil 4.6. Batı Akdeniz Bölgesi bulut sıklığı açısından GES uygunluk haritası.....	43
Şekil 4.7. Batı Akdeniz Bölgesi yıllık ortalama su buharı yoğunluğu.....	44
Şekil 4.8. Batı Akdeniz Bölgesi su buharı yoğunluğu açısından GES uygunluk haritası.....	45
Şekil 4.9. Batı Akdeniz Bölgesi’nin ana yollara uzaklık haritası.....	46
Şekil 4.10. Batı Akdeniz Bölgesi ana yollara uzaklık açısından GES uygunluk haritası.....	47
Şekil 4.11. Batı Akdeniz Bölgesi’nin enerji iletim hatlarına uzaklık haritası.....	48
Şekil 4.12. Batı Akdeniz Bölgesi enerji iletim hatlarına uzaklık açısından GES uygunluk haritası.....	49
Şekil 4.13. Batı Akdeniz Bölgesi’nin yerleşim alanlarına uzaklık haritası.....	50
Şekil 4.14. Batı Akdeniz Bölgesi yerleşim alanlarına uzaklık açısından GES uygunluk haritası.....	51
Şekil 4.15. Batı Akdeniz Bölgesi’nin yükseklik haritası.....	52
Şekil 4.16. Batı Akdeniz Bölgesi yükseklik açısından GES uygunluk haritası.....	53
Şekil 4.17. Batı Akdeniz Bölgesi’nin eğim haritası.....	54
Şekil 4.18. Batı Akdeniz Bölgesi eğim açısından GES uygunluk haritası.....	55
Şekil 4.19. Batı Akdeniz Bölgesi’nin bakı haritası.....	56
Şekil 4.20. Batı Akdeniz Bölgesi’nin bakı açısından GES uygunluk haritası.....	57
Şekil 4.21. Batı Akdeniz Bölgesi’nin arazi kullanımı haritası.....	58
Şekil 4.22. Batı Akdeniz Bölgesi’nin arazi kullanımı açısından uygunluk haritası.....	59

Şekil 4.23. Batı Akdeniz Bölgesi GES için uygun olmayan alanlar.....	60
Şekil 4.24. Güneş ışıınımı tahmini için oluşturulan ilk (a) ve ikinci (b) modelin hata dağılımları.....	62
Şekil 4.25. Güneş ışıınımı tahmini için oluşturulan ilk (a) ve ikinci (b) modelin önem ağırlık dağılımı.....	63
Şekil 4.26. Batı Akdeniz Bölgesi GES duyarlılık haritası.....	66
Şekil 4.27. Antalya ili GES duyarlılık haritası.....	68
Şekil 4.28. Burdur ili GES duyarlılık haritası.....	69
Şekil 4.29. Isparta ili GES duyarlılık haritası.....	71
Şekil 4.30. Batı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan GES sahalarının konumları.....	73
Şekil 4.31. Duyarlılık haritasına göre GES konum haritası.....	74
Şekil 4.32. Antalya ili GES için uygun alanlar.....	75
Şekil 4.33. Burdur ili GES için uygun alanlar.....	76
Şekil 4.34. Isparta ili GES için uygun alanlar.....	77
Şekil 4.35. Anahtar kelimelere göre gerçekleştirilen bibliyometrik analiz sonuçları.....	78
Şekil 4.36. Fotovoltaik güç potansiyeli, güneş ışıınımı ve duyarlılık haritasının karşılaştırmalı analizi.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan kısıtlama faktörleri	25
Çizelge 3.2. GES için değerlendirme kriterleri	27
Çizelge 3.3. BAHP ikili karşılaştırma ölçeği (Kaganski vd. 2018)	35
Çizelge 3.4. Kısıtlama faktörleri için veri kaynağı ve tipi	36
Çizelge 3.5. Güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için kullanılan veri setleri.....	37
Çizelge 4.1. Veri setinin istatistiksel bilgileri.....	61
Çizelge 4.2. Model performansı değerlendirme sonuçları	62
Çizelge 4.3. FAHP ikili karşılaştırma matrisi (A: güneş ışıınımı; B: yıllık ortalama sıcaklık; C: enerji iletim hatlarına uzaklık; D: yıllık ortalama bulut sıklığı oranı; E: yıllık ortalama su buharı yoğunluğu; F: yerleşim alanlarına uzaklık; G: arazi kullanımı; H: eğim; I: bakı; J ana yollara uzaklık, K: yükseklik)	64
Çizelge 4.4. Buckley yöntemine göre belirlenen kriter ağırlıkları.....	65
Çizelge 4.5. Duyarlılık sınıflarının yüzde ve alan cinsinden dağılımı	67
Çizelge 4.6. Antalya ili duyarlılık sınıfların yüzde ve alan cinsinden dağılımı	68
Çizelge 4.7. Burdur ili duyarlılık sınıfların yüzde ve alan cinsinden dağılımı	70
Çizelge 4.8. Isparta ili duyarlılık sınıfların yüzde ve alan cinsinden dağılımı.....	72
Çizelge 4.9. Mevcut kurulu GES noktaların il bazında sayısal dağılımı	73
Çizelge 4.10. Mevcut kurulu GES alanlarının duyarlılık alanlarına göre sınıflandırılması.....	74
Çizelge 4.11. Antalya ili mevcut kurulu GES alanlarının duyarlılık alanlarına göre sınıflandırılması.....	75
Çizelge 4.12. Burdur ili mevcut kurulu GES alanlarının duyarlılık alanlarına göre sınıflandırılması.....	76
Çizelge 4.13. Isparta ili mevcut kurulu GES alanlarının duyarlılık alanlarına göre sınıflandırılması.....	77
Çizelge 4.14. Duyarlılık sınıflarına göre fotovoltaik güç potansiyeli, güneş ışıınımı ve duyarlılık haritası değerlerinin ortalamaları.....	80

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji, yaşam biçimlerimizi, ekonomik faaliyetlerimizi ve toplumsal yapılarımızı şekillendiren en temel faktörlerden biridir. Enerji; ısı, elektrik, ışık ve hareket gibi biçimleriyle modern toplumların sürdürebilirliği ve ilerlemesi için kritik öneme sahiptir. Bu sebeple enerjinin, ekonomi ve sosyal kalkınmadaki önemli rolü nedeniyle son yıllarda enerji tüketiminde hızlı bir artış yaşanmaktadır (Cai ve Bréon 2021). Enerji kaynakları genellikle, fosil ve yenilenebilir olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır. Petrol, kömür ve doğalgaz gibi kaynaklar fosil enerji kaynağı olarak tanımlanırken güneş, biyokütle, rüzgar, jeotermal ve dalga enerjisi gibi kaynaklar yenilenebilir enerji türleri arasında yer almaktadır (Şengül vd. 2015).

Fosil kaynaklar, küresel enerjinin %80'inden fazlasını oluşturmakta ve aynı zamanda elektrik üretiminin temel kaynakları arasında öncü konumda bulunmaktadır (IEA 2023b). Fosil yakıtların kullanımı, ekosistem üzerinde olumsuz etkiler yaratmanın yanı sıra dış ticaret açığını artırarak ekonomi üzerinde de negatif etkiler oluşturmaktadır. 1973'teki petrol krizi, enerji ve üretim maliyetlerindeki artışlarla birlikte birçok ülkenin ekonomisini olumsuz etkileyerek, bu konunun en çarpıcı örneklerinden birini oluşturmuştur (Ulutaş ve Karaca 2021). Fosil yakıtlar, atmosferde bulundukları koşullarda insanları ve çevreyi olumsuz etkileyebilir. Bu yakıtların içeriğinde, ana bileşenlerin yanı sıra metal, kükürt ve azot bileşikler de bulunmaktadır. Yanma süreci sırasında uçucu kül, kükürt oksitleri (SO_2 ve SO_3), azot oksitleri ($NO_x = NO_2 + NO$) ve uçucu organik bileşenler gibi kirletici maddeler ortaya çıkar, bu da hem çevremizi hem de sağlığımızı olumsuz etkilemektedir (Chmielewski 1999). Ayrıca, fosil yakıtlara dayalı enerji tüketiminin küresel ısınmaya %49 katkıda bulunduğu belirlenmiştir (Berry A.R. 2005; Erdin ve Ozkaya 2019). Bu nedenle, enerji üretiminde fosil yakıtların neden olduğu çevre kirliliği ve sınırlı rezervlere sahip olması gibi olumsuzlukları göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş kaçınılmaz hale gelmektedir (Jamshidi vd. 2021).

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtların aksine temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır (Panwar vd. 2011). Bu kaynaklardan birisi olan güneş enerjisi, dünyanın en yalın enerji kaynağıdır (Chu ve Meisen 2011). Türkiye'de, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verileri incelendiğinde, Akdeniz Bölgesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu'nun güney kısımları, en yüksek güneşlenme potansiyeline sahip bölgeler olduğu gözlemlenmektedir (GEPA 2019).

Güneş enerjisi neredeyse her bölgede mevcut olmasına rağmen (Asakereh vd. 2017), büyük ölçekli güneş enerjisi santrali (GES) geliştirme planları yapılırken, bilimsel temellere dayalı yer seçimi önemlidir (Mensour vd. 2019; Hooshangi vd. 2023). Uygun bir alan, GES'lerin verimliliğini etkileyen planlamanın temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Shorabeh vd. 2019). Genel olarak, en yüksek güneş ışınımına ve sıcaklığa sahip bölgeler, tutarsız değişkenlikleri, enerji hatlarının eksikliği gibi nedenlerle GES için en iyi seçenek olmayabilir (Uyan 2013; Seyedmohammadi vd. 2018; Hooshangi vd. 2023).

Güneşten gelen enerjiyi verimli bir şekilde kullanmak ve inşaat maliyetini en aza indirmek için birçok kriterin incelenmesi gerekmektedir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, karmaşık enerji seçimi problemlerinde giderek daha popüler hale gelmektedir (Lee ve Chang 2018). Bu yöntemler, genellikle birden fazla ve bazen birbiriyle çelişen hedefleri içeren durumlarda en iyi çözümü bulmak için kullanılmaktadır (Pohekar ve Ramachandran 2004). Kriterlerin mekansal dağılımının incelenmesi gerektiğinde, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve ÇKKV yöntemleri birleşmektedir (Shriki vd. 2023).

Bu çalışma, Batı Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Antalya, Burdur ve Isparta illerinde GES için uygun alanların belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, ÇKKV yöntemlerinden Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve mekansal bilgi çıkarımı için CBS kullanılmıştır. BAHP yöntemi, karar vericinin değerlendirme aşamasında daha esnek davranmasını sağlaması açısından tercih edilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, GES projelerinin kurulmasının mümkün olmadığı alanların tespiti için yasal düzenlemeler ve literatür araştırmaları temel alınarak kısıtlama faktörleri belirlenmiştir. Ardından, GES yer seçimi sürecinde kullanılacak kriterler literatür araştırmaları sonucunda tespit edilmiş ve toplamda 11 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler iklim, ekonomi, topoğrafya ve çevre faktörleri olarak sınıflandırılmıştır. İklim faktörü güneş ışınımı, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık ortalama bulut sıklığı oranı, yıllık ortalama su buharı yoğunluğu ve sıcaklık kriterlerini içermektedir. Ekonomi faktörü, enerji iletim hatlarına uzaklık, ana yollara uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık kriterlerini içermektedir. Topoğrafya faktörü eğim, bakı, yükseklik kriterlerini içermektedir. Çevre faktörü ise arazi kullanımı kriterini içermektedir.

Literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda, faktörler arasında GES verimliliğini en çok etkileyen faktörün iklim olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, iklim faktörünün değerlendirilmesi aşamasında daha objektif sonuçlar elde etmek amacıyla makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Ardından, literatür gözlemleri, makine öğrenimi sonuçları ve BAHP yöntemi kullanılarak, enerji mühendisi, çevre mühendisi, jeoloji mühendisi ve şehir planlamacıdan oluşan 7 uzmanın görüşleri doğrultusunda 11 kriter değerlendirilmiş ve her bir kriter için ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Sonraki aşamada, her bir kriter için CBS ortamında farklı açık kaynak veri platformları ve uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak mekansal bir veri tabanı oluşturulmuştur. Son aşamada, elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak CBS ortamında GES duyarlılık haritası oluşturulmuş ve GES için uygun alanlar belirlenmiştir. Ayrıca, elde edilen duyarlılık haritasına göre bölgede kurulu mevcut santrallerin konumları da bu çalışmada incelenmiştir.

Bu çalışma, Batı Akdeniz Bölgesi'nde bulunan illerin güneş enerjisi potansiyelini verimli bir şekilde kullanmalarına rehberlik etmek amacıyla gerçekleştirilmiş ve önceki çalışmalara önemli bir katkı sağlaması amaçlanmıştır. Araştırmanın, politika yapıcılara, karar verenlere, paydaşlara, bölgesel ve yerel yönetimlere rehberlik sağlayabileceği öngörülmektedir.

2. KAYNAK TARAMASI

Günümüzde enerji talebinin artışı ve iklim değişikliği sorunu, güneş enerjisi gibi temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi artırmıştır. GES, yüksek enerji verimliliği ve düşük çevresel etkileri nedeniyle önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Ancak, bu santrallerin etkinliğini ve uzun ömürlülüğü sağlamak için uygun bir lokasyon seçimi kritik bir öneme sahiptir. GES yer seçimi, çok çeşitli kriterleri içermekte olup bu kriterlerin dikkatlice incelenmesi, santralin verimi ve sürdürülebilirliği açısından belirleyici olarak ortaya çıkmaktadır. İklimsel koşullar, bölgenin güneş ışıınım potansiyeli, arazi yapısı, yerel altyapı imkanları ve potansiyel arazi kullanım nitelikleri gibi faktörler, yer seçim sürecinde dikkate alınması gereken unsurlar arasında yer almaktadır. Bu bölümde, GES yer seçimi sürecine yönelik literatürdeki çalışmalar değerlendirilmiştir.

Vafaeipour ve diğerleri (2014), İran genelinde 25 şehirde güneş enerjisi projelerinin uygulanması için Adım Bazlı Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (SWARA) ve Ağırlık Toplam Ürün Değerlendirme (WASPAS) yöntemlerini birleştiren bir hibrit ÇKKV yaklaşımı sunmaktadır. Çalışma üç temel bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, etkili olan kriterlerin belirlenmesi, ikinci bölüm, SWARA yöntemi kullanılarak uzman görüşlerinden elde edilen kriter ağırlıklarının belirlenmesi, son bölümde ise, WASPAS yöntemi ile şehirlerin değerlendirilmesini içermektedir. Çalışmada kullanılan kriterler, ekonomik, çevresel, sosyal ve risk olmak üzere dört ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Ekonomi faktörü altında, yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, ödeme periyodu gibi faktörler bulunmaktadır. Çevresel faktörlerde güneş radyasyonu, arazi kullanılabilirliği, iletişim şebekesi erişilebilirliği gibi unsurlar yer almaktadır. Sosyal faktörler arasında toplumsal kabul edilebilirlik, elektrik talebi, çevre bölgesinin gelişimine etkisi bulunmaktadır. Risk faktöründe ise politik risk, ekonomik risk, zaman gecikmesi riski ve çevresel risk yer almaktadır. Ağırlık değerlerine göre yapılan sıralamada, ekonomik ve çevresel faktörler en önemli etken olarak değerlendirilmiş ve sırasıyla risk ve sosyal faktörler bunları takip etmiştir. Sıralanan şehirler CBS ortamında puan derecesine göre görselleştirilmiş ve Yezd şehri ilk sırada yer almıştır.

Watson ve Hudson (2015), İngiltere'nin güney kıyısındaki yaklaşık 17.094 km²'lik bir alan üzerinde rüzgar ve güneş enerjisi tarlaları için uygun yerleri belirlemek amacıyla Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemini kullanmıştır. Çalışmada rüzgar ve güneş enerjisi için iki ayrı değerlendirme yapılmıştır. Kriterlerin belirlenmesi için CBS ve ÇKKV ile ilgili literatür taraması gerçekleştirilmiş ve kriterler teknik, görsel, ekolojik ve ekonomik olmak üzere dört kategori altında sınıflandırılmıştır. Teknik faktörler arasında rüzgar hızı ve güneş radyasyonu; görsel faktörler arasında tarihi öneme sahip alanlara uzaklık ve yerleşim alanlarına uzaklık kriterleri; ekolojik faktörler arasında, yaban hayatı alanlarından uzaklık kriteri; ekonomik faktörler ise ulaşım bağlantılarına uzaklık ve şebeke bağlantılarına uzaklık faktörlerini içermektedir. Güneş ve rüzgar enerjisi tarlaları için yer seçimi aşamasında kriterlerin ağırlıklandırılması için uzman görüşlerine başvurulmuştur. Rüzgar enerjisi tarlası için en önemli kriter rüzgar hızı, yerleşim alanlarına ve yaban hayatı alanlarına uzaklık olmuştur. Güneş enerjisi tarlası için en önemli kriter güneş radyasyonu, ulaşım bağlantılarına uzaklık ve yaban hayatı alanlarına uzaklık olmuştur. Sonuç olarak, rüzgar enerjisi için en uygun alanlar 0,5 km², güneş enerjisi için ise uygunluk 294 km² tespit edilmiştir.

Al Garni ve Awasthi (2017) yapmış olduğu çalışmada, CBS ve ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP tekniğini kullanarak şebekeye bağlı fotovoltaik (PV) projeleri için en uygun sahaları belirlemiştir. Çalışma alanı Arap Yarımadası'nın büyük bir bölümünü kapsayan Suudi Arabistan'da yer almaktadır. Bölge 2 MWh/m²/yıl güneş ışıınımı değeri ile dünyada ilk sıralarda yer almaktadır. Güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla güneş ışıınımı, yıllık ortalama sıcaklık, eğim, bakı, yerleşim yerlerine yakınlık, ana yollara yakınlık ve enerji hatlarına yakınlık olmak üzere yer seçimi için 7 ana kriter belirlenmiştir. Güneş ışıınımı ve yıllık ortalama sıcaklık en önemli kriter olarak değerlendirilmiş ve bunu daha sonra önem sıralamasına göre; eğim, bakı, enerji hatlarına yakınlık, ana yollara yakınlık, yerleşim yerlerine yakınlık takip etmiştir. Sonuç haritasına göre, çalışma alanının %16'sının (300.000 km²) PV enerji santrali için uygun olduğu ve Suudi Arabistan'ın kuzey ve kuzeybatısının en uygun alanlar olduğu tespit edilmiştir.

Alami Merrouni ve diğerleri (2018), Fas'ın doğu bölgesinde yaptıkları çalışmada, PV tarlaları için en uygun yerleri belirlemek amacıyla AHP tekniği ve CBS araçlarını bir arada kullanmıştır. Araştırmacılar, güneş enerjisine etki eden dört ana faktörü (iklim, orografi, su kaynakları ve konum) belirlemiştir, bu faktörler sekiz alt kritere ayrılmıştır. Güneş ışıınımı hesaplamasında ise klasik yöntemlerin aksine, Solar-Med-Atlas projesi kapsamında 1991-2010 zaman aralığında ve 1x1 km mekansal çözünürlüğe sahip uydu verileri kullanılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada su kaynakları faktörünün PV verimi açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak, faktörler uzman görüşlerine dayanarak AHP tekniği ile değerlendirildiğinde, %59'luk oran ile iklim faktörünün en önemli faktör olduğunu ve bunu sırasıyla %23,5 ile orografi, %11,8 ile su kaynağı ve %5,7 ile konum faktörünün takip ettiği gözlemlenmiştir. Doğu Fas'ın toplam alanının %19'u son derece uygun, %20'si marjinal olarak uygun, %23'ü uygun ve %23'ü orta derecede uygun olduğu tespit edilmiştir.

Ali ve diğerleri (2019), Tayland'ın güneyinde bulunan Songkhla eyaletinde, şebeke ölçekli rüzgar ve GES için en uygun yerleri belirlemek amacıyla AHP tekniği ve CBS araçlarını kullanmıştır. Bu çalışmada, rüzgar ve güneş enerjisi için literatür taraması ve uzman görüşlerine dayanarak toplamda 12 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler, fizyografik, çevresel ve ekonomik olmak üzere 4 ana başlıkta kategorize edilmiştir. Kriterler, AHP tekniği kullanılarak uzman görüşlerine göre değerlendirilmiş ve ağırlık puanları atanmıştır. Güneş enerjisi için en önemli kriter güneş ışıınımı, rüzgar enerjisi için ise rüzgar hızı olarak belirlenmiştir. Ayrıca, diğer önemli bir kriter hem rüzgar hem de güneş enerjisi için santral alanı gereksinimi olmuştur. Sonuç olarak, Songkhla eyaletinin rüzgar ve güneş enerjisi tarlaları için oldukça uygun olan toplamda 66,113 km² ve 844,93 km²'lik alanlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Bu alanların büyük bir kısmı Ronot Bölgesi'nde yer almaktadır.

Doorga ve diğerleri (2019), Doğu Afrika'da yer alan ve 1.865 km² yüzölçümüne sahip olan Mauritius bölgesinde, güneş enerjisi tarlaları için en uygun alanları belirlemek amacıyla AHP ile CBS araçlarını kullanmıştır. Çalışmada güneş ışıınımı, güneşlenme süresi, sıcaklık, bağıl nem, yükseklik, eğim, bakı, iletim hatlarına yakınlık ve yol ağlarına yakınlık olmak üzere toplamda 9 adet kriter değerlendirilmiştir. Kriterlerin göreceli ağırlık değerlendirmesi, literatür gözlemlerine dayalı olarak AHP tekniği ile belirlenmiştir. Kriterler ağırlık değerine göre sıralandığında güneş ışıınımı en önemli kriter olurken, bunu sırasıyla güneşlenme süresi, eğim, iletim hatlarına yakınlık, yol ağlarına yakınlık, sıcaklık ve bağıl nem takip etmektedir. Çakıştırma analizi ile CBS yazılımında uygun alanlar tespit edilmiştir. Ayrıca, modeli değerlendirmek için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiş ve modelin sağlam olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, GES için en uygun alan Cottage bölgesinde tespit edilmiştir.

Geçen (2019), Hatay ilinin güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla CBS araçlarını ve ÇKKV yöntemlerini kullanmıştır. Güneş enerjisine etki eden 13 kriter belirlenmiş ve bu kriterler 1-10 arası puanlarla değerlendirilmiştir. En büyük ağırlık %13 ile bakı kriterine verilmiştir. Eğim, toprak grupları, trafo merkezlerine uzaklık, bitki örtüsü, yerleşim yerlerine uzaklık ve iletim hatlarına uzaklık kriterleri %10'luk ağırlıkla eşit derecede önemli bulunmuştur. Yollara uzaklık %8, taş ocaklarına, akarsulara, göllere ve fay hatlarına uzaklık %4, kuş göç güzergahlarına uzaklık ise %3 oranında önem derecesine sahiptir. Çakıştırma analizi uygulanarak sonuç haritası elde edilmiştir. Sonuç olarak, Hatay'ın kuzeyinde yer alan Erzin leçelikleri sahasının GES açısından en uygun alan olduğu tespit edilmiştir.

Uzar ve Koca (2020), İzmir'in Menemen bölgesinde GES açısından uygun alanları belirlemek için klasik ve bulanık mantık olmak üzere iki farklı yöntem kullanmıştır. Arazi kullanımı, eğim, göllere, nehirlere, enerji nakil hatlarına ve otoyollara uzaklık kriteri bu çalışmada değerlendirilen altı kriterdir. GES açısından uygunluğun değerlendirilmesinde belirlenen kriterler, uzman görüşleri doğrultusunda AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Uygun olmayan alanlar için yüzdeler benzerlik göstermekte, ancak uygunluk seviyelerinde bulanık mantık yönteminde daha gerçeğe yakın modeller elde edildiği gözlemlenmiştir. Klasik yöntemde çalışma alanının %22'si uygun çıkarken, bulanık yöntemde %15,61'i yüksek uygunluk göstermiştir.

Yalçın ve Yüce (2020), tarafından yapılan çalışmada, Burdur ilinde mevcut GES sahalarının konumsal uygunluğu CBS ve AHP kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 12 farklı bölgedeki GES sahaları incelenmiştir. Çalışmada, eğim, bakı, enerji hattına uzaklık ve yola olan uzaklık olmak üzere 4 kriter kullanılmıştır. AHP yöntemi, uzman görüşlerine dayalı olarak gerçekleştirilmiş ve kriterlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuçlara göre, %44,40 ile eğim en büyük ağırlığa sahipken, onu %35,50'lik ağırlıkla bakı, %14,40'lık ağırlıkla enerji hatlarına uzaklık ve %5,70'lik ağırlıkla yol takip etmektedir. Elde edilen bu değerlendirmeler doğrultusunda uygunluk haritası oluşturulmuş ve genel olarak santrallerin uygun alanlarda kurulduğu gözlemlenmiştir.

Kırcalı ve Selim (2021), Antalya ilinde güneş enerjisi tarlaları için en uygun sahaları belirlemek amacıyla CBS ve AHP kullanmıştır. Güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek için güneşlenme süresi, güneş radyasyonu, yerleşim alanlarına ve yollara olan mesafe, eğim, arazi kullanımı, bakı, yıllık ortalama sıcaklık, trafoları uzaklık ve rakım olmak üzere 10 kriter değerlendirilmiştir. Bu kriterler, AHP yöntemi ile uzman görüşüne dayalı olarak ağırlıklandırılmıştır. En önemli kriterler, güneş radyasyonu ve yollara olan mesafe olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, elde edilen harita, uygunluk endeksine göre çok uygun, uygun, az uygun ve uygun olmayan olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır. Çalışma alanının %24,2'si uygun bulunurken, %36,31'i daha az uygun olarak belirlenmiştir.

Türk ve diğerleri (2021), Erzurum il sınırları içinde güneş enerjisi için uygun alanları belirlemek amacıyla CBS ve bulanık mantığa dayalı ÇKKV yöntemini kullanmıştır. Güneş enerjisine etki eden kriterler; iletim hattı, rüzgar hızı, bakı, arazi kullanımı, arazi yüzey sıcaklığı, hava nemi, eğim, hava basıncı, güneş ışıınımı, hava sıcaklığı olarak belirlenmiştir. İlk olarak her bir faktör, kendi içinde 1-4 puan aralığında önem derecesine göre değerlendirilmiş ve kriterlerin ağırlık değerleri elde edilmiştir. Ardından katmanlar çakıştırılarak sonuç haritası elde edilmiştir. CBS araçları ve bulanık yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlara göre, 25.065 km²'lik bir alanın güneş enerjisi için uygun olduğu tespit edilmiştir

Alhammad ve diğerleri (2022), Suudi Arabistan'ın Al-Qassim bölgesinde GES için en uygun alanları belirlemek amacıyla CBS araçları ve AHP yöntemini kullanmış ve her bölge için potansiyel PV elektrik üretimini değerlendirmiştir. Çalışmada güneş ışıınımı, yerleşim yerlerine yakınlık, enerji hatlarına yakınlık, yollara yakınlık ve eğim olmak üzere beş kriter değerlendirilmiştir. Ağırlık değerlerine göre sıralandığında, en önemli kriterlerin güneş ışıınımı ve yerleşim yerlerine yakınlık olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, GES'lerin kurulması için en uygun ve uygun alanların bölgenin güney ve güneybatısında olduğunu ve çalışma alanının yaklaşık %17,53'ünü temsil ettiği tespit edilmiştir. Uygun olmayan alanlar toplam çalışma alanının yaklaşık %10,17'sini oluşturmakta ve çoğunlukla kuzeyde yoğunlaşmaktadır. Bölgenin geri kalanı sırasıyla %46,42 ve %25,88'ini oluşturan orta ve sınırlı alanlara ayrılmıştır.

Elboshy ve diğerleri (2022), Mısır'daki PV tarlaları için en uygun alanları belirlemek amacıyla AHP yöntemi ve CBS araçlarını kullanmıştır. Çalışmada konum, çevre, meteoroloji ve klimatoloji olmak üzere dört ana faktör ve on altı kriter yer almıştır. Uzman görüşü ve literatüre dayalı olarak kriterler, AHP yöntemi ile değerlendirilmiş ve güneş radyasyonu ile ortalama yıllık sıcaklık en etkili kriterler olarak seçilmiştir. Mısır'ın kuru bir atmosfere sahip olması nedeniyle, bu çalışmada bağıl nem etkisi değerlendirilmemiştir. Çalışma alanındaki tüm kriterler 250x250 m mekansal çözünürlükte raster veri yapısında değerlendirilmiştir. AHP ile göreceli ağırlık değerleri kullanılarak, GES uygunluk haritası CBS yazılımı ile oluşturulmuş ve mükemmel, iyi, orta, düşük ve zayıf olmak üzere beş sınıfa ayrılmıştır. Sonuç olarak, Mısır'daki PV tarlaları için en uygun alanların ülkenin güneybatı bölgesinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Imamverdiev (2022), Azerbaycan'ın Nakhchivan bölgesinde GES için en uygun alanları belirlemek amacıyla AHP yöntemini kullanmıştır. Çalışma, iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, güneş enerjisine etki eden faktörlerin analizini içermektedir. Bu faktörler arasında güneş ışıınımı, eğim, bakı, arazi kullanımı, yollara olan mesafe, enerji hatlarına olan mesafe ve yerleşim alanlarına olan mesafe bulunmaktadır. İkinci aşama ise CBS kullanılarak belirli kriterlere göre erişilebilirlik ve uygunluğun değerlendirilmesini içermektedir. AHP ile kriterler karşılaştırılmış ve her faktör için ağırlık değeri belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, en önemli kriterler güneş ışıınımı ve arazi kullanımı faktörleri olmuştur. Nahçıvan bölgesinin %9,5'i (510 km²) çok uygun, %12'si (645 km²) orta uygunlukta, %24'ü (1.290 km²) ise GES'lerin kurulumu için düşük uygunluk gösterirken, bölgenin geri kalan %54,5'i (2.930 km²) düşük ışıınım seviyeleri nedeniyle uygun değildir. Çalışma bölgesinin güney ve doğu kısımları, en uygun alanların bulunduğu bölgeler olarak belirlenmiştir.

Noorollahi ve diğerleri (2022), İran'ın Khuzestan eyaletinde GES için potansiyel alanları belirlemek için Fuzzy-Boolean logic ve AHP yöntemlerini kullanmıştır. İklimsel, ekonomik, orografik ve çevresel kriterler değerlendirilmiş, güneş radyasyonu ve eğim en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Sonuçlar %40,54'lük bir uygunluk oranı göstermiştir.

Arca ve diğerleri (2023) çalışmasında, Safranbolu ilçesinde GES kurulabilecek alanları CBS araçları ve BAHF yöntemleri ile belirlenmiştir. BAHF yöntemlerinden geometrik ortalama ve genişletilmiş analiz yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada güneş radyasyonu, trafo merkezlerine yakınlık, eğim, bakı, arazi kullanımı gibi 10 kriter değerlendirilmiştir. Genişletilmiş analiz yöntemine göre, alanın %69,50'si GES kurulumu için sınırlı, %19,64'ü düşük, %10,05'i orta ve %0,81'i yüksek uygunluktadır. Geometrik ortalama yöntemine göre ise alanın %69,50'si sınırlı, %3,24'ü düşük, %26,64'ü orta ve %0,62'si yüksek uygunluktadır.

Hooshangi ve diğerleri (2023), İran'da güneş enerjisi için en uygun alanları belirlemek amacıyla CBS tabanlı Fermatean Fuzzy (FF-TOPSIS) yöntemini kullanmıştır. Bu yöntem, veri belirsizliği ve uzman sayısının sınırlı olduğu durumlarda etkili olduğu belirtilmiş ve ilk kez GES yer seçimi çalışmalarında uygulanmıştır. Çalışmada ekonomik, coğrafi, iklimsel, altyapısal ve demografik kriterler değerlendirilmiştir. Güneş ışınlamı en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, diğer TOPSIS yöntemleri ile karşılaştırılmış ve FF-TOPSIS'in belirsizliğe karşı daha dirençli olduğu bulunmuştur. Ülkenin %13,81'inin GES için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Shriki ve diğerleri (2023), İsrail'i kapsayan bölgede şebeke bağlantılı PV kurulumu için en uygun alanları belirlemek amacıyla CBS araçlarını ve AHP yöntemini kullanmıştır. PV için en uygun alanların belirlenmesinde; tekno-ekonomik, elektriksel ve çevresel faktörler değerlendirilmiştir. Önceki çalışmalarda, elektrik şebekesi ara bağlantı fizibilite konuları genellikle dikkate alınmamış ve analizlere dahil edilmemiştir. Bunun yerine, enerji hatlarına yakınlık değerlendirilmiştir. Bu çalışmada bu husus dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, PV kurulumu için toplam 323 km² alan uygun tespit edilmiş; alanın %42,6'sı (137,6 km²) yüksek veya çok yüksek olarak değerlendirilmiştir.

Villacreses ve diğerleri (2023), Galápagos adalarında güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi santralleri için en uygun konumları belirlemek amacıyla ÇKKV metotlarını kullanmıştır. Bu çalışmada iki farklı çok kriterli karar analizi yöntemi uygulanmıştır: AHP ve Ordered Weighted Average (OWA). Yer seçimi için kullanılan kriterler arasında rüzgar hızı, küresel güneş radyasyonu, sayısal yükseklik modeli, trafo merkezleri, yol ağı ve şehir merkezlerine uzaklık yer almaktadır. Çalışma sonuçlarına göre, rüzgar enerjisi santralleri için en önemli kriterin rüzgar hızı olduğu, GES için ise güneşlenme süresi olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, Cristobal ve Santa Cruz adalarının, rüzgar ve güneş enerjisi için en uygun konumlar olduğu belirlenmiştir.

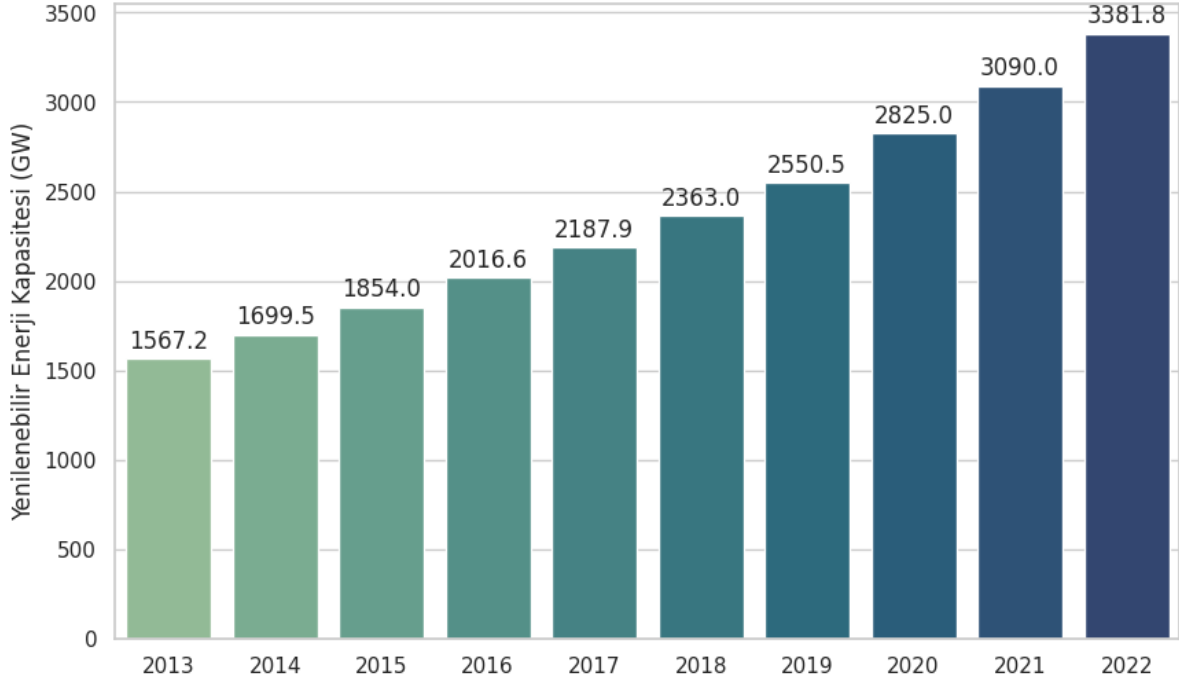
Yapılan literatür incelemesi, GES'lerin etkin ve sürdürülebilir bir biçimde yerleştirilmesinin enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik bakımından hayati öneme sahip olduğunu göstermiştir. Yer seçimi sürecinin içinde coğrafi, çevresel ve sosyal faktörlerin karmaşasının bulunduğu gözlemlenmiştir. Teknolojik yeniliklerin ve analitik yöntemlerin yer seçimi stratejilerine entegre edilmesi, daha optimize edilmiş kararların alınabileceği görülmektedir. GES'lerin sürdürülebilir bir şekilde konumlandırılması, temiz enerji taleplerini karşılamak ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için kritik bir rol oynamaktadır.

Bu araştırma, GES yer seçimi sürecine yeni bir perspektif kazandırmayı hedeflemektedir. GES yer seçiminde en önemli ağırlığa sahip olan iklim faktörünün değerlendirilmesi aşamasında, geleneksel yöntemlerin aksine makine öğrenimi teknikleri kullanılarak daha ayrıntılı ve objektif bir şekilde iklim değişkenleri incelenmiştir. Bu yöntem, bilimsel prensiplere dayalı olarak subjektif değerlendirmelerin belirsizlik yaratabileceği durumları minimize etmeyi amaçlamıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında kullanılan Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) yöntemi, karar vericilerin belirsiz görüşlerini üçgensel bulanık sayılar kullanarak net bir değere dönüştürmüş ve bu da literatürde yaygın olarak kullanılan AHP yöntemine alternatif bir yaklaşım sunmuştur. Bu çalışmanın temel motivasyonu, karar vericilere yer seçimi konusunda güvenilir ve bilimsel temellere dayalı bir analiz sunmaktır. Uygulanan metodolojik yenilikler ve analitik yaklaşımlar, çalışmanın literatürdeki benzer çalışmalardan farkını koymaktadır.

2.1. Dünya ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Dünya genelinde sürekli olarak artan nüfus ve buna bağlı olarak gelişen enerji talebini karşılamak adına yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir enerji kaynağı olmuştur. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın 2023 Elektrik Piyasası Raporu'na göre, 2023 ile 2025 arasında küresel elektrik talebinin yıllık %3 artması öngörülmektedir. Bu artışın %70'ten fazlasının Çin, Güneydoğu Asya ve Hindistan gibi bölgelerden kaynaklanması beklenmektedir. Ayrıca, 2025 yılına gelindiğinde Asya'nın dünya elektrik tüketiminin yarısını karşılayacağı ve bu tüketimin üçte birinin Çin tarafından gerçekleştirileceği vurgulanmaktadır (IEA 2023a). Bu enerji talebinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması, iklim değişikliği ile mücadele açısından büyük bir öneme sahiptir. Fosil yakıtların sınırlı rezervlere dayalı olmaları ve çevresel etkileri göz önüne alındığında, güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal gibi doğal süreçlerle sürekli olarak yenilenen yenilenebilir enerji kaynakları, hem ekonomik hem sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Panwar vd. 2011). Dünya sürdürülebilir üretim yöntemlerine, hava kirliliğini azaltmaya, atıkları minimize etmeye, ormanları korumaya ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik bir odak noktası haline gelirken, bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini daha da vurgulamaktadır (Sims 2003; Panwar vd. 2011).

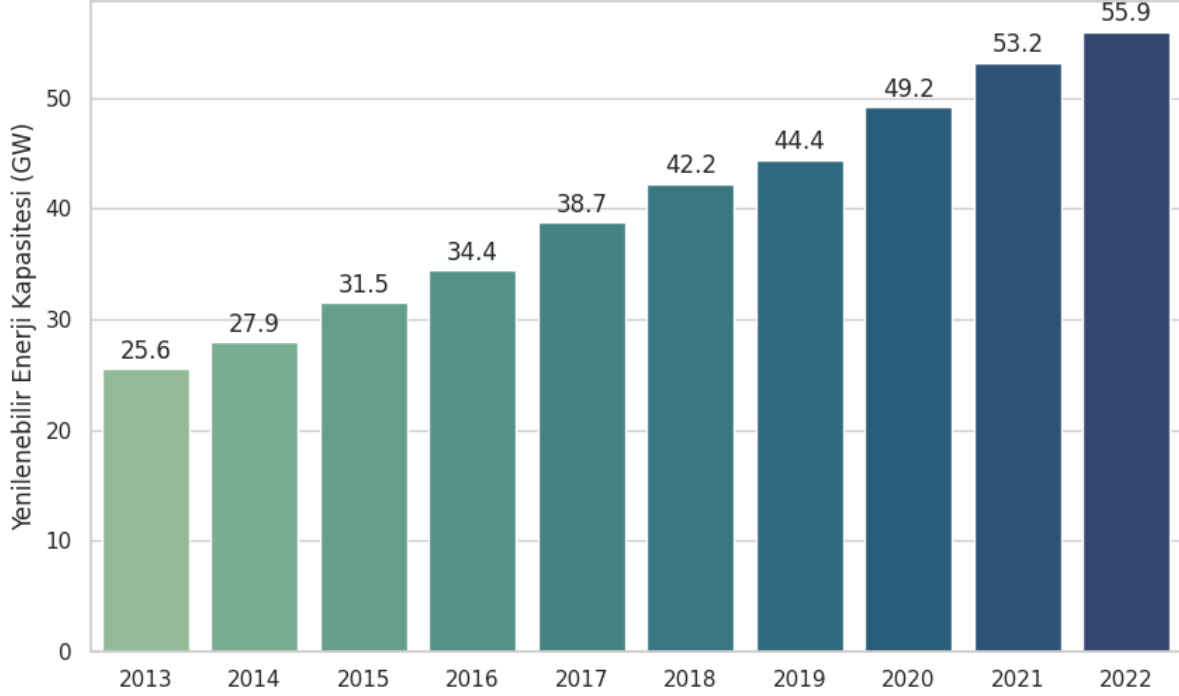
Şekil 2.1, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)'nın 2023 yılı yenilenebilir enerji istatistikleri verilerine göre hazırlanmış olup, 2013-2022 yılları arasında dünya genelinde yenilenebilir enerji kapasitesindeki değişimi sunmaktadır (IRENA, 2023).



Şekil 2.1. 2013-2022 yılları arasında küresel yenilenebilir enerji üretim kapasitesi

Grafiğe göre, 2013-2022 döneminde küresel yenilenebilir enerji kapasitelerinde önemli bir artış gözlenmektedir. 2013'te 1567 GW olan kapasite, 2022'de 3381 GW'a yükselmiştir. Özellikle 2018-2022 arasında hızlı bir büyüme yaşanmış ve bu dönemde kapasite neredeyse 1000 GW artmıştır. Bu artış, iklim değişikliği endişesi ve enerji krizleri gibi çeşitli sorunlar nedeniyle yenilenebilir enerjiye artan ilgi ve yatırımların bir sonucu olduğu düşünülmektedir (IRENA 2023).

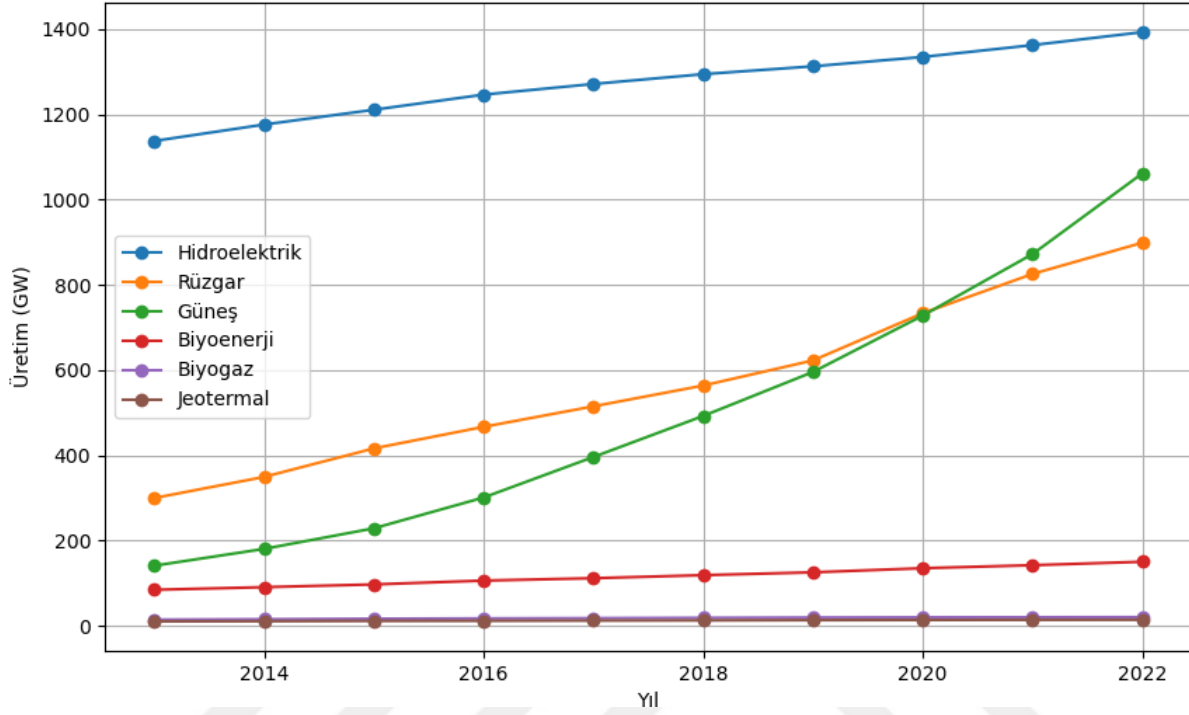
Şekil 2.2, IRENA'nın 2023 yılı yenilenebilir enerji istatistikleri verilerine göre hazırlanmış olup, 2013-2022 yılları arasında Türkiye'deki yenilenebilir enerji kapasitesindeki değişimi sunmaktadır (IRENA, 2023).



Şekil 2.2. 2013-2022 yılları arası Türkiye’de yenilenebilir enerji kapasitesi

Grafik incelendiğinde, Türkiye’de dünya ile benzer şekilde 2013-2022 arasında yenilenebilir enerji üretim kapasitesinde kayda değer bir artış görülmektedir. 2013 yılında 26 GW olan kapasite, 2022 yılına gelindiğinde 56 GW’a yükselmiştir. 2018-2022 arasında Türkiye’nin yenilenebilir enerji üretim kapasitesinde hızlı bir büyüme gözlenmiş, bu dönemde kapasite neredeyse iki katına çıkmıştır (Şekil 2.2). Türkiye’nin enerji bağımsızlığını artırma isteği ve çevre dostu sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmesi, bu büyümenin ana sebepleri arasında yer almaktadır (IRENA 2023).

Şekil 2.3, IRENA'nın 2023 yılı yenilenebilir enerji istatistikleri verilerine göre hazırlanmış olup, 2013-2022 yılları arasında dünya genelinde farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim kapasitesindeki yıllara göre değişimi sunmaktadır (IRENA, 2023).

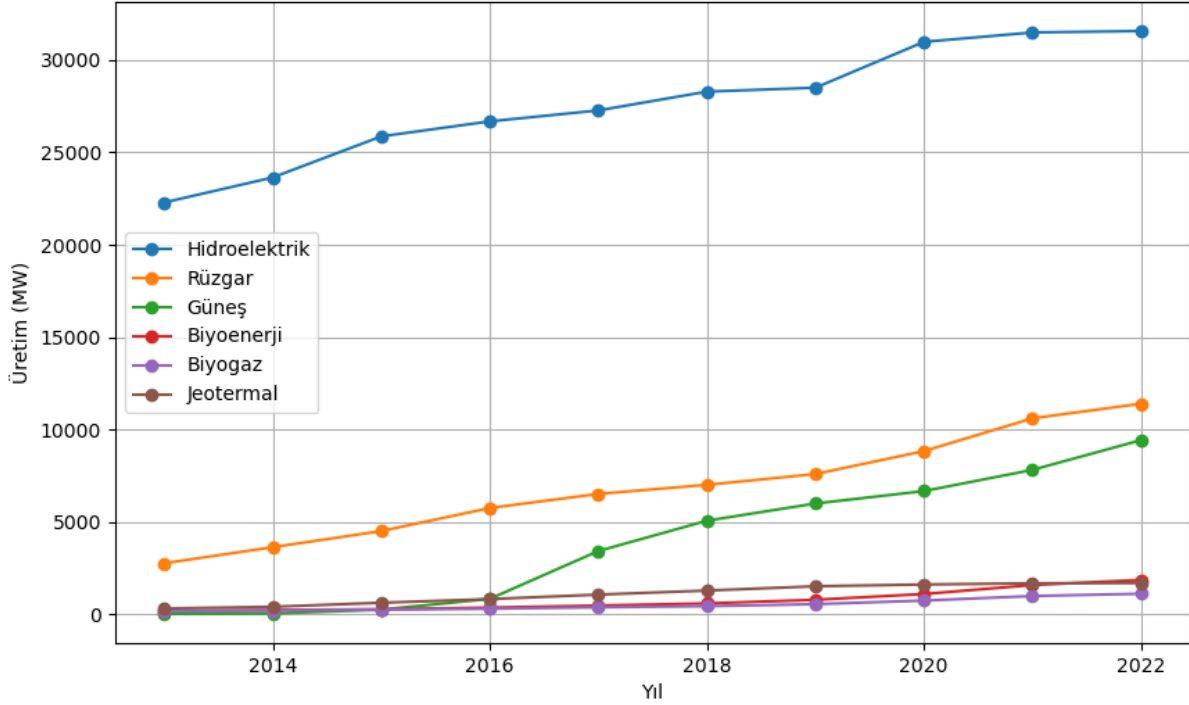


Şekil 2.3. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının zaman içindeki kapasite değişimi

Bu verilere göre, hidroelektrik enerji kapasitesi, 2013 yılında 1137 GW'den başlayarak 2022 yılında 1392 GW'ye yükselmiştir. Rüzgar enerjisi kapasitesi, 2013 yılında 300 GW'den başlayarak 2022 yılında 898 GW'ye yükselmiştir. Güneş enerjisi kapasitesi, 2013 yılında 141 GW'den başlayarak 2022 yılında 1062 GW'ye yükselmiştir. Biyoyakıt enerjisi kapasitesi, 2013 yılında 85 GW'den başlayarak 2022 yılında 151 GW'ye yükselmiştir. Biyogaz enerjisi kapasitesi, 2013 yılında 14 GW'den başlayarak 2022 yılında 21 GW'ye yükselmiştir. Jeotermal enerjisi kapasitesi, 2013 yılında 11 GW'den başlayarak 2022 yılında 15 GW'ye yükselmiştir.

Özetle, hidroelektrik enerji üretimi artarken, rüzgar ve güneş enerjisi üretiminin özellikle son yıllarda hızlı büyüdüğü görülmüştür. Biyoyakıt ve biyogaz enerjisi üretimi daha düşük büyüme oranlarına sahipken, jeotermal enerji üretimi daha istikrarlı bir artış göstermiştir.

Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasiteleri, IRENA verileri kullanılarak hazırlanmış olup, Şekil 2.4'te sunulmuştur (IRENA, 2023).



Şekil 2.4. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının zaman içindeki kapasite değişimi

2013-2014 döneminde yenilenebilir enerji kapasitesi %7 oranında artarak büyümeye başlamıştır. 2014-2015 döneminde güneş enerjisi ve biyokütle kaynakları, bu artışı %9'a çıkartarak önemli katkıda bulunmuştur. 2015-2016 döneminde ise rüzgar enerjisi ve biyogaz kaynakları dikkat çekmiş ve artış oranı %3 olarak gerçekleşmiştir. 2016-2017 döneminde toplam kapasite %2 oranında artarken, güneş enerjisi ve biyokütle kaynaklarının büyümesi öne çıkmıştır. 2017-2018 döneminde %4'lük bir artış gözlenmiştir, özellikle güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi kaynakları hızla büyümüştür. 2018-2019 döneminde büyüme %1 gerilemiş olsa da yenilenebilir enerji kapasiteleri istikrarlı bir şekilde artmıştır. 2019-2020 döneminde toplam kapasite %9 artarak güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi büyümeye devam etmiştir. 2020-2021 döneminde %2'lik bir artış yaşanmıştır. 2021-2022 döneminde ise artış oranı %0,3 olmuş ve özellikle güneş enerjisindeki büyüme dikkat çekmiştir.

Bu verilere göre Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarını enerji portföyünün önemli bir parçası olarak kullanmaya başlamış ve kapasitelerini sürekli olarak artırmıştır. Özellikle güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi, son yıllarda hızla büyümüş ve Türkiye'nin enerji üretiminde önemli bir rol oynamaya başlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının gelecekteki konumu incelenmesi gerektiğinde IEA'nın 2022 Yenilenebilir Enerji Raporu göze çarpmaktadır. Bu rapor, küresel enerji krizinin, salgın ve savaşlar gibi nedenlerle ortaya çıkmasının, yenilenebilir enerjiye büyük bir ilgi artışına yol açtığını vurgulamaktadır. Fosil yakıtların temininde yaşanan sorunlar ve yüksek yakıt fiyatları, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmıştır. Raporda, 2022 ile 2027 yılları arasında dünya genelinde yenilenebilir enerji kapasitesinin yaklaşık olarak 2400 GW büyüyeceği tahmin edilmektedir. Bu büyüme, Çin'in mevcut enerji kapasitesine eşdeğer bir artışı ifade etmektedir. Ayrıca, Çin'in 2022 ile 2027 yılları arasında küresel yenilenebilir enerji kapasitesinin yarısını oluşturmayı hedeflediği belirtilmektedir (IEA 2022).

IEA'nın 2023 Elektrik Piyasası Raporu ise yenilenebilir enerji kapasitesinin, 2025 yılına kadar dünya elektrik üretiminin %35'ini karşılayacağını öngörmektedir (IEA 2023a).

Yenilenebilir Enerji raporunda, 2025 yılı itibariyle güneş PV teknolojisinin 1500 GW'lık kurulu güç kapasitesine ulaşarak doğalgazı, 2027 yılına kadar da kömürü geçmesinin beklendiği ifade edilmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretiminin önümüzdeki beş yıl içinde iki katından fazla artarak, 2027 yılı itibariyle küresel elektrik üretiminin yaklaşık %20'sini sağlaması öngörülmektedir (IEA 2022).

Bu iki rapor, küresel enerji dönüşümünün hızlandığını, yenilenebilir enerjinin giderek daha büyük bir role sahip olduğunu ve fosil yakıtlara alternatif olarak ön plana çıktığını göstermektedir.

Türkiye'nin ise enerji planında yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri Türkiye Ulusal Enerji Planı 2022 raporunda belirtilmiştir. Rapora göre, 2000-2020 döneminde yıllık ortalama elektrik üretimi %4,4 artarak 128 TWh'den 306,1 TWh'e yükseldiği belirtilmiş ve 2035 yılına kadar yıllık ortalama %3,5 artışla 510,5 TWh seviyesine ulaşması beklenmektedir. Raporda fosil kaynakların birincil enerji tüketimindeki payının %83,3'ten %70,4'e düşürülmesi hedeflenmektedir. Ayrıca birincil enerji tüketiminde 2020'de 24,6 Mtep olan yenilenebilir enerji kaynaklarının payının 2035'te 48,7 Mtep olması hedeflenmektedir. Elektrik üretiminde, yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %42,4'ten %54,8'e yükseltilmesi planlanmaktadır. Ayrıca rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarının elektrik üretimindeki paylarının artırılması amaçlanmaktadır. Kurulu güç açısından bakıldığında rüzgar enerjisinde 29,6 GW, jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinde 5,1 GW, güneş enerjisinde 52,9 GW, hidroelektrik santrallerde ise 35,1 GW seviyelerine yükseltilmesi hedeflenmektedir (Türkiye Ulusal Enerji Planı Raporu 2022).

Bu planlar ve raporlar hem dünyanın hem de Türkiye'nin enerji sektöründe sürdürülebilir ve çevre dostu bir geleceğe doğru ilerlemesini destekler niteliktedir. Türkiye'nin bu hedefleri ulaşması, enerji alanında küresel dönüşümün bir parçası olarak yenilenebilir enerjiye daha fazla odaklanmasını yansıtmaktadır. Bu çerçevede, Türkiye'nin enerji sektöründeki evrimi, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji bağımsızlığı açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

2.2. Güneş Enerjisi Teknolojileri

Güneş enerjisi, dünyanın en yaygın enerji kaynağıdır ve birçok enerji türü, rüzgar, fosil yakıtlar, biyokütle ve hidro gibi kaynaklar, güneş ışığına dayalıdır. Teknolojik ilerlemelerle birlikte, her bir enerji kaynağının potansiyeli artırılabilir, ancak sürekli olarak artan enerji talebine yanıt verme açısından güneş enerjisi önemli bir kaynaktır (Chu ve Meisen 2011). Gezegenimize ulaşan ortalama güneş enerjisi miktarı yaklaşık 342 Wm^{-2} değerindedir. Bu enerjinin yaklaşık %30'u saçılır veya uzaya geri yansır. Geriye kalan yaklaşık %70'i, hasat edilip kullanılabilecek enerji olarak kalır (Hart 2015). Enlem, iklim ve coğrafi değişim, dünya atmosferinden geçen güneş akışının yoğunluğunu belirleyen faktörlerdir (Al-Tameemi ve Chukin 2016). Gezegenin en güneşli bölgeleri Afrika kıtasında yer alırken, tahmini olarak Afrika'da potansiyel konsantre güneş enerjisi (CSP) ve PV enerjisi sırasıyla 470 ve 660 petawatt saat (PWh) civarındadır (IRENA 2014). Dünyamıza ulaşan güneş enerjisi kaynağı, elektrik üretimi, tuzdan arındırma, oda sıcaklığı kontrolü, fotokimya gibi birçok farklı uygulama alanında kullanılmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar güneş enerjisinin toplanması ve elektrik enerjisine dönüştürülmesi konusuna büyük ilgi göstermektedirler (Chu ve Meisen 2011). Güneş enerjisi teknolojileri kavramı, güneş tarafından üretilen ışık veya ısı enerjinin toplanması ve kullanılmasında yer alan teknolojiler olarak kabul edilmektedir (Besarati vd. 2013). Güneş enerjisi teknolojileri aktif ve pasif teknolojiler olarak sınıflandırılmaktadır (Kabir vd. 2018). Aktif güneş enerjisi teknolojileri, güneş radyasyonunu toplamak için mekanik ve elektrik ekipmanlar kullanarak güneş enerjisini ısıya veya elektrik enerjisine dönüştürmek amacıyla kullanılır. Bu teknolojiler genellikle PV ve solar termal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Herrando ve Markides 2016). Son zamanlarda, güneş ışığını elektrik enerjisine çevirmek için yarı iletkenlerin kullanıldığı PV teknolojisi, popüler bir seçenek haline gelmiştir (Mohanty vd. 2016).



Şekil 2.5. Fotovoltaik güneş enerjisi panelleri (IEA 2024)

PV teknolojisi, geleneksel kristal silikon hücrelerden, ince film hücrelere ve yeni teknolojilere kadar çeşitli malzemeleri içermekte ve sürekli olarak gelişmektedir (Alharbi ve Kais 2015). Solar termal teknolojisi ise, güneş enerjisini ticari ve evsel kullanımlar için termal enerjiye dönüştürmede kullanılır (Kabir vd. 2018). Endüstriyel uygulamada ortaya çıkan ısı gereksinimleri için yoğunlaştırılmış güneş ısı (CST) teknolojileri tercih edilirken, elektrik için CSP teknolojileri kullanılmaktadır.



Şekil 2.6. Fas'ın Ouarzazate kentinde kurulan CSP projesi (Solarpaces 2021)

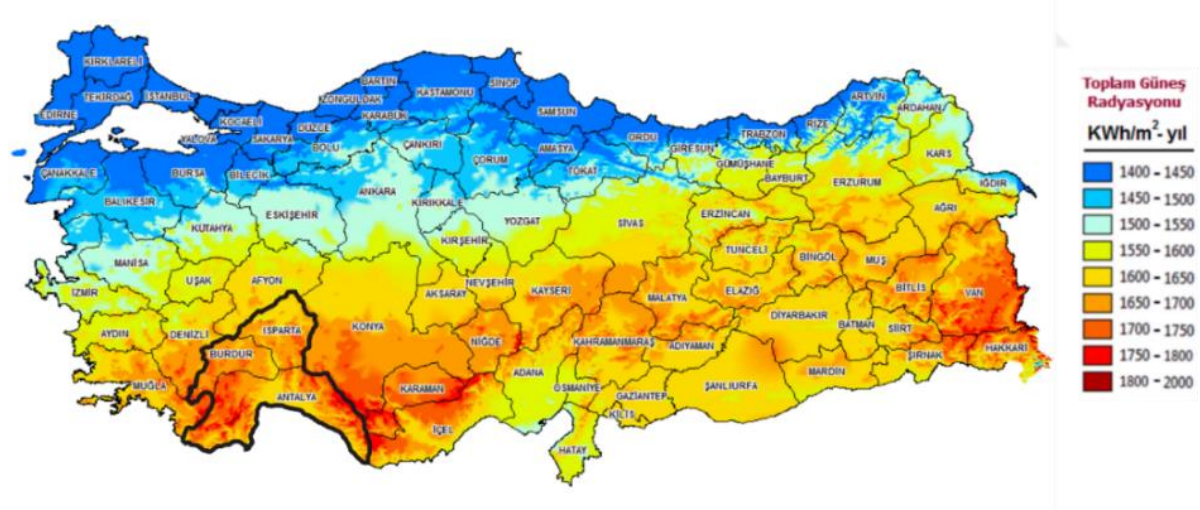
CSP teknolojisi, güneş enerjisini yüksek büyütmeli aynalar kullanarak yoğunlaştırmayı içerir ve bu yoğunlaştırılmış enerjiyi bir buhar türbinine güç sağlamak için ısı enerjisine dönüştürür (IEA, 2011). Pasif güneş enerjisi teknolojisi ise, termal veya ışık enerjisini başka bir forma dönüştürmeden sadece güneş enerjisinin toplanmasını içerir (Sun ve Wang 2016). Bu, güneş enerjisinin toplanması, depolanması ve evlerin ısıtılması gibi amaçlarla ısı şeklinde dağıtılması gibi uygulamaları içermektedir. Bu teknolojilerin kullanılması, küresel ısınma ile mücadele için son derece uygun bir çözümdür (Kabir vd. 2018). Farklı enerji kaynaklarının kullanıldığı enerji santralleri, özellikle kömür yakıtlı olanlar, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının %25'inden mesul önemli bir sera gazı kaynağıdır (Jerez vd. 2015). Bu nedenle güneş enerjisi üretimi, tüm aşamaları (üretim, kurulum, işletme ve bakım dahil) dikkate alındığında, minimum sera gazı emisyonlarına sahiptir (Şen 2004). Kömür, doğal gaz ve güneş enerjisi tarafından üretilen her kilovat saat başına düşen CO₂ emisyonları, sırasıyla 0,64 ila 1,63, 0,27 ila 0,91 ve 0,03 ila 0,09 kg aralığında tahmin edilmektedir. Bu karşılaştırma, güneş enerjisinin çevre dostu özelliklerini diğer enerji kaynaklarına göre bir kez daha vurgulamaktadır (Kabir vd. 2018). Ancak güneş enerjisi teknolojilerinin dezavantajları da bulunmaktadır. İlk olarak, yüksek kurulum maliyeti en büyük dezavantajlardan biridir. Güneş panelleri gümüş, tellür veya indiyum gibi nadir veya değerli metallere yapıldığından, kullanılmış panellerin geri dönüşümü için yeterli tesisler bulunmamaktadır. Bu, çevresel etkiyi azaltmak için gereken adımları sınırlayabilir. Ayrıca, güneş enerjisi sistemlerinin kurulumu, bakımı, denetimi, onarımı ve değerlendirilmesi için vasıflı iş gücü eksikliği gibi bakım ile ilgili faktörler de önemli bir kısıtlama oluşturabilir. PV modüllerinde çatlaklar, alg büyümesi, toza maruz kalma ve su girişi, sistemin verimini düşürülebilir. Bu, düzenli bakımın ve iş gücünün gerekliliğini ortaya koyar (Fu vd. 2015; Kabir vd. 2018).

Güneş enerjisi, yalnızca gündüzleri verimli bir şekilde kullanılabilmesi ve güneşli havalarda en etkili çalışabilmesi nedeniyle sürdürülebilir olmayan hava veya iklim koşullarına sahip bölgelerde güvenilir bir enerji kaynağı olmayabilir. Bu, özellikle bölgeler arası enerji dağılımı açısından bir zorluk oluşturabilir. Ayrıca, hava kirliliği seviyeleri, güneş panellerinin etkinliğini olumsuz etkileyebilir. Örneğin, egzoz dumanı güneş panellerin akımını %10 oranında azaltırken, aerosol kirleticileri ise silikon güneş panellerinin akımını %7 oranında azalttığı gözlemlenmiştir (Radivojević vd. 2015).

Sonuç olarak, güneş enerjisi çevre dostu, sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Ancak, yüksek kurulum maliyeti, bakım zorlukları, iklim koşullarına bağlı verimlilik dalgalanmaları ve büyük arazi gereksinimleri gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisi teknolojilerinin geliştirilmesi ve daha geniş ölçekte kullanılabilmesi için ileri araştırma ve altyapı çalışmaları gerekmektedir.

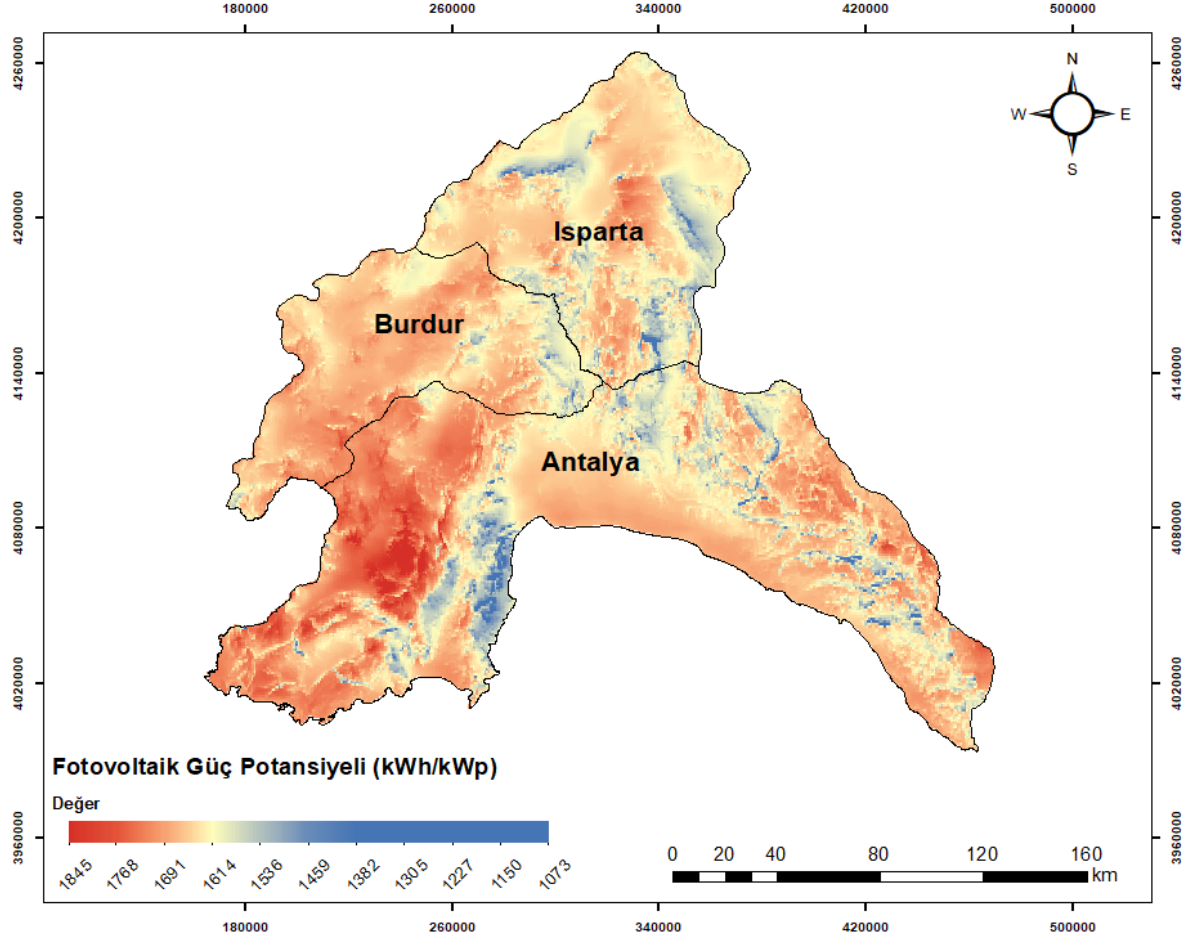
2.3. Batı Akdeniz Bölgesi'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, iklim ve coğrafi özellikleri nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. GEPA verilerine göre, ülkede günlük ortalama 7,5 saat güneşlenme süresi ve günlük ortalama 4,18 KWh/m² ışıınım değeri hesaplanmıştır. Şekil 2.7'deki haritaya göre, güney bölgelerinin kuzey enlemlerine göre daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle Antalya, Burdur ve Isparta illerini içeren Batı Akdeniz Bölgesi, 4,46 KWh/m².gün ışıınım değeri ve 8,04 saat güneşlenme süresi ile diğer bölgelere göre daha yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (GEPA 2019).



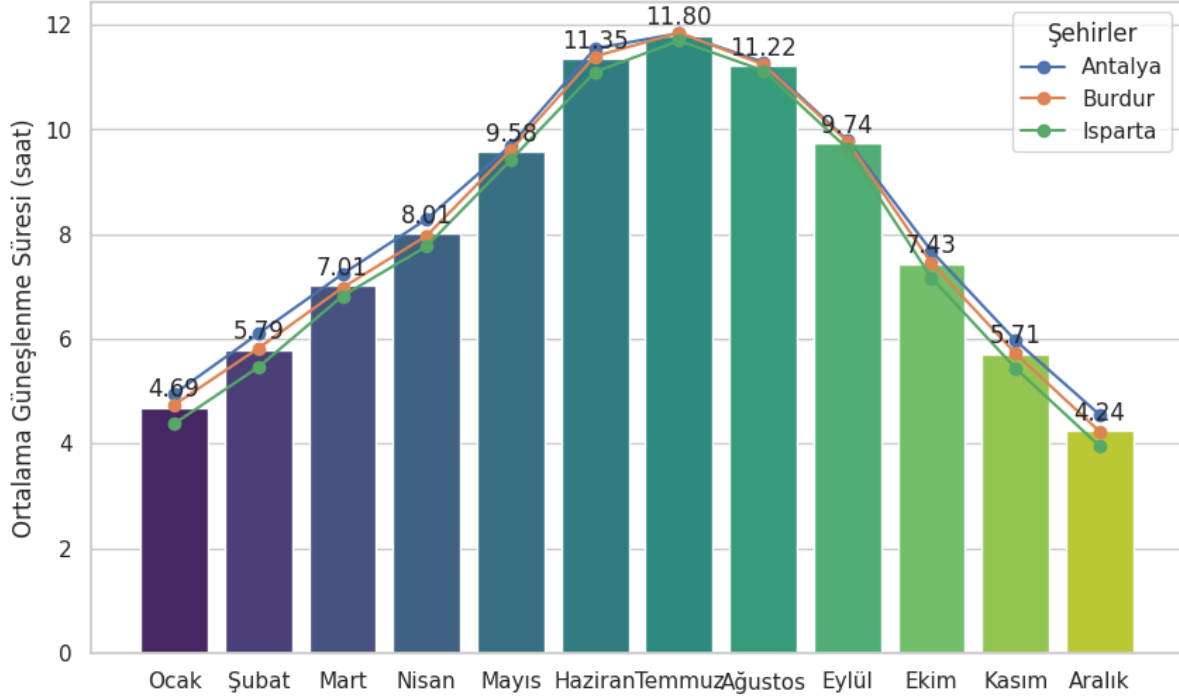
Şekil 2.7. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA 2019)

Ayrıca bölgedeki PV panellerin güneş ışığından enerji üretme kapasitesini incelemek için SolarGIS verileri kullanılarak Şekil 2.8'deki harita oluşturulmuştur (SolarGIS 2020). Batı Akdeniz Bölgesi'nin genel olarak 1073-1845 aralığında (kWh/kWp) enerji üretme kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2.8. Fotovoltaik güç potansiyel haritası

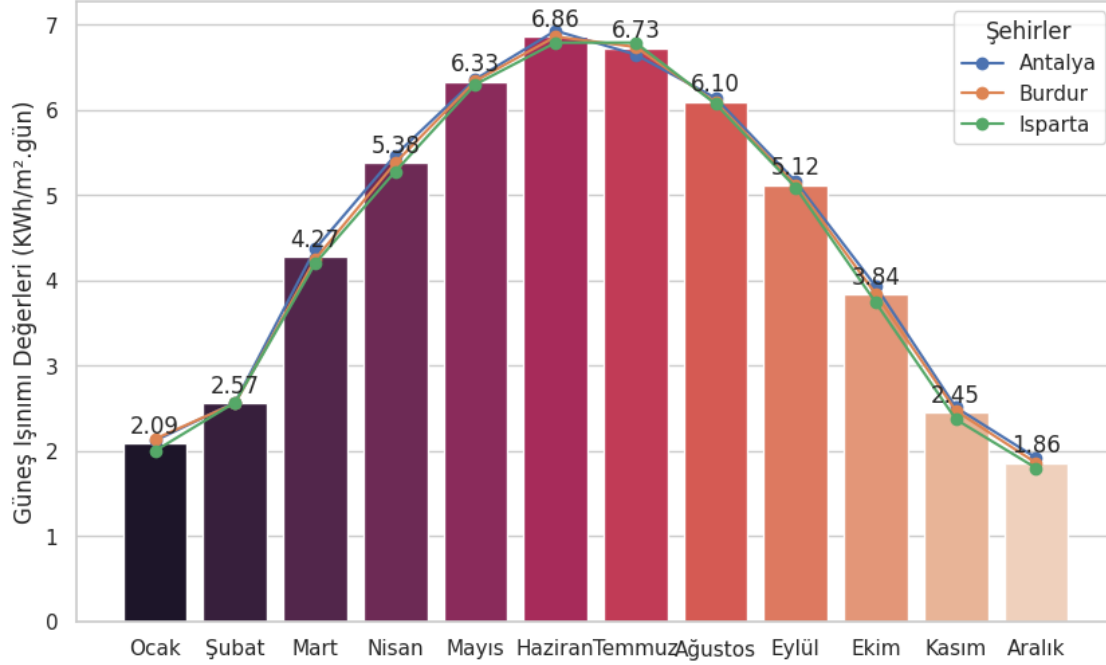
Şekil 2.9, GEPA verileri kullanılarak hazırlanan Batı Akdeniz Bölgesi'nde güneşlenme sürelerinin aylara göre değişimini göstermektedir (GEPA, 2019).



Şekil 2.9. Batı Akdeniz Bölgesi güneşlenme süreleri

Bu grafik, Antalya, Burdur ve Isparta illerinin ortalamasını temel almakta olup, her bir şehrin güneşlenme sürelerinin aylara göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Yaz aylarının (Haziran, Temmuz, Ağustos) genellikle daha uzun güneşlenme sürelerine sahip olduğu görülmektedir. Bu aylarda güneşlenme süreleri en yüksek düzeydedir. Öte yandan, kış ayları (Aralık, Ocak, Şubat) daha kısa gün ışığı sürelerine sahiptir. Bahar ayları (Mart, Nisan, Mayıs) ile sonbahar ayları (Eylül, Ekim, Kasım) arasında ise orta uzunluktaki güneşlenme süreleri gözlemlenmektedir. Batı Akdeniz Bölgesi'nde güneşlenme süreleri yıl boyunca değişkenlik göstermektedir ve en yüksek değerlere yaz aylarında ulaşmaktadır, bu durum kış aylarında ise düşmektedir.

Şekil 2.10, GEPA verileri kullanılarak hazırlanan Batı Akdeniz Bölgesi'nde güneş ışıınının aylara göre değişimini göstermektedir (GEPA, 2019).



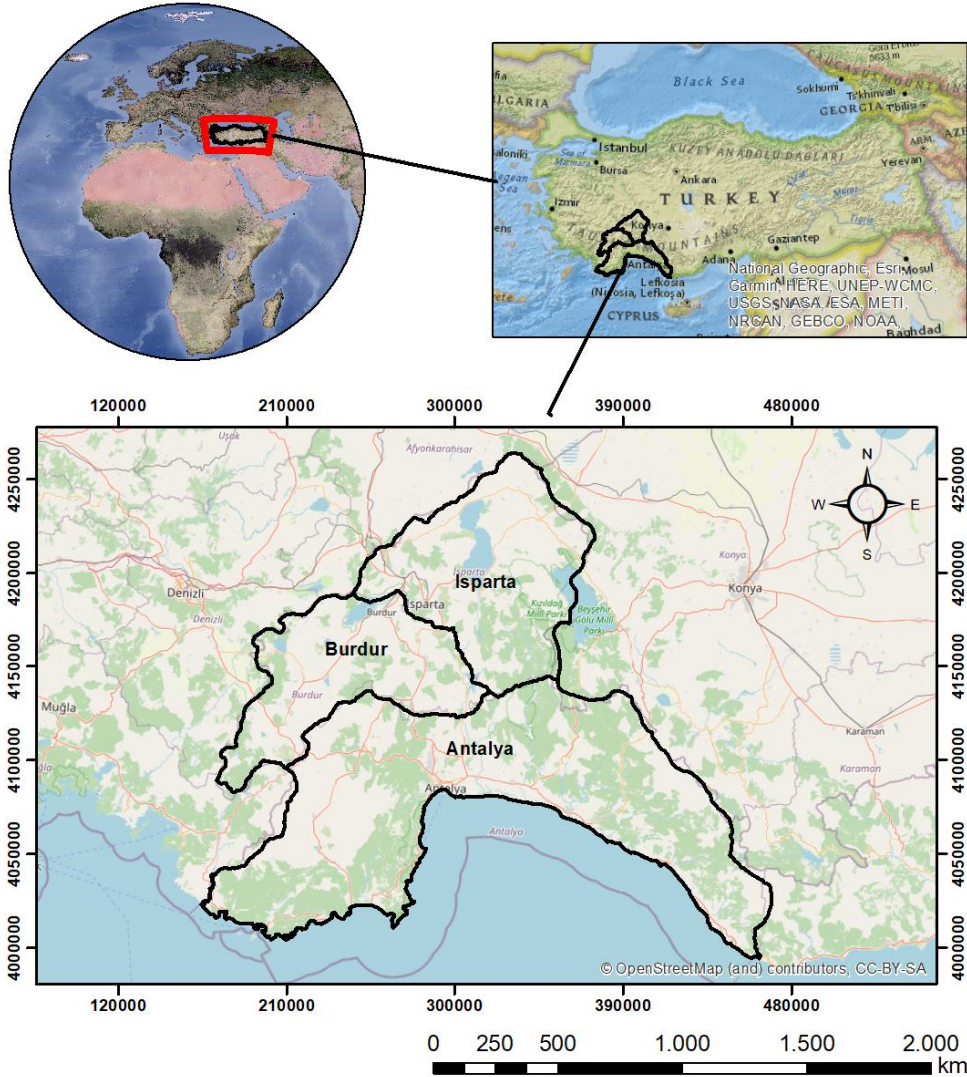
Şekil 2.10. Batı Akdeniz Bölgesi güneş ışıınının değerleri

Bu grafik, Antalya, Burdur ve Isparta illerinin ortalama güneşlenme sürelerini baz almakta ve her bir şehrin güneş ışıınının aylara göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Ocak ve Aralık ayları genellikle düşük güneş ışıınınına sahipken, Mayıs ve Haziran ayları en yüksek güneş ışıının değeriine sahiptir. Temmuz ayı nispeten daha düşük bir ortalama değere sahiptir. Sonbahar ayları (Eylül, Ekim, Kasım), güneş ışıınınının azalmaya başladığı bir dönemi temsil ederken, bahar ayları (Mart, Nisan) ise güneş ışıınınının arttığı bir dönemi yansıtmaktadır. Şehir bazında incelendiğinde, Antalya genel olarak diğer iki şehirden daha yüksek güneş ışıınınına sahiptir. Bununla birlikte, Isparta ve Burdur arasında benzer bir eğilim görülmekte, ancak Isparta'nın genellikle bir miktar daha yüksek güneş ışıınınına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Sonuç olarak, bu veriler Batı Akdeniz Bölgesi'nin güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu da bölgenin güneş enerjisi projeleri için uygun bir alan olduğunu vurgulamaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

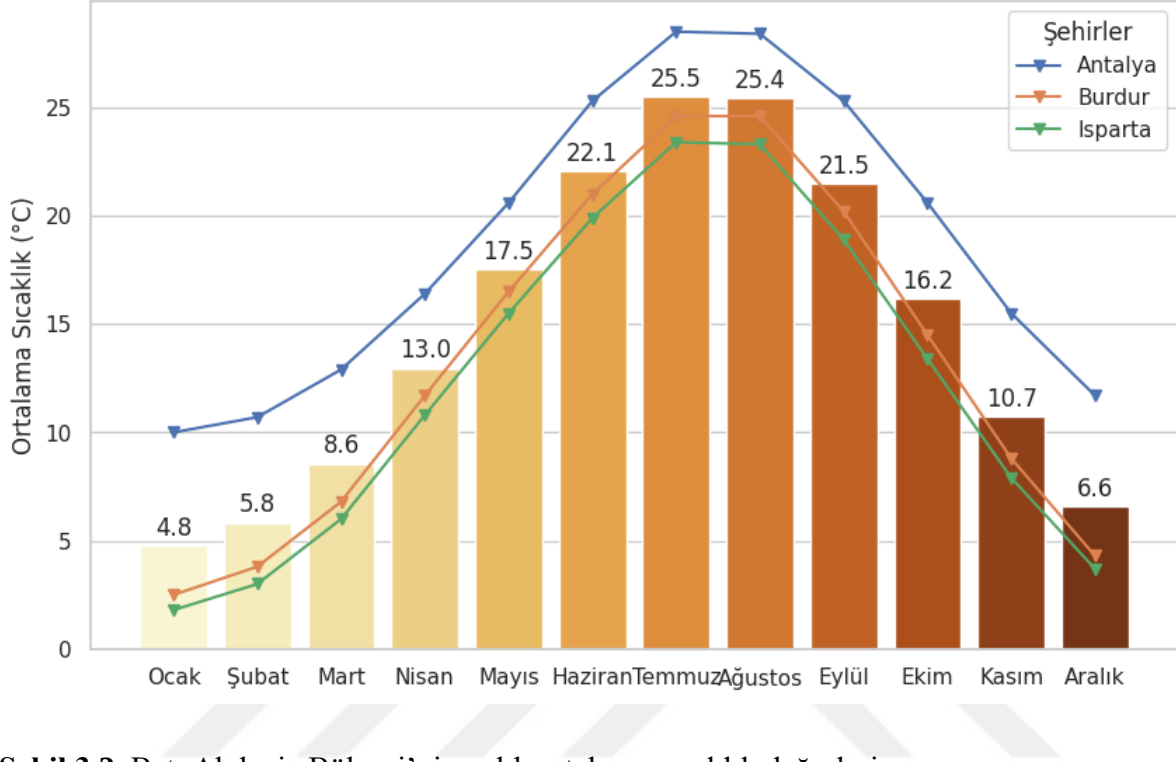
3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Çalışma alanının konumu, Türkiye'nin güneybatısında konumlanmış olan 36° ile 38° kuzey enlemi ve 30° ile 31° doğu boylamları arasında yer alan, Antalya, Burdur ve Isparta illerini içeren Batı Akdeniz Bölgesi'ni kapsamaktadır (Şekil 3.1). Toplam yüzölçümü 36.298 km²'dir. Antalya'nın yüzölçümü 20.171 km², Isparta'nın 7.180 km² ve Burdur'un 8.947 km²'dir. Nüfus açısından, 2022 Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Antalya, bölgedeki en kalabalık şehir olup 2.688.004 kişiyle Türkiye'nin beşinci en büyük şehridir. Isparta'nın nüfusu 445.325, Burdur'un nüfusu ise 273.799'dur (TÜİK). Batı Akdeniz Bölgesi, kuzeyde Toros Dağları'nın eteklerinden başlayarak güneyde Akdeniz kıyılarına kadar uzanmaktadır ve genel olarak dağlık ve engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. Toros Dağları'nın etkisiyle Batı Akdeniz'de genellikle Akdeniz iklimi hakimdir. Bu iklim, yazları sıcak ve kuru, kışları ılıman ve yağışlı bir dönemi içermektedir (Kültür ve Turizm Bakanlığı 2012).



Şekil 3.1. Çalışma alanının konumu

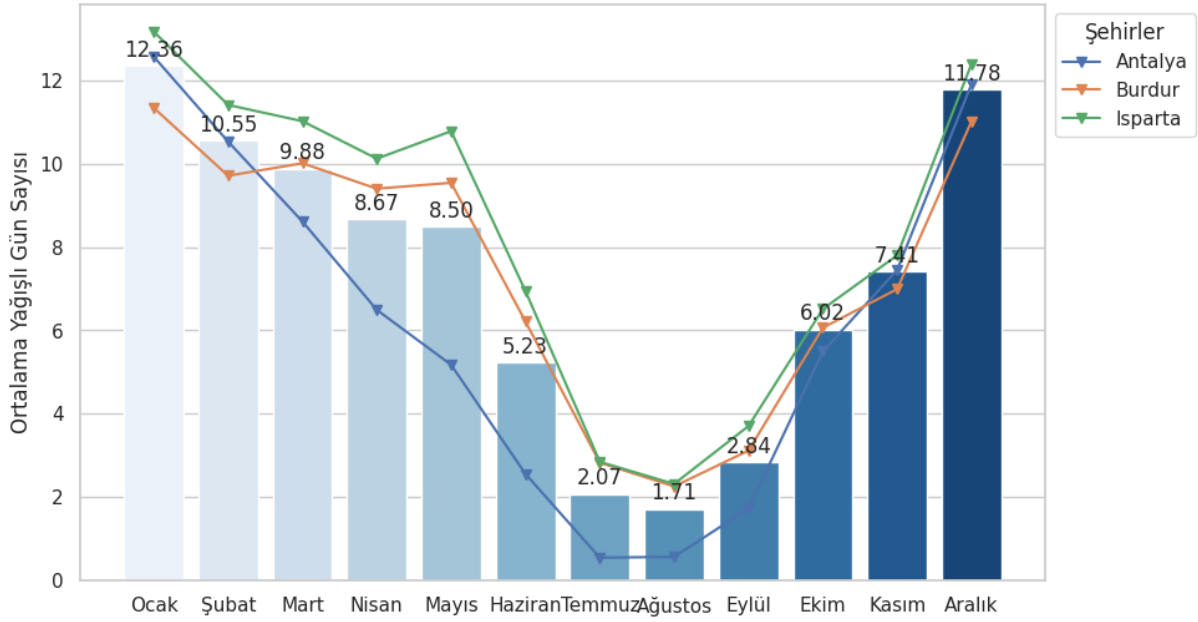
Şekil 3.2, Batı Akdeniz Bölgesi'ni ve bu bölge içinde yer alan Antalya, Burdur ve Isparta şehirlerindeki aylık ortalama sıcaklık değerlerinin Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerinden elde edilen grafiği sunmaktadır (MGM).



Şekil 3.2. Batı Akdeniz Bölgesi'nin aylık ortalama sıcaklık değerleri

Grafik incelendiğinde, yaz aylarında sıcaklıkların yükseldiği, Temmuz ve Ağustos aylarında zirveye ulaştığı görülmektedir. Diğer yandan, kış aylarında ise sıcaklıkların düştüğü ve Aralık ayında en düşük seviyeye indiği gözlemlenmektedir. Şehirler arasındaki sıcaklık farklarını incelediğimizde, Antalya'nın genellikle diğer şehirlere kıyasla daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu dikkat çekmektedir. Özellikle Temmuz ayında Antalya'daki sıcaklıkların diğer şehirlere göre belirgin bir şekilde yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Burdur ve Isparta illeri arasında genel bir benzerlik olduğu gözlemlenmiştir.

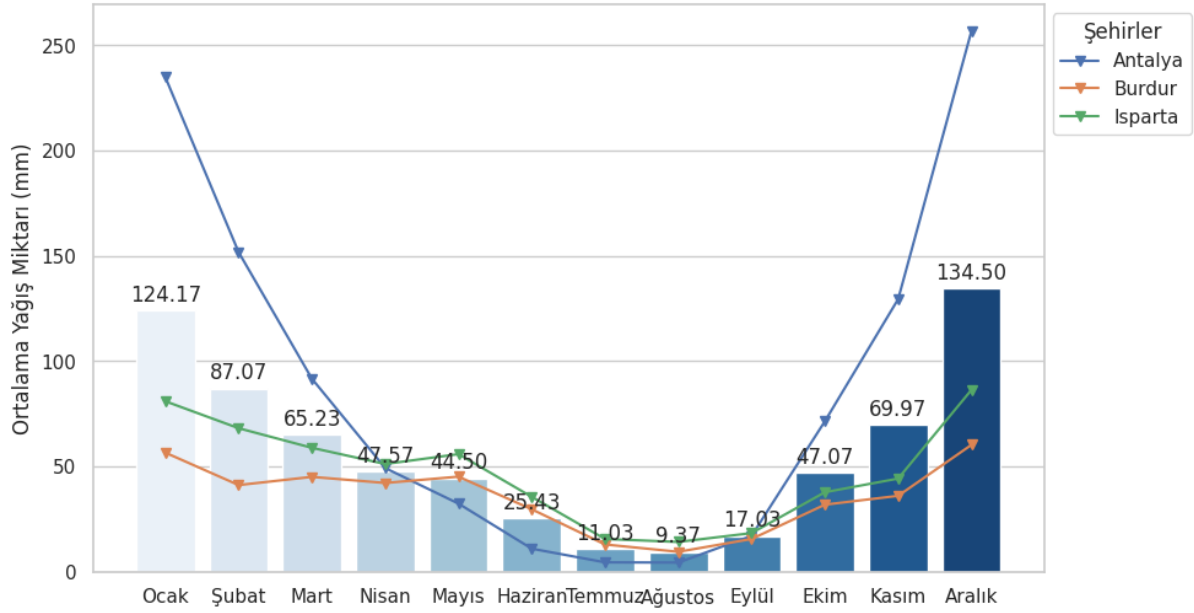
Şekil 3.3, MGM verileri kullanılarak oluşturulan Batı Akdeniz Bölgesi'nin aylık ortalama yağışlı gün sayısını gösteren grafiği içermektedir (MGM).



Şekil 3.3. Batı Akdeniz Bölgesi'nin aylık ortalama yağışlı gün sayısı

Grafiğe göre, Ocak ayında, en yüksek ortalama yağışlı gün sayısına sahip olan şehirler sırasıyla Isparta (13,17 gün) ve Antalya (12,57 gün) olmuştur. Genel olarak, kış aylarında yağışlı gün sayısı artarken, yaz aylarında ise bu sayı azalmaktadır. Temmuz ve Ağustos aylarında ise yağışlı gün sayıları önemli ölçüde düşmektedir. Mevsimsel farklılıklar sebebiyle Isparta'da yağışlı gün sayısı genellikle Burdur ve Antalya'ya kıyasla daha yüksek gözlemlenmiştir.

Şekil 3.4, MGM verilerinden elde edilen Batı Akdeniz Bölgesi'nin aylık yağış miktarlarını gösteren grafiği sunmaktadır (MGM).



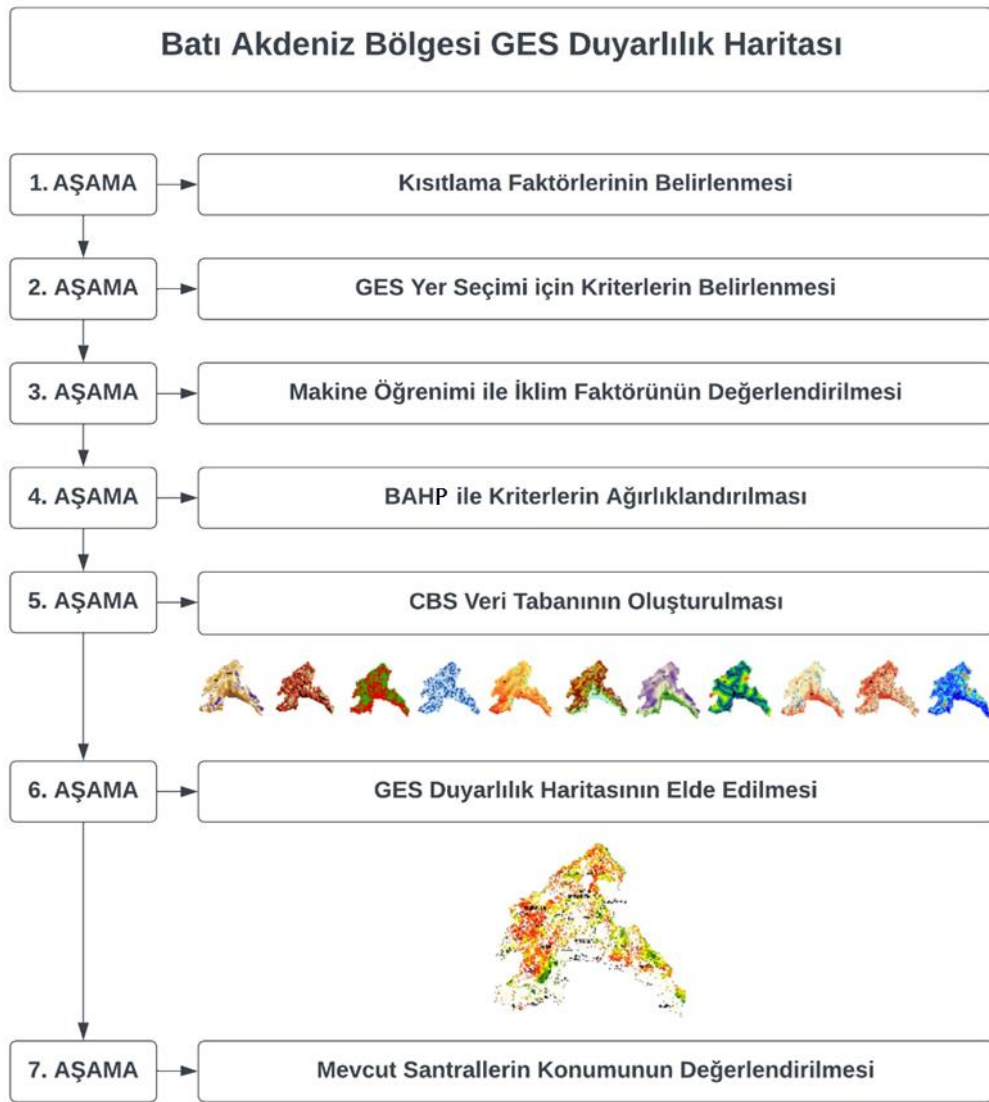
Şekil 3.4. Batı Akdeniz Bölgesi'nin aylık yağış miktarı

Bu grafiğe göre, aralık ayı bölgedeki şehirlerde en yüksek yağış miktarına sahipken, özellikle Antalya'da bu artışın daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Kış ayları genellikle yağışlı geçerken, yaz ayları daha kuru bir dönemi temsil etmektedir.

Antalya, genellikle diğer iki şehirden daha fazla yağış almaktadır ve Burdur ile Isparta'ya kıyasla daha yağışlı bir bölgedir. Nisan-Haziran dönemi, yağış miktarlarının düşük olduğu bir dönemi temsil ederken, özellikle Haziran ayında yağış miktarlarının minimum seviyeye indiği gözlemlenmiştir.

3.2. Akış Diyagramı

Bu çalışma, 7 aşamadan oluşmaktadır (Şekil 3.5). İlk aşamada, GES kurulmasının mümkün olmadığı alanları belirleyen kısıtlama faktörleri belirlenmiştir. İkinci aşamada, GES yer seçimi için değerlendirilen kriterler, literatür gözlemleri ve enerji mühendisi, çevre mühendisi, jeoloji mühendisi ve şehir planlamacıdan oluşan 7 uzmanın görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, karar vericinin değerlendirmelerini daha objektif hale getirmek amacıyla iklim faktörünü oluşturan değişkenlerin güneş ışıınımına etkileri makine öğrenimi algoritmalarıyla analiz edilmiştir. Dördüncü aşamada, GES yer seçimi için belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması işlemi BAHF ile gerçekleştirilmiştir. Beşinci aşamada, her bir kriter için farklı veri kaynakları kullanılarak CBS ortamında raster yapıda bir mekansal veri tabanı oluşturulmuştur. Altıncı aşamada, her bir kriter için hesaplanan ağırlık değerleri kullanılarak GES duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Son aşamada ise mevcut kurulu GES'lerin konumu, duyarlılık haritası ve çevresel etkenlere göre değerlendirilmiştir.



Şekil 3.5. Akış diyagramı

3.3. Kısıtlayıcı Faktörlerin Belirlenmesi

Güneş enerjisi projelerinin sürdürülebilir ve etkili bir şekilde geliştirilebilmesi için çeşitli çevresel, topografik ve kültürel faktörlerin detaylı bir şekilde incelenmesi gereklidir. Bu faktörler, güneş enerjisi tesislerinin çevresel etkilerini en aza indirmeyi ve toplum ile doğal yaşam alanlarını korumayı amaçlamaktadır. Ayrıca santrallerin olası deprem, taşkın ve kaza gibi durumlardan etkilenmemesi için çevresel risklerde değerlendirilmelidir. Türkiye'de bu konuda atılan önemli bir adım, 25 Ocak 2017 tarihli ve 29959 sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanan "Doğal Sit Alanlarında Güneş Enerjisi (GES) İlke Kararı'dır". Bu karara göre, 1. Derece Doğal Sit Alanları, Kesin Korunacak Hassas Alanlar ve Nitelikli Doğal Koruma Alanlarındaki GES projelerine izin verilmemekte; 2. Derece Doğal Sit Alanları, 3. Derece Doğal Sit Alanları ve Sürdürülebilir Koruma ve Kontrollü Kullanım Alanlarındaki GES projelerinin sınırından itibaren Kesin Korunacak Hassas Alanlara en az 300 metre mesafede olması, mevcut ve yapılacak GES projelerinin toplam alanının, Doğal Sit Alanının yüzde 10'unu geçmemesi kararlaştırılmıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete 2017). Bu çalışmada bu karar esas alınarak Batı Akdeniz Bölgesi içerisinde yer alan 1.Derece Doğal Sit Alanları, Kesin Korunacak Hassas Alanlar ve Nitelikli Doğal Koruma Alanları kısıtlı alan olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada literatür de yapılan çalışmalar incelenmiş ve farklı kısıtlamalar uygulanmıştır (Çizelge 3.1). Bu bölümde, güneş enerjisi projelerine getirilen kısıtlama kriterleri detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan kısıtlama faktörleri

Kısıtlama Faktörleri	Limitler	Referans
Ana yollara uzaklık (m)	<100	(Arca vd. 2023)
Su yüzeylerinden uzaklık (m)	<100	(Colak vd. 2020)
Faylardan uzaklık (m)	<440	(Spyridonidou ve Vagiona 2023)
Maden sahalarına uzaklık (m)	<250	(Spyridonidou ve Vagiona 2023)
Yerleşim alanlarına uzaklık (m)	<500	(Colak vd. 2020)
Korunan alanlara uzaklık (m)	<300	(T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete 2017).
Havacılık alanlarına uzaklık (m)	<1889	(Spyridonidou ve Vagiona 2023)
Askeri bölgelere uzaklık (m)	<222	(Spyridonidou ve Vagiona 2023)
Güneş ışınlamı (kWh/m ²)	<1300	(Elboshy vd. 2022).

3.3.1. Ana yollara uzaklık

GES tesisinin inşaat sürecinde ulaşım ağlarına yakın bir konumda olması, altyapı kurulum maliyetini ve tesisin bakım-onarım giderlerini azaltan önemli bir faktördür. Ancak, güneş panellerinin yol trafiğinden kaynaklanan kirlilikten etkilenmemesi ve olası bir kaza durumunda zarar görmemesi için GES'lerin en az 100 metre uzaklıkta konumlandırılması gerekmektedir (Arca vd. 2023).

3.3.2. Su yüzeylerinden uzaklık

Su yüzeylerine yakınlık kriteri dikkate alındığında, GES'lerin belirli bir mesafede su yüzeylerinden konumlandırılması hedeflenmektedir. Bu yaklaşım, su yüzeylerinin farklı mevsimlerde gösterebileceği değişimleri göz önünde bulundurarak belirlenmiştir (Arca vd. 2023). Bu çalışmada, su yüzeyleri için 100 metre tampon mesafesi uygulanmıştır (Colak vd. 2020).

3.3.3. Faylardan uzaklık

Güneş enerjisi santralinin konum seçiminde düşük deprem riskine sahip bölgeler tercih edilmelidir. Bu nedenle güneş enerjisi santrali saha seçiminde önemli bir faktör, fay hatlarının varlığıdır ve santrallerin bu fay hatlarından belirli bir mesafede olması gerekmektedir (Colak ve ark., 2020). Bu çerçevede, fay hatları için 440 metrelik bir tampon mesafesi uygulanmıştır (Spyridonidou ve Vagiona 2023).

3.3.4. Maden sahalarına uzaklık

Açık ocak madenleri çevresinde kurulacak olan GES, toprak ve toz birikmesi nedeniyle oluşan gölgelenme sorunuyla karşılaşabilir (Nurjanah ve ark., 2021). Bu durum, sistemlerin verimini düşürebilir. Bu nedenle, GES'lerin kurulacağı yerlerde, maden sahaları için 250 metrelik bir tampon mesafesi uygulanmıştır (Spyridonidou ve Vagiona 2023).

3.3.5. Yerleşim alanlarına uzaklık

Gürültü ve atıkların kurulum ve işletme aşamalarında meydana gelebilecek etkileri, 4 Haziran 2010 tarihli ve 27601 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 'Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne uygun olarak değerlendirilmelidir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete 2010). Bu nedenle, teknik analize dahil edilen alanların, yoğun yerleşim bölgelerinden uzak bir konumda olmasına özen gösterilmiştir. Bu çalışmada yerleşim alanları için 500 metrelik bir tampon mesafesi uygulanmıştır (Colak vd. 2020).

3.3.6. Korunan alanlara uzaklık

Korunan alanlara olan uzaklık kriteri, PV santrallerin çevresel etkilerini en aza indirme, doğal ekosistemlere ve turistik bölgelere olumsuz etkiye bulunmama amacını taşır. Bu uzaklık standartları, doğal yaşam alanlarının ve orman ekosistemlerinin korunmasını sağlamayı hedefler. Bu kriterler, GES'lerin faaliyetlerinin çevresel sürdürülebilirlik ilkesine uygun bir şekilde gerçekleştirilmesini amaçlar. Bu çalışmada, korunan alanlar için 300 metre tampon mesafesi uygulanmıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete 2017).

3.3.7. Havacılık ve askeri alanlara uzaklık

GES'lerin sivil ve askeri alanlara uzak bir konumda olması, hava trafiğini etkilememek ve güvenlik standartlarına uymak amacıyla gereklidir. Ayrıca, askeri bölgelere olan uzaklık da güvenlik endişeleri ve ilgili düzenlemeler göz önüne alınarak önem arz etmektedir. Bu uzaklık kriterleri, GES'lerin çevresel etkileşimi minimumda tutarak ve olası riskleri en aza indirerek güvenli ve etkili bir şekilde işlemlerini sağlamayı hedefler. Bu çalışmada havaalanları için 1889 metre, askeri alanlar için ise 222 metrelik bir tampon mesafesi uygulanmıştır (Spyridonidou ve Vagiona 2023).

3.3.8. Güneş ışıınımı

Güneş radyasyonu, dünya yüzeyine düşen güneş enerjisinin miktarını ifade eder. GES'lere ulaşan güneş ışıınımı miktarı genellikle kWh/m² olarak ölçülür. Işıınım miktarı 1300 kWh/m²'nin altında olan bölgeler, düşük güneş ışıınımı nedeniyle PV sistemlerin verimliliğini olumsuz etkileyebileceğinden, bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır (Elboshy vd. 2022).

3.4. Güneş Enerjisi Santrali için Kriterlerin Belirlenmesi

GES yer seçimi, iklimsel, ekonomik, topoğrafik ve çevresel faktörlerin birleşiminden etkilenen karmaşık bir süreçtir. Bu bölümde, GES yer seçimi üzerine yapılan literatür çalışmaları incelenmiştir. GES yer seçimi çalışmaları incelendiğinde, güneş ışıınımı, eğim, arazi kullanımı, yollara olan uzaklık, bakı, yerleşim alanlarına uzaklık, enerji iletim hatlarına uzaklık, su yüzeylerine uzaklık gibi kriterlerin sıklıkla değerlendirildiği gözlemlenmiştir. Bu kriterler, iklim koşulları, topoğrafik özellikler, çevresel ve ekonomik özellikleri kapsamaktadır. Çalışma alanının karakteristik özelliklerine bağlı olarak ek kriterlerin de değerlendirildiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, literatürde değerlendirilen kriterler göz önünde bulundurularak, enerji mühendisi, çevre mühendisi, jeoloji mühendisi ve şehir planlamacısından oluşan 7 uzmanın görüşlerine başvurulmuş ve 11 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler iklim, ekonomi, topoğrafya ve çevre olmak üzere sınıflandırılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. GES için değerlendirme kriterleri

Faktör	Kriter	Referans
İklim	Güneş ışıınımı (kWh/m ²)	Arca vd. 2023; Hooshangi vd. 2023; Elboshy vd. 2022; Giamalaki ve Tsoutsos 2019
	Yıllık ortalama sıcaklık (°C)	Hooshangi vd. 2023; Elboshy vd. 2022; Noorollahi vd. 2022; Kırcalı ve Selim 2021
	Yıllık ortalama bulut sıklığı oranı (%)	Elboshy vd. 2022
	Yıllık ortalama su buharı yoğunluğu (mol/m ²)	Smith vd. 2015

Çizelge 3.2'in devamı

Ekonomi	Enerji iletim hatlarına uzaklık (m)	Hooshangi vd. 2023; Elboshy vd. 2022; Noorollahi vd. 2022
	Ana yollara uzaklık (m)	Arca vd. 2023; Hooshangi vd. 2023; Elboshy vd. 2022; Noorollahi vd. 2022
	Yerleşim alanlarına uzaklık (m)	Arca vd. 2023; Hooshangi vd. 2023; Elboshy vd. 2022; Noorollahi vd. 2022
Topoğrafya	Eğim (°)	Arca vd. 2023; Hooshangi vd. 2023; Akinci ve Özalp 2022; Türk vd. 2021
	Bakı	Arca vd. 2023; Hooshangi vd. 2023; Colak vd. 2020; Kırcalı ve Selim 2021
	Yükseklik (m)	Kırcalı ve Selim 2021; Tercan vd. 2021; Elboshy vd. 2022; Noorollahi vd. 2022
Çevre	Arazi kullanımı	Rediske vd. 2020; Noorollahi vd. 2022; Arca vd. 2023; Hooshangi vd. 2023

3.4.1. İklim faktörü

3.4.1.1. Güneş ışıınımı

Güneş radyasyonu, Dünya yüzeyine düşen güneş enerjisinin miktarını ifade eder ve bu miktar, enlem, boylam, sıcaklık, güneş açısı, buharlaşma, nem gibi çeşitli faktörler tarafından etkilenir. Özellikle GES tarafından üretilen elektrik miktarını belirlemede güneş radyasyonu hayati bir rol oynar, bu da onu enerji üretimi açısından temel bir kriter haline getirir (Günen 2021a; Elboshy vd. 2022). Bu nedenle, GES verimliliği ve finansal uygulanabilirliği için önemli bir değerlendirme kriteridir (Günen 2021a).

3.4.1.2. Yıllık ortalama sıcaklık

GES'lerin verimliliği, sıcaklığın önemli bir etkisi altındadır (Günen, 2021a; Tercan vd. 2021; Elboshy vd. 2022). Daha düşük ortalama sıcaklıklara sahip bölgeler, GES verimliliğini artırmak için tercih edilir (Günen 2021a; Tercan vd. 2021). İnvertörler ve transformatörler gibi PV sistem bileşenleri, özellikle yüksek sıcaklıklarda etkilenir (Elboshy ve vd. 2022). PV sistemlerin verimliliği, 25°C'nin altındaki sıcaklıklarda artar; ancak daha yüksek sıcaklıklarda, her 1°C'lik artış güç çıkışında %0,4 ila %0,5 arasında bir azalmaya neden olabilir (Günen 2021a). Bu nedenle, PV sistemlerin verimini artırmak için sıcaklık aralığının dikkatlice belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

3.4.1.3. Yıllık ortalama bulut sıklığı oranı

Yıllık ortalama bulut sıklığı, güneşli olmayan günlerin oranını ifade eder ve bu durum, GES'lerin performansını büyük ölçüde etkileyerek alınan güneş ışıınımı miktarında azalmaya neden olur, bu da enerji üretimini olumsuz yönde etkiler (Elboshy vd. 2022).

3.4.1.4. Yıllık ortalama su buharı yoğunluğu

Su buharının varlığı, güneş pili üzerine düşen güneş ışığını azaltabilir ve böylece elektrik akımı, dolum faktörü ve açık devre voltajında düşüşe neden olabilir (Guechi vd. 2011). Yapılan bazı araştırmalar, kristalin silikon güneş hücrelerinin, açık gökyüzü koşullarında su buharının etkisiyle enerji üretiminde %3'e kadar bir azalmaya uğradığını göstermiştir. Aynı koşullarda amorf silikon güneş hücreleri ise %1'in altında bir performans kaybına maruz kalmıştır. Sonuç olarak, su buharı yoğunluğu fotovoltaiik sistemlerin verimini olumsuz yönde etkilemektedir (Smith vd. 2015).

3.4.2. Ekonomi faktörü

3.4.2.1. Enerji iletim hatları ve trafo merkezlerine uzaklık

Elektrik, santraller tarafından üretildikten sonra, enerji iletim hatları aracılığıyla trafo merkezlerine iletilir ve buradan dağıtım gerçekleştirilir. Ancak, bu sürecin maliyetini belirleyen önemli faktörlerden biri, enerji iletim hatlarına olan mesafedir. Mesafe arttıkça, inşaat maliyetleri ve enerji iletimindeki kayıplar da artar. Bu nedenle, GES yer seçiminde, mevcut enerji iletim hatlarına yakın bölgeler tercih edilerek maliyetin düşürülmesi sağlanabilir (Günen 2021b).

3.4.2.2. Ana yollara uzaklık

GES yer seçiminde, santrallerin yol ile olan uzaklığı kritik bir faktördür. Santrallerin kurulumu veya bakımı gerektiğinde, ulaşılabilirlikleri maliyetleri doğrudan etkiler. Yola olan mesafenin azalması, istasyonda çalışan personel ve gerekli ekipmanın taşınmasında maliyetleri düşürücü bir etki yaratmaktadır (Rediske vd. 2020; Günen 2021b; Akinci ve Özalp, 2022; Elboshy vd. 2022).

3.4.2.3. Yerleşim alanlarına uzaklık

Yer seçimi çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir kriter, yerleşim alanlarına olan uzaklıktır. GES kurulacak bölgenin kentsel alanlara yakın olması, enerji iletim maliyetini düşürme potansiyeli taşır. Ancak, santrallerin geniş alan gereksinimi ve kentsel büyüme gibi sorunlar göz önüne alındığında, bu tür alanlara yakın yerlerin tercih edilmemesi daha yaygındır (Colak vd. 2020; Rediske vd. 2020; Akinci ve Özalp 2022; Elboshy vd. 2022).

3.4.3. Topoğrafya faktörü

3.4.3.1. Eğim

Eğim, GES kurulumunda kritik bir faktördür. Düşük eğime sahip düz araziler, geniş ölçekli GES projeleri için ideal bir seçenektir (Rediske vd. 2020). Ancak, güneş panellerinin eğimli bir alana yerleştirilmesi durumunda, paneller arasında gölgelenme oluşabilir ve bu da enerji verimliliğini düşürebilir (Uyan 2017). Ayrıca, santralin kurulacağı bölgenin yüksek eğime sahip olması, kurulum sürecinde zaman kaybına ve artan maliyetlere neden olmaktadır (Colak vd. 2020; Rediske vd. 2020).

3.4.3.2. Bakı

Bakı, güneş ışığı süresi ve güneş radyasyonu miktarını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. GES'lerden maksimum verim elde etmek için, güney, güneydoğu ve güney batı cepheleri tercih edilmelidir. Türkiye'nin kuzey yarım kürede yer alması nedeniyle, güneş panellerinin güneye bakması daha fazla verimli çalışmasına neden olacaktır (Doorga vd. 2019; Akinci ve Özalp, 2022).

3.4.3.3. Yükseklik

Yükseklik kriteri, güneş radyasyonu miktarını etkileyerek GES yer seçiminde önemli bir rol oynamaktadır. Arazinin yüksek rakıma sahip olması, atmosfer kalınlığını azaltmakta ve aerosol kirliliğini azaltarak doğrudan güneş ışınlarının miktarını artırmaktadır. Bu durum, güneş radyasyonu alımını artırarak GES verimliliğini olumlu yönde etkilemektedir (Doorga ve vd. 2019; Tercan vd. 2021; Elboshy vd. 2022).

3.4.4. Çevre faktörü

3.4.4.1. Arazi kullanımı

Arazi kullanımı, GES projelerinin kurulacağı bölgeleri seçerken büyük öneme sahiptir. Özellikle büyük ölçekli GES projelerinde, tarım alanlarının seçimi, tarım verimliliğini olumsuz etkilememek adına dikkatlice ele alınmalıdır. Bu nedenle, genellikle orman ve tarım alanları, GES için uygun olmayan bölgeler olarak değerlendirilmektedir (Uyan 2017; Rediske vd. 2020).

3.5. İklim Faktörünün Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için BAHF kullanılarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve öznel bir değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Ancak, subjektif değerlendirmeler, çalışmanın doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Çalışmanın temel kriteri olan güneş ışıınımı miktarını etkileyebilecek bulut sıklığı oranı, sıcaklık ve su buharı yoğunluğu gibi faktörler, çalışmanın iklim boyutunu oluşturmaktadır. İklim boyutunu değerlendirmede subjektifliği azaltmak amacıyla, güneş ışıınımı miktarına etki eden kriterlerin birbirine göre önem ilişkisini belirlemek için regresyon analizi kullanılmıştır. İşlem aşamaları Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Makine öğrenmesi aşamaları

Veri toplama aşamasında, CBS veri tabanının oluşturulması bölümünde ifade edilen veri setleri kullanarak güneş ışıınımı, yıllık ortalama su buharı yoğunluğu, yıllık ortalama bulut sıklığı oranı ve yıllık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. CBS yazılımı aracılığıyla, her piksel için 250 m aralıklı belirlenmiş kriterlere dayalı piksel değerleri elde edildi ve sonuç olarak 457.327 satırdan oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında oluşturulan veri seti, rassal bir şekilde eğitim (%70) ve test (%30) kümelerine ayrılmıştır. Eğitim seti üzerinde, güneş ışıınımı tahminleri için çeşitli makine öğrenmesi regresyon yöntemleri test edilmiştir, bu yöntemler arasında rastgele orman (random forest), ekstra ağaçlar (extra trees) ve karar ağacı (decision tree) algoritmaları yer almaktadır.

3.5.1. Rastgele orman algoritması (Random forest)

Rastgele Orman algoritması (Random forest), Leo Breiman tarafından geliştirilen bir topluluk tabanlı makine öğrenimi algoritmasıdır (Breiman 2001) ve genellikle sınıflandırma, regresyon ve kümeleme gibi çeşitli görevlerde kullanılır. Temel çalışma prensibi, düşük kaliteli ancak çok sayıda karar ağacının birleşerek, topluluk olarak daha güçlü ve doğru sonuçlar üretmesine dayanır. Bu yaklaşım, bireysel ağaçların kalitesiz olma riskini azaltarak, topluluk olarak yüksek doğruluk seviyelerine ulaşmayı hedeflemektedir (Khalyasmaa vd. 2019).

3.5.2. Ekstra ağaçlar algoritması (Extra trees)

Rastgele orman algoritmasının bir türü olan ekstra ağaçlar algoritması (Extra trees), makine öğrenmesi alanında geliştirilmiş bir tekniktir. Benzer bir şekilde, karar ağaçları topluluğu fikrine dayanır. Bu algoritma, modeli eğitmek için veri setinden rastgele örnekler alır. Rastgele orman algoritmasının aksine, her bir regresyon ağacını eğitmek için tüm eğitim veri setini kullanır. Bu yaklaşım, modelin genel performansını artırmaya ve daha etkili sonuçlar elde etmeye yöneliktir (Ahmad vd. 2018).

3.5.3. Karar ağacı algoritması (Decision tree)

Karar ağacı algoritması (Decision tree), sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek üzere tasarlanmış bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bu algoritma, rastgele sayıda düğüme ve her düğümde dallara sahip bir ağaç veri yapısı şeklinde ifade edilir. Ağaç, bir kök düğüm (tüm verileri içeren), bir dizi iç düğüm (bölünmeler) ve bir dizi terminal düğümden (yapraklar) oluşur (Xu vd. 2005). Her iç düğüm, belirli bir fonksiyonla ilişkilendirilmiş ve girdi değişkenlerinin değerlerine göre iki veya daha fazla gruba ayrılmıştır. Bu gruplamalar, eğitim aşamasında belirlenen fonksiyonla ilgili olarak gerçekleşir. Karar ağacı oluşturulurken, algoritma, verilen örneklerden yola çıkarak uygunluk fonksiyonunu minimize etmeye çalışır ve en iyi karar ağacını elde etmeye odaklanır (Pekel, 2020).

3.5.4. Model değerlendirme

Bu bölümde, makine öğrenimi modellerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılan metrikler açıklanacaktır. Makine öğrenmesinde, oluşturulan modellerin performansını arttırmak için çoklu doğrusallık sorunun incelenmesi gerekmektedir. Çoklu doğrusallık sorununun tespiti için sıklıkla Varyans Artış Faktörü (VIF) ve Tolerans değeri metrikleri kullanılmaktadır. VIF, regresyon modellerinde varyansın ölçümü için kullanılan bir metriktir ve tahmin edilen regresyon katsayılarının varyansının, bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonun varlığı durumunda arttığını gösterir. Bu ölçüm, özellikle çoklu doğrusallık sorunlarını tespit etmek amacıyla kullanılır. Tolerans değeri ise, VIF'in tersi olarak tanımlanır ve bu değer ne kadar düşükse, çoklu doğrusallık o kadar yüksektir. VIF ve tolerans değerleri, denklem 3.1 kullanılarak hesaplanır (Shrestha, 2020). Genel olarak, çoklu doğrusal bağlantı sınırı için maksimum tolerans 1, maksimum VIF ise 10 olarak kabul edilir (Kim vd. 2014). Makine öğrenmesinin bir sonraki aşaması ise model performansının değerlendirilmesidir. Çalışmalarda, model performansını artırmak için parametreler, veri kümesine uygun şekilde ayarlanır. Bu araştırmada, oluşturulan modellerin performansı, literatürde yaygın olarak kullanılan değerlendirme kriterleri olan belirleme katsayısı (R^2), kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) gibi istatistiksel ölçütlerle değerlendirilmiş ve denklem 3.2, denklem 3.3, denklem 3.4, denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır (Chicco vd. 2021). R^2 , bir modelin başarısını değerlendiren bir ölçüdür. Bu katsayı, bağımlı değişkenin varyansının, kullanılan bağımsız değişkenler tarafından ne kadarının açıklanabildiğini gösterir. Değer 1'e yaklaştıkça, modelin bağımlı değişkenin varyansını daha etkili bir şekilde açıkladığı anlamına gelir (Chicco vd. 2021). RMSE, hatanın ortalama değerini 0 ile sonsuz arasında ölçer ve daha düşük değerler tercih edilir, çünkü bu, modelin tahminlerinin gerçek değerlere daha yakın olduğunu gösterir. MAPE, tahmin edilen değerlerin gerçek değerden ne kadar sapma gösterdiğini belirtir. Düşük MAPE değerleri, modelin daha doğru tahminler yaptığını gösterir (Yousif vd. 2019).

MAE, model değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan bir ölçüdür ve tüm mutlak hataların ortalamasını temsil eder (Zhou vd. 2019). Bu değerlendirme kriterleri, oluşturulan modellerin başarılarını çeşitli açılardan değerlendirmemize olanak tanır, böylece en etkili modeli belirleme de yardımcı olmaktadır.

Burada, X_i bağımsız değişkeni ve Y_i bağımlı değişkeni, $\bar{Y}$, bağımlı değişkenin ortalamasını, m ise gözlem sayısını ifade etmektedir (Chicco vd. 2021).

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} = \frac{1}{\text{Tolerance}} \quad 3.1.$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^m (\bar{Y} - Y_i)^2} \quad 3.2.$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_i - Y_i)^2} \quad 3.3.$$

$$MAE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |X_i - Y_i| \quad 3.4.$$

$$MAPE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right| \quad 3.5.$$

3.6. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi

Saaty tarafından geliştirilen AHP, günümüzde karmaşık karar verme problemleriyle başa çıkmak için sıkça tercih edilen bir ÇKKV yöntemi haline gelmiştir (Saaty 2008). AHP, karar vericilerin belirlenen kriterlerin göreceli ağırlıklarını değerlendirmelerine dayanır. Ancak, bu karşılaştırmalar, karar vericilerin problemle ilgili sağladığı bilgiye dayanır ve bu süreç sübjektifliği beraberinde getirir (Reig-Mullor vd. 2020). AHP yönteminin uzman görüşlerindeki öznellik avantaj olarak görülse de bu durum belirsizliğe neden olabilir. Uzmanların değerlendirmedeki belirsizliğinin göz ardı edilmesi, sonuçları olumsuz bir şekilde etkileyebilir (Arca vd. 2023). Bu olumsuzluğu aşmak için geliştirilen BAHP, karar vericilerin genellikle belirli bir değer yerine bir aralık içinde değerlendirme yapmanın daha doğru olduğunu düşündüğü hiyerarşik problemleri çözmek üzere ortaya çıkmıştır. BAHP, belirsizlikle başa çıkmak için bulanık küme teorisini ve bulanık sayıları kullanarak karar vericilerin belirsiz görüşlerini ele almaktadır (Reig-Mullor vd. 2020). Bulanık küme teorisi, elemanların bir küme içindeki üyelik derecelerini aşamalı olarak değerlendirmeye imkan tanır ve bu üyeliği bir üyelik fonksiyonu kullanarak ifade eder. Bu teori, belirsizlikle başa çıkmak ve insan mantığının belirsizliğini işlemek için Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir (Kubler vd. 2016). Literatürde, Van Laarhoven, Pedrycz ve Buckley, üçgensel bulanık sayıları kullanarak ikili karşılaştırma gerçekleştiren ilk araştırmacılarıdır (Van Laarhoven ve Pedrycz 1983).

Bu çalışmaların etkisi altında, ikili karşılaştırmalarda bulanık sayıların kullanımını ele alan birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin, van Laarhoven ve Pedrycz (1983)'de üçgensel bulanık ağırlıkları elde etmek için bulanık logaritmik en küçük kareler yöntemini önermiştir. Buckley (1985), bulanık ağırlıkları hesaplamak için geometrik ortalama yöntemini kullanmıştır. Chang (1996), çiftli karşılaştırmalardan net ağırlıklar türeten genişlik analizi yöntemini önermiştir. Bu yöntemler arasında Chang'ın genişlik analizi yöntemi, uygulamasının basitliği nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir, ancak teorik zorluklar içermektedir (Kubler vd. 2016). Bu çalışmada, kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için Buckley'in geometrik ortalama yöntemi kullanılacaktır.

3.6.1. Kriterlerin ağırlıklandırılması

Bu bölümde, Buckley tarafından geliştirilen BAHP yöntemlerinden biri olan geometrik ortalama yönteminin uygulanması anlatılacaktır.

İlk aşama, hedefin belirlenmesi ve ardından hiyerarşik yapının oluşturulmasıdır. Bu yapı, çeşitli kriterlerin ve bunlara karşılık gelen alternatiflerin tanımlanmasını içermektedir (Zalhaf vd. 2022).

İkinci aşama, karar vericilerin kendi değerlendirmelerini ifade etmeyi amaçlayan bir ikili karşılaştırma matrisi oluşturmaktır. Bu matris, hedefle ilgili kriterlerin göreceli önemini açıklamak için Çizelge 3.3'te yer alan dilsel ifadelerin, üçgensel bulanık sayılarını içermektedir (Zalhaf vd. 2022).

Çizelge 3.3. BAHP ikili karşılaştırma ölçeği (Kaganski vd. 2018)

Dilsel ifadeler	Üçgensel bulanık sayılar	Karşılıklı bulanık
Eşit derecede önemli	1,1,1	1,1,1
Ara Değer	1,2,3	1/3, 1/2, 1
Biraz önemli	2,3,4	1/4, 1/3, 1/2
Ara değer	3,4,5	1/5, 1/4, 1/3
Önemli	4,5,6	1/6, 1/5, 1/4
Ara değer	5,6,7	1/7, 1/6, 1/5
Kesinlikle önemli	6,7,8	1/8, 1/7, 1/6
Ara değer	7,8,9	1/9, 1/8, 1/7
Son derece önemli	9,9,9	1/9, 1/9, 1/9

Üçüncü aşama, ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığının değerlendirilmesidir. Karşılaştırmalardaki tutarsızlıklar, tutarlılık oranı (CR) 0.1 olarak belirlenen önceden tanımlanmış aralıkta kalıyorsa, matris tutarlı kabul edilir. Ancak, tutarlılık oranı bu eşiğin üzerine çıkarsa, karar vericilerin kararlarını yeniden değerlendirmeleri gerekir. Tutarlılık oranını hesaplamak için Denklem 3.6 kullanılmaktadır. Bu denklem, eşdeğerlik endeksi (CI), matris boyutuna bağlı rastgele endeks (RI) ve karşılaştırma matrisinin ana özdeğerini (λ_m) içermektedir (Zalhaf vd. 2022).

$$CR = \frac{CI}{RI}, CI = \frac{\lambda_m - n}{n - 1} \quad 3.6.$$

Beşinci aşama, karar vericilerin değerlendirmelerini tek bir bulanık ikili karşılaştırma matrisinde birleştirmeyi içermektedir. Farklı karar vericilerin değerlendirmelerini birleştirmek için denklem 3.7'deki geometrik ortalama yöntemi kullanılır ve F_i 'nin F_j üzerindeki birleştirilmiş göreceli önemi elde edilir (Zalhaf ve ark., 2022).

$$\begin{aligned} \widetilde{F}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, h_{ij}) &= \left(\prod_{k=1}^n \widetilde{F}_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\widetilde{F}_{ij}^{(1)} \otimes \widetilde{F}_{ij}^{(2)} \otimes \dots \otimes \widetilde{F}_{ij}^{(n)} \right)^{\frac{1}{n}} \\ &= \left[\left(\prod_{k=1}^n l_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{n}}, \left(\prod_{k=1}^n m_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{n}}, \left(\prod_{k=1}^n h_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \end{aligned} \quad 3.7.$$

Altıncı aşama, her bir kriterin bulanık ağırlıklarının belirlenmesini içerir. Her bir kümenin ağırlığı, denklem 3.8'de tanımlanan geometrik ortalama yöntemi kullanılarak hesaplanır (Zalhaf vd. 2022).

$$\begin{aligned} \widetilde{F}_i &= (\widetilde{F}_{i1} \otimes \widetilde{F}_{i2} \otimes \dots \otimes \widetilde{F}_{ix})^{\frac{1}{x}} \\ \widetilde{W}_i &= \frac{\widetilde{F}_i}{\sum_{j=1}^F \widehat{F}_j} \end{aligned} \quad 3.8.$$

Yedinci aşama, bulanık ağırlıkların belirgin ağırlıklara dönüştürülmesini içerir. Altıncı aşamada hesaplanan bulanık ağırlıkların, kısmen yönlendirilmiş olmaları sebebiyle değerlendirilmeleri zordur. Bu nedenle, bulanık ağırlıkları daha kesin ağırlıklara dönüştürmek, karşılaştırmaları daha doğru hale getirmek için önemlidir. Bu amaçla, bulanık ağırlıkların belirgin ağırlıklara dönüştürülmesinde merkez noktası yöntemi kullanılmaktadır. Denklem 3.9 kullanılarak hesaplanmaktadır (Zalhaf vd. 2022).

$$W^* = \frac{1 + m + h}{3} \quad 3.9.$$

Son aşamada, elde edilen ağırlıklar normalize edilir, böylece tüm ağırlıkların toplamı 1'e eşit hale getirilir (Zalhaf vd. 2022).

Bu çalışmada, kriterlerin kıyaslanması aşamasında, iklim faktörünü oluşturan değişkenler makine öğrenimi sonuçlarıyla değerlendirilmiş; ekonomi, topoğrafya ve çevre faktörlerine ilişkin faktörler ise literatür gözlemleri ile enerji mühendisleri, çevre mühendisleri, jeoloji mühendisleri ve şehir planlamacılarından oluşan 7 uzmanın görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bulgular sentezlenerek kriterler, Çizelge 3.3'te belirtilen ölçeğe göre kıyaslanmıştır.

3.7. Coğrafi Bilgi Sistemleri Veri Tabanının Oluşturulması

Bu bölümde, GES yer seçimi için belirlenen kriterler ve kısıtlama faktörleri doğrultusunda CBS kullanılarak mekansal bir veri tabanı oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, GES kurulmasının uygun olmadığı alanları belirlemek amacıyla Çizelge 3.4'te belirtilen veri setleri mekansal yapıda elde edilmiş ve analiz aşamasına hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 3.4. Kısıtlama faktörleri için veri kaynağı ve tipi

Kısıtlama Faktörleri	Veri Tipi	Kaynak
Ana yollar	Vektör	OpenStreetMap 2006
Yerleşim alanları	Raster	Esri-Sentinel 2 LULC 2023
Faylar	Vektör	Maden Tetkik ve Arama (MTA)
Maden sahaları	Vektör	CORINE 2018
Güneş ışınlımı	Raster	SolarGIS 2020

Kısıtlı alanların belirlenmesi aşamasında, daha önce belirlenen tampon mesafelerini uygulamak için "Buffer" aracı kullanılmış ve kısıtlı alanlar belirlenmiştir.

GES için en uygun alanların belirlenmesinde etkili olan kriterlere ait veri setleri farklı kaynaklardan elde edilmiş ve analiz aşamasına hazır hale getirilmiştir; bu verilere ait kaynaklar Çizelge 3.5'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için kullanılan veri setleri

Kriter	Tipi	Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Kaynak
Güneş ışıınımı (kWh/m ²)	Raster	250x250 m	1994-2018	SolarGIS 2020
Yıllık ortalama sıcaklık (°C)		1x1 km	1994-2018	
Yıllık ortalama bulut sıklığı oranı (%)	Raster	1x1 km	2000-2014	EarthEnv 2016
Yıllık ortalama su buharı yoğunluğu (mol/m ²)	Raster	1x1 km	2019-2023	Sentinel-5
Ana yollara uzaklık (m)	Raster	250x250m	-	OpenStreetMap 2006
Enerji iletim hatlarına uzaklık (m)				
Yerleşim alanlarına uzaklık (m)	Raster	250x250m	2022	Esri-Sentinel 2 LULC 2023
Eğim (°)	Raster	30x30 m	-	SRTM
Bakı		30x30 m		
Yükseklik (m)		30x30 m		
Arazi kullanımı	Raster	10x10m	2022	Esri-Sentinel 2 LULC 2023

Uygun alanların tespiti aşamasında kullanılacak olan kriterlerin raster yapıda olması gerekliliği nedeniyle, vektör yapıda olan veriler için bazı analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, ana yollara, enerji iletim hatlarına ve yerleşim alanlarına olan mesafeyi belirlemek için "Euclidean Distance" yöntemi kullanılmış ve 250x250 m mekansal çözünürlükte mesafe verileri elde edilmiştir. Sonrasında elde edilen tüm raster verileri, çalışmanın ana kriteri olan güneş ışıınımı verisinin çözünürlüğü ile uyumlu hale getirilmesi amacıyla 'Resample' işlemi uygulanarak 250x250 m çözünürlüğe getirilmiştir. Son olarak, oluşturulan raster yapıdaki verilerin farklı değer aralıklarına sahip olması sebebiyle, her bir veri 0 ile 1 aralığında yeniden ölçeklendirilmiştir. Bulut sıklığı oranı, su buharı yoğunluğu, ana yollara, enerji iletim hatlarına ve yerleşim alanlarına uzaklık ile eğim kriterlerini içeren raster yapıdaki verilerin piksel değerlerinin tersi alınmıştır. Burada değerler 1'e yaklaştıkça güneş enerjisi için uygunluk artmaktadır. Batı Akdeniz Bölgesi'nde GES için uygun alanları belirlemek amacıyla CBS ortamında mekansal bir veri tabanı oluşturulmuştur. Sonuç olarak, her bir kriter için BAHF ile hesaplanan ağırlık değerleri, ağırlıklı bindirme analizinde kullanılarak GES duyarlılık haritası elde edilmiştir.

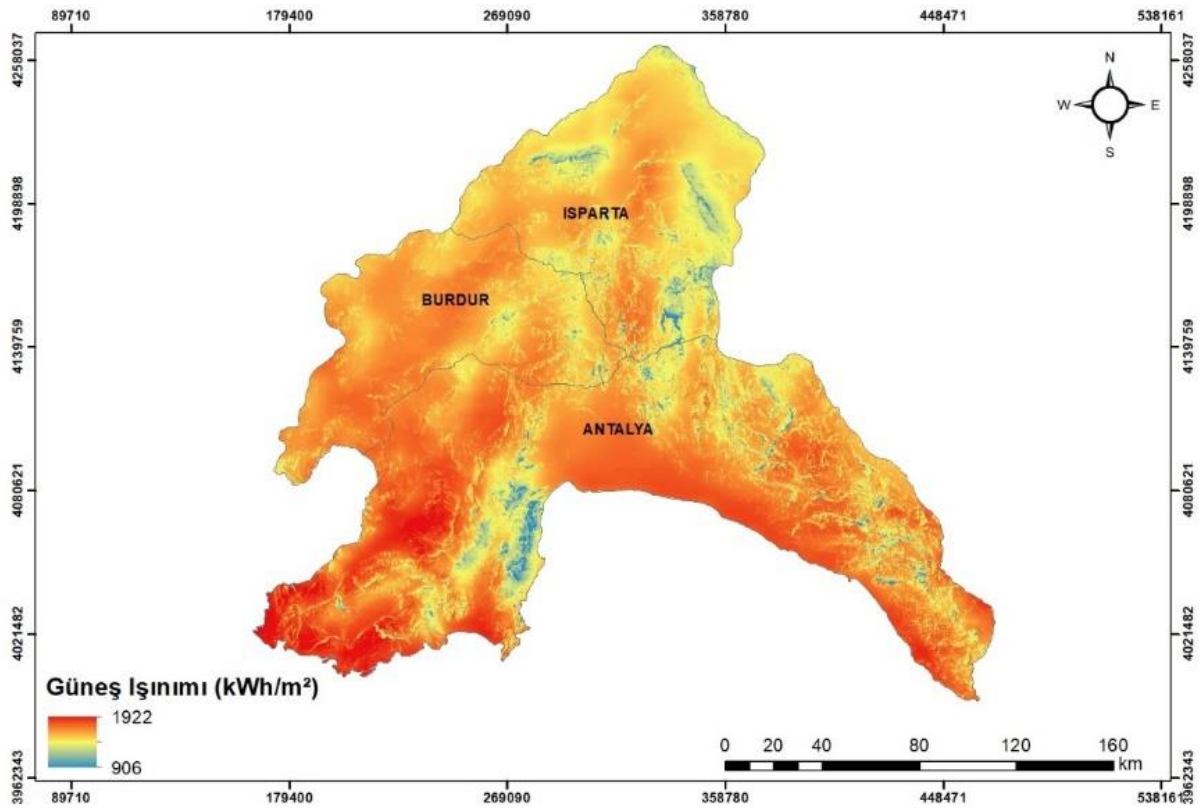
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçimi için Belirlenen Kriterlerin Mekansal Analizi

Bu bölümde, Batı Akdeniz Bölgesi'nde GES için uygun alanları belirlemek amacıyla daha önceki bölümlerde belirlenen kriterlerin CBS ortamında yapılan mekansal analiz bulgularına değinilecektir.

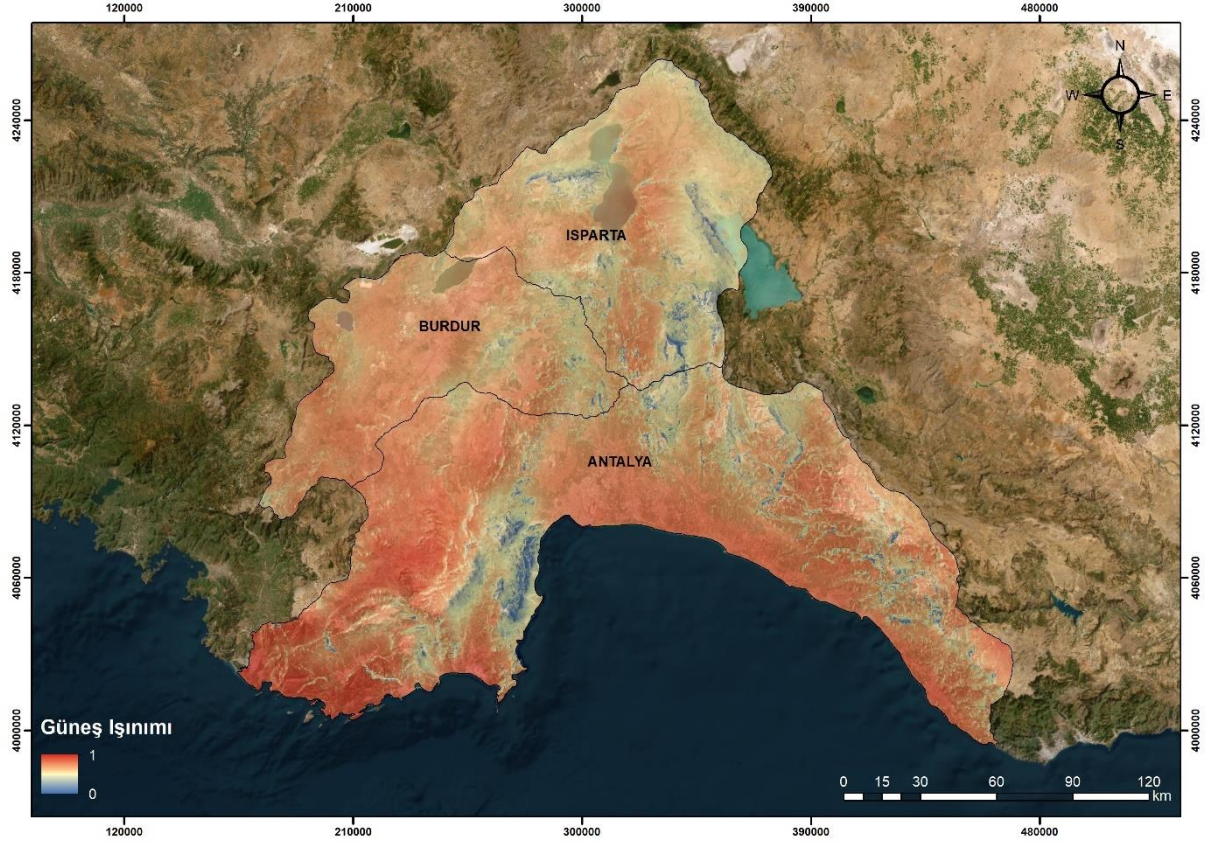
4.1.1. Güneş ışıınımı

Batı Akdeniz Bölgesi'nde, özellikle Antalya'nın güneybatısında, yüksek güneş ışıınım seviyeleri gözlenmiştir (Şekil 4.1). Maksimum güneş ışıınım değeri 1922 kWh/m² olup, bu durum bölgenin güneş enerjisi üretimi için çok uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.1. Batı Akdeniz Bölgesi güneş ışıınımı haritası

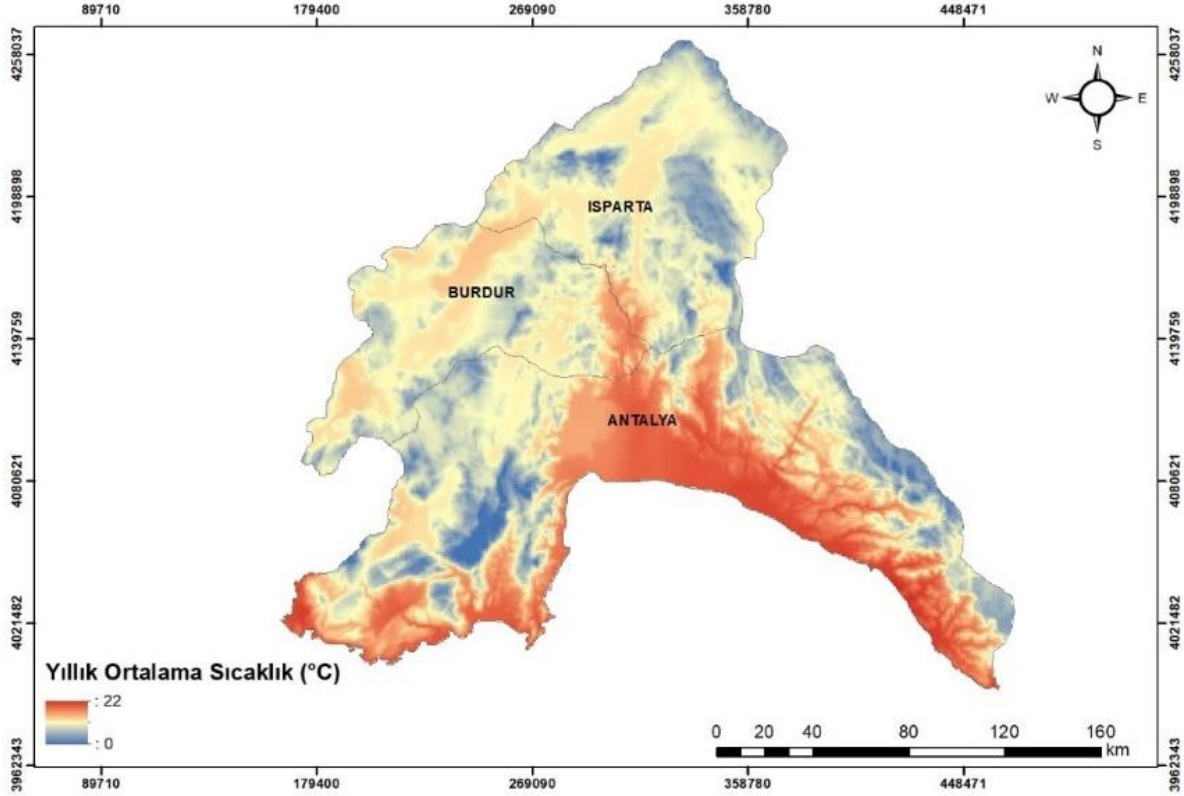
Güneş ışıınımlı açısından GES uygunluk haritası Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Haritadaki değlerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiş olup, değlerler 1'e yaklaştıkça güneş ışıınımlı miktartı artmaktadır. Bu durumda, GES için uygunluk da artmaktadır.



Şekil 4.2. Batı Akdeniz Bölgesi güneş ışıınımlı açısından GES uygunluk haritası

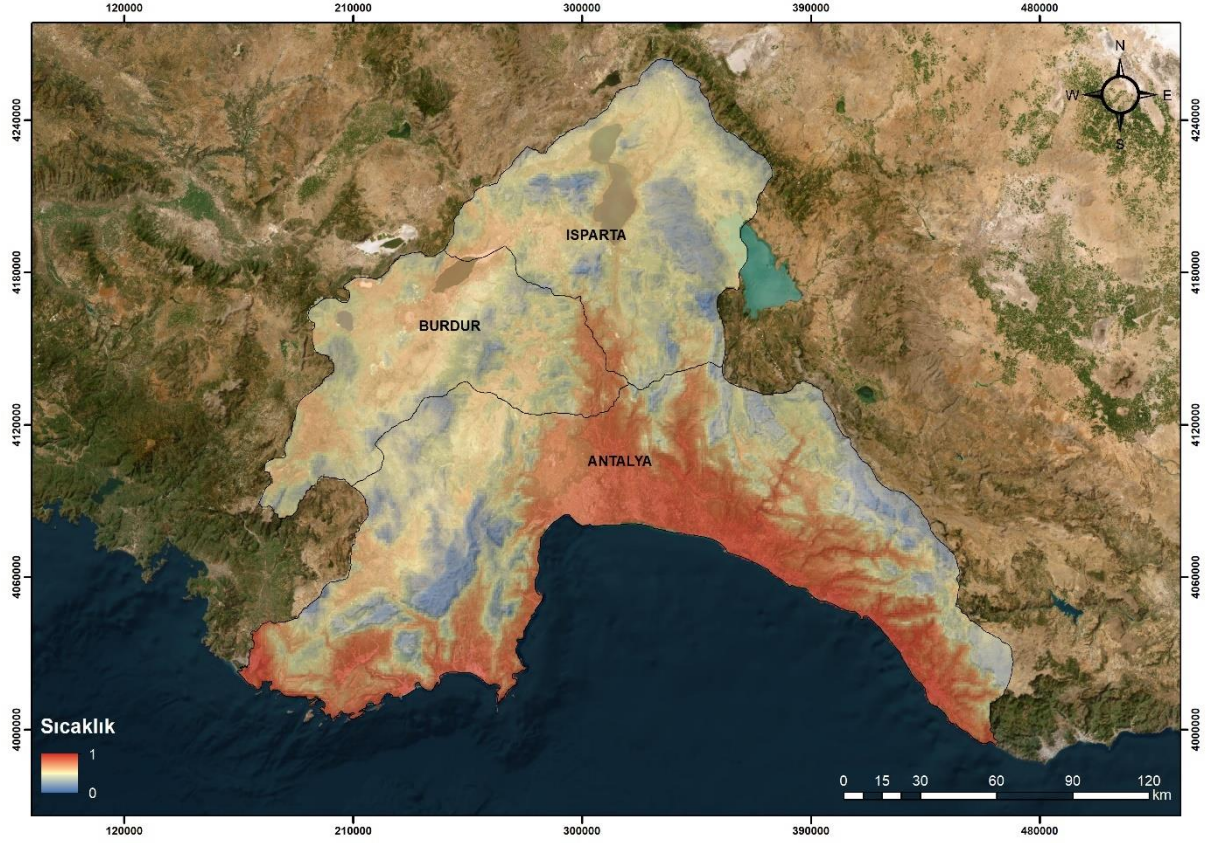
4.1.2. Yıllık ortalama sıcaklık

Batı Akdeniz Bölgesi'nin yıllık ortalama sıcaklık haritasına göre, bölgedeki maksimum sıcaklık değeri 22°C olarak belirlenmiştir (Şekil 4.3). Bu kapsamda, Antalya şehir merkezi ve kıyı bölgeleri, bölgedeki en yüksek sıcaklık değerlerine sahip alanlar arasında öne çıkmaktadır. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, sıcaklığın belirli bir sınırın üzerine çıkması durumunda GES'in verimliliği düşmektedir. Çalışma alanında sıcaklığın 25°C'nin üzerine çıkmadığı göz önüne alındığında, sıcaklığın artışı olumlu bir etki olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.3. Batı Akdeniz Bölgesi yıllık ortalama sıcaklık haritası

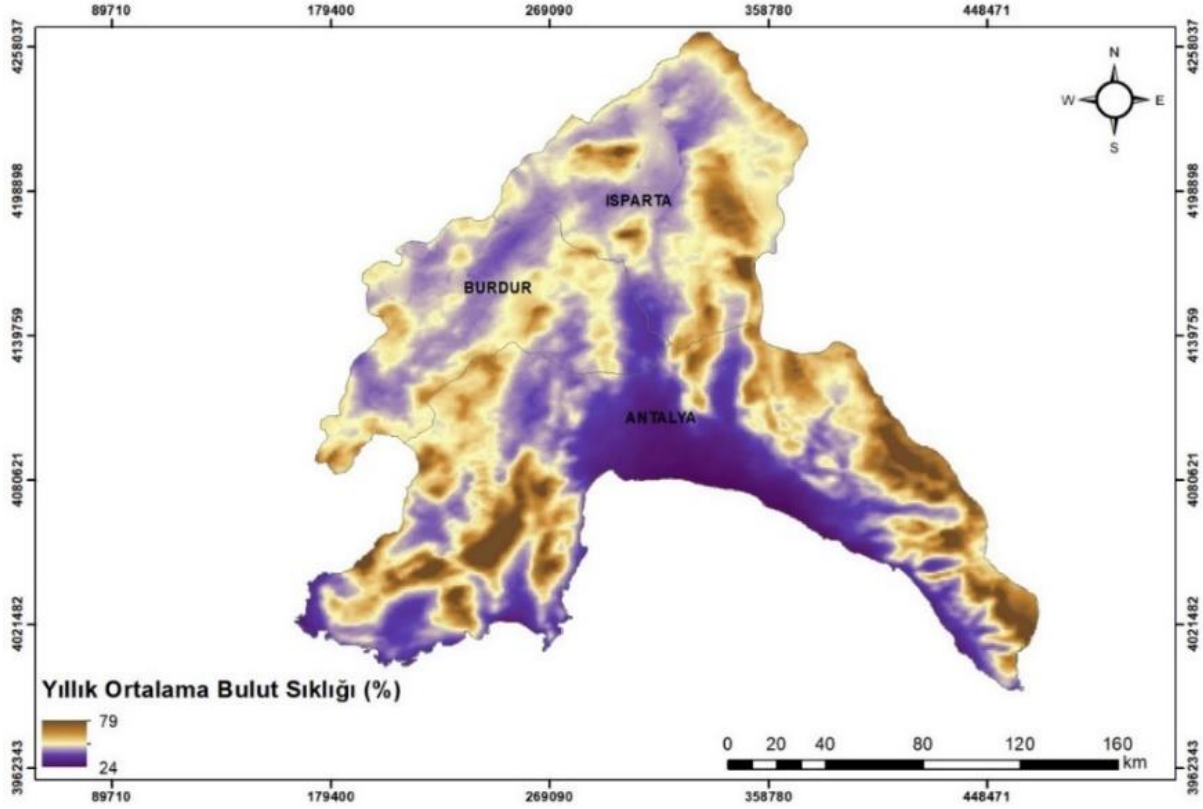
Sıcaklık açısından GES uygunluk haritası Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Haritadaki değerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiş olup, değerler 1'e yaklaştıkça sıcaklık derecesi artmaktadır. Dolayısıyla, GES için uygunluk da artmaktadır.



Şekil 4.4. Batı Akdeniz Bölgesi sıcaklık açısından GES uygunluk haritası

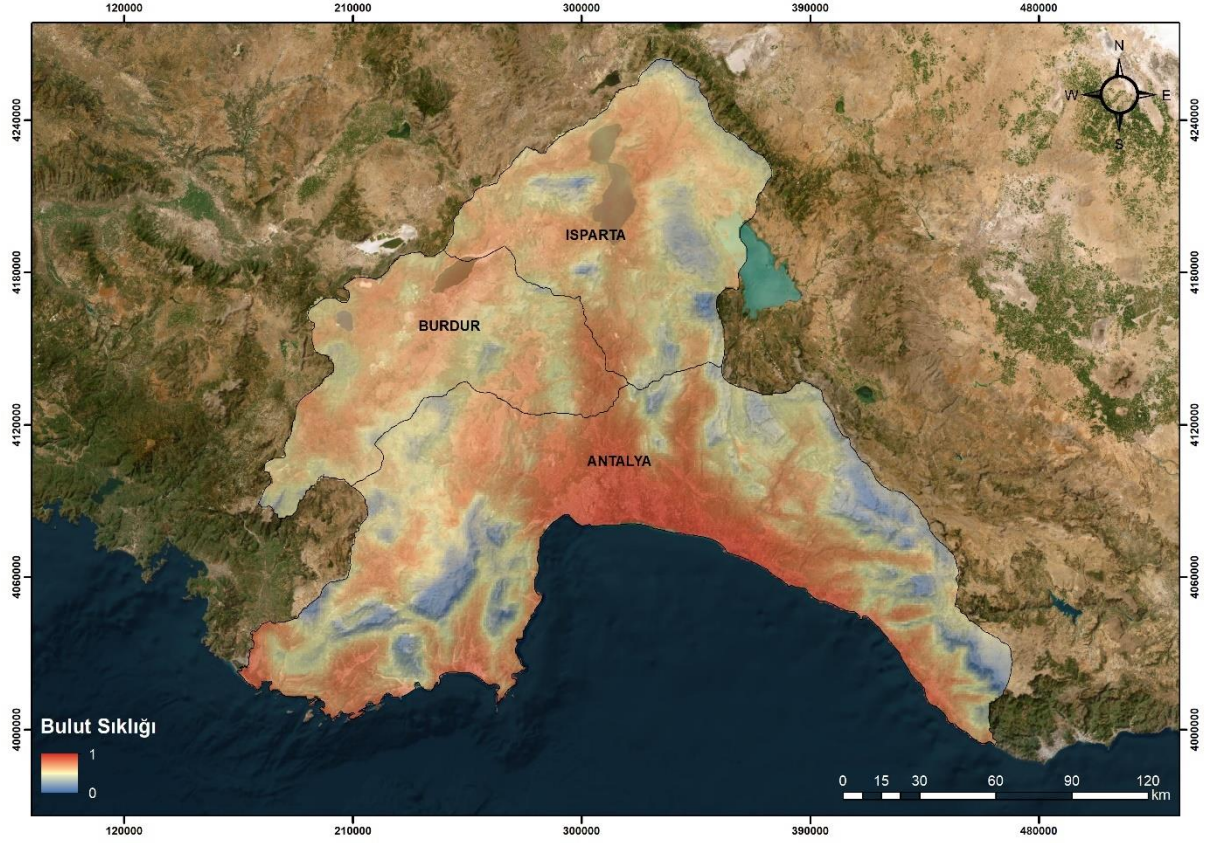
4.1.3. Yıllık ortalama bulut sıklığı oranı

EarthEnv projesi kapsamında, MODIS verilerinden oluşturulmuş yıllık ortalama bulut sıklığı oranı haritasına göre, Batı Akdeniz Bölgesi'nde yıllık ortalama bulut sıklığı oranı %79'a kadar çıkabilen bölgeler belirlenmiştir (Şekil 4.5). Genel olarak, bulut sıklığı oranı yönsel olarak düzensiz bir dağılım sergilemektedir, ancak çalışma alanının doğu kısımlarında ve Antalya'nın güneybatısında yüksek bulut sıklığı oranı belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. Batı Akdeniz Bölgesi yıllık ortalama bulut sıklığı oranı haritası

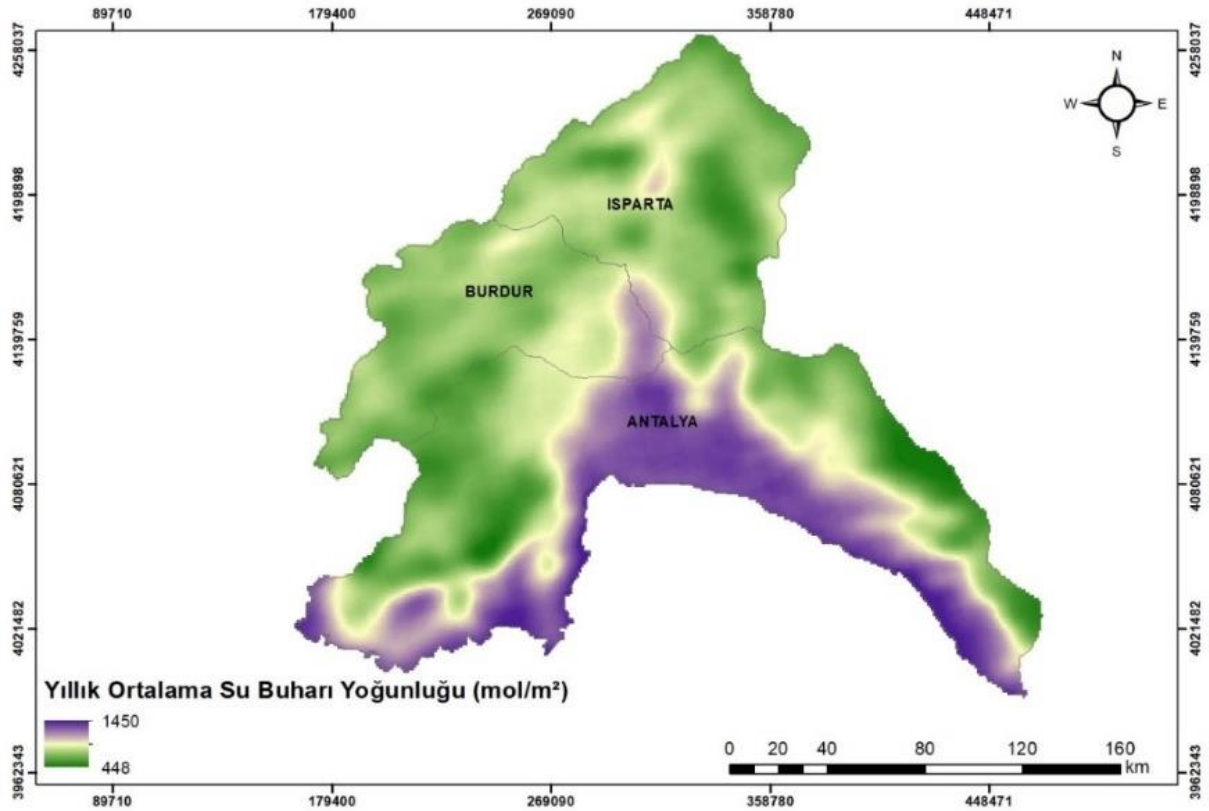
Bulut sıklığı açısından GES uygunluk haritası Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Haritadaki değerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiş olup, değerler 1'e yaklaştıkça bulut sıklığı oranı düşmektedir. Bu durumda, GES için uygunluk artmaktadır.



Şekil 4.6. Batı Akdeniz Bölgesi bulut sıklığı açısından GES uygunluk haritası

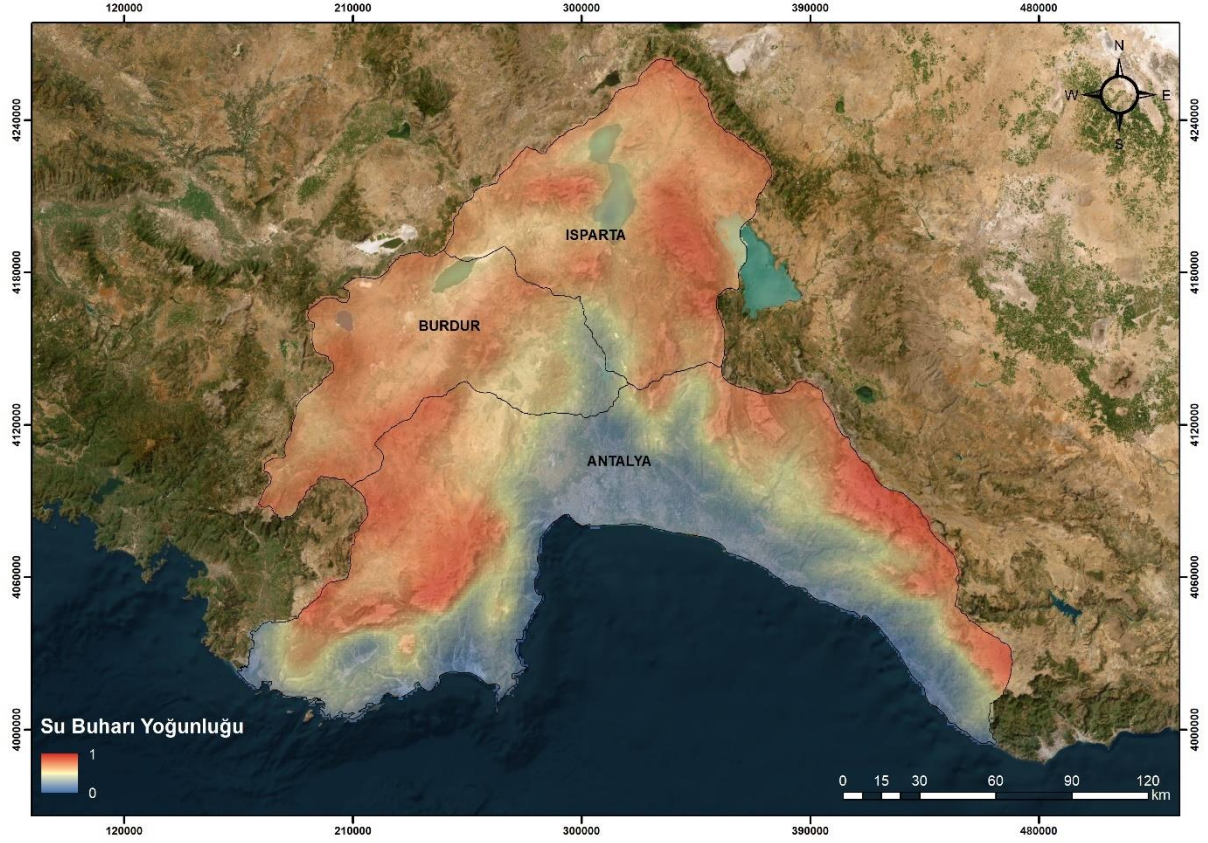
4.1.4. Yıllık ortalama su buharı yoğunluğu

Sentinel 5 uydu verileri kullanılarak elde edilen yıllık ortalama su buharı yoğunluğu haritasına göre, Antalya ili merkezi ve kıyılarında su buharı yoğunluğunun, denize kıyısı olması nedeniyle diğer bölgelere kıyasla belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.7). Bu etki, özellikle Burdur ve Isparta illerini içine alan Antalya sınırlarındaki bölgede de belirgin bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, Isparta ilinde yer alan Eğirdir Gölü'nün, su buharı yoğunluğu üzerinde açıkça bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bölge genelinde su buharı yoğunluğunun 1450 mol/m² civarına kadar ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. Batı Akdeniz Bölgesi yıllık ortalama su buharı yoğunluğu

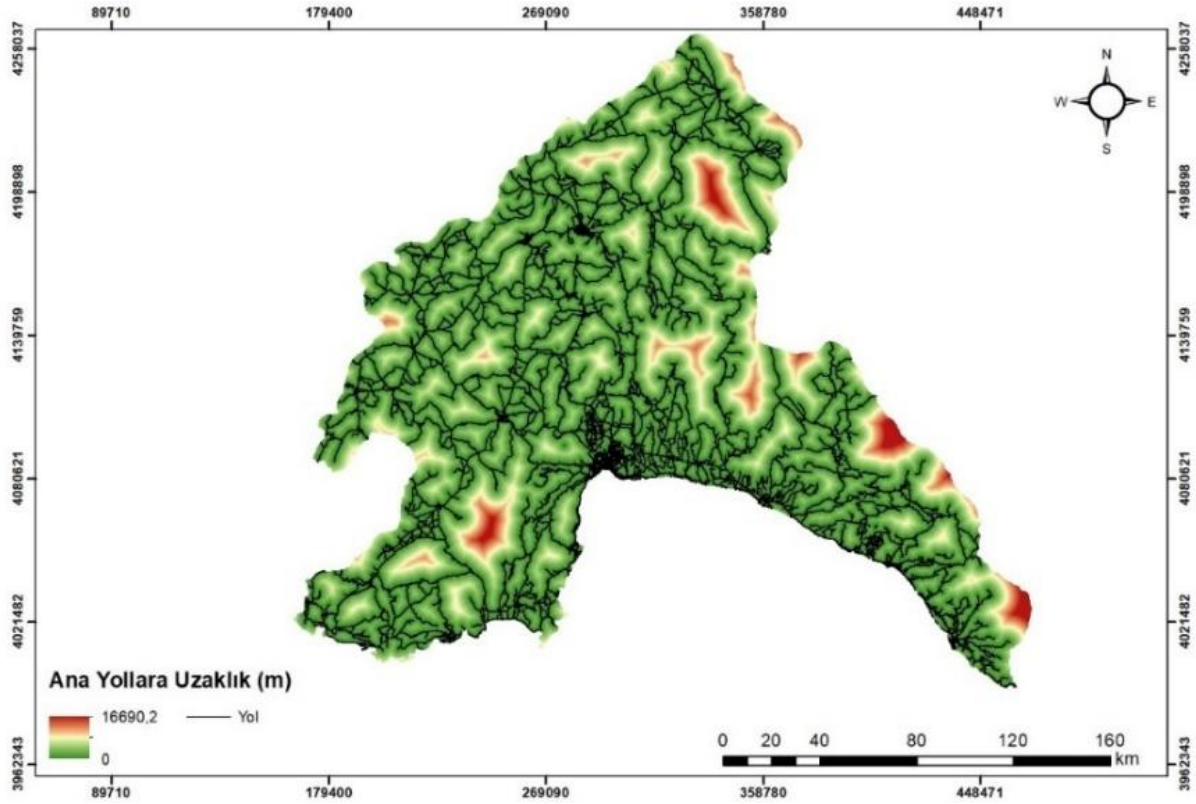
Su buharı yoğunluğu açısından GES uygunluk haritası Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Haritadaki değerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiş olup, değerler 1'e yaklaştıkça su buharı yoğunluğu azalmaktadır. Bu durumda, GES için uygunluk artmaktadır.



Şekil 4.8. Batı Akdeniz Bölgesi su buharı yoğunluğu açısından GES uygunluk haritası

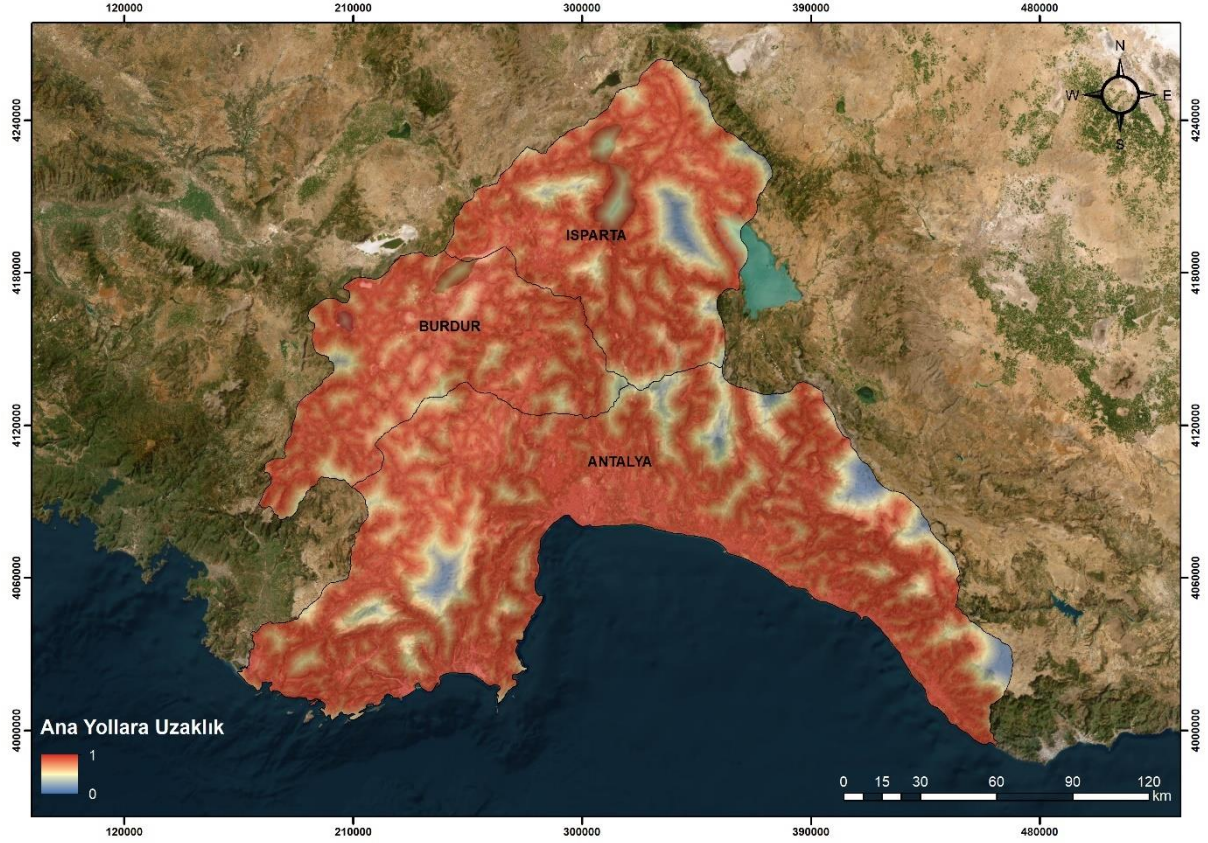
4.1.5. Ana Yollara Uzaklık

Batı Akdeniz Bölgesi'ndeki illerin ana yol güzergahlarını belirlemek için OpenStreetMap verileri kullanılmış ve yol güzergahları üzerinde “Euclidian Distance” yöntemi uygulanarak 250 metre aralıklı ana yollara uzaklık haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.9). Yapılan analizler sonucunda bölgedeki yollar arasındaki en uzak mesafenin yaklaşık 17 kilometre olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Batı Akdeniz Bölgesi'nin ana yollara uzaklık haritası

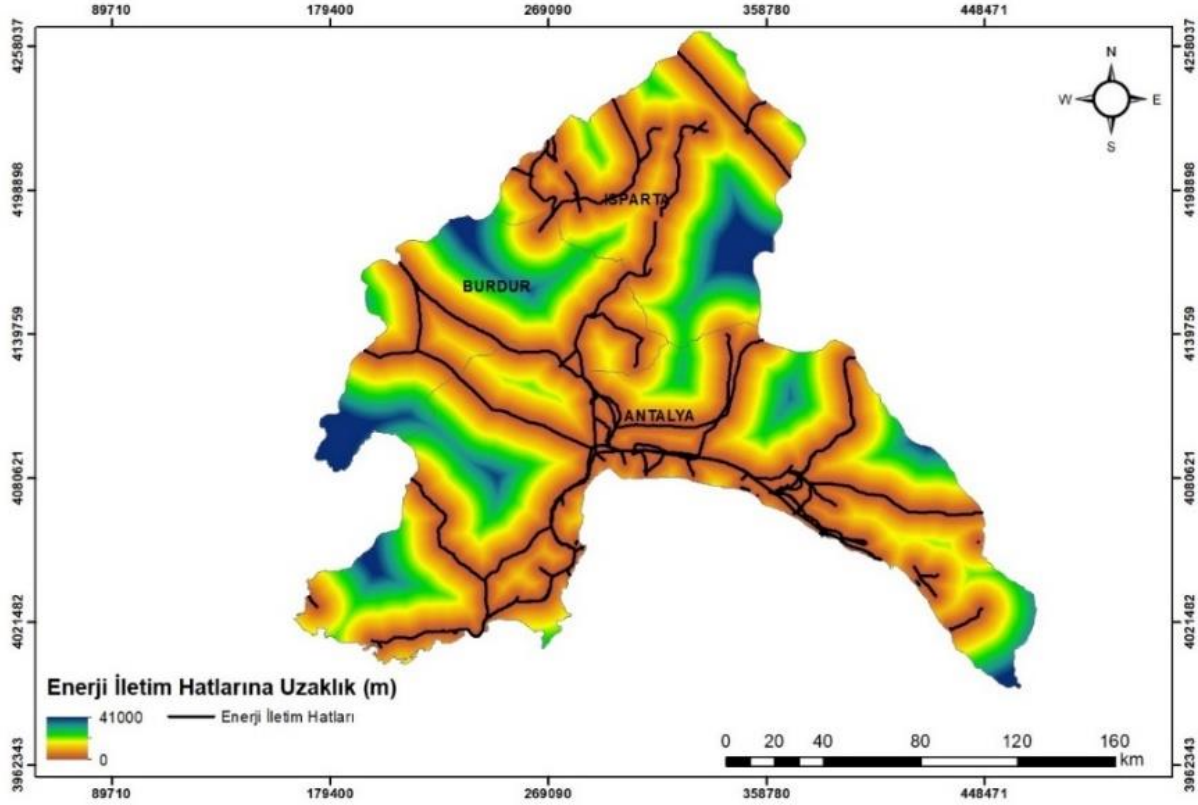
Ana yollara uzaklık açısından GES uygunluk haritası Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Haritadaki değerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiş olup, değerler 1'e yaklaştıkça ana yollara olan mesafe azalmaktadır. Dolayısıyla, GES için uygunluk artmaktadır.



Şekil 4.10. Batı Akdeniz Bölgesi ana yollara uzaklık açısından GES uygunluk haritası

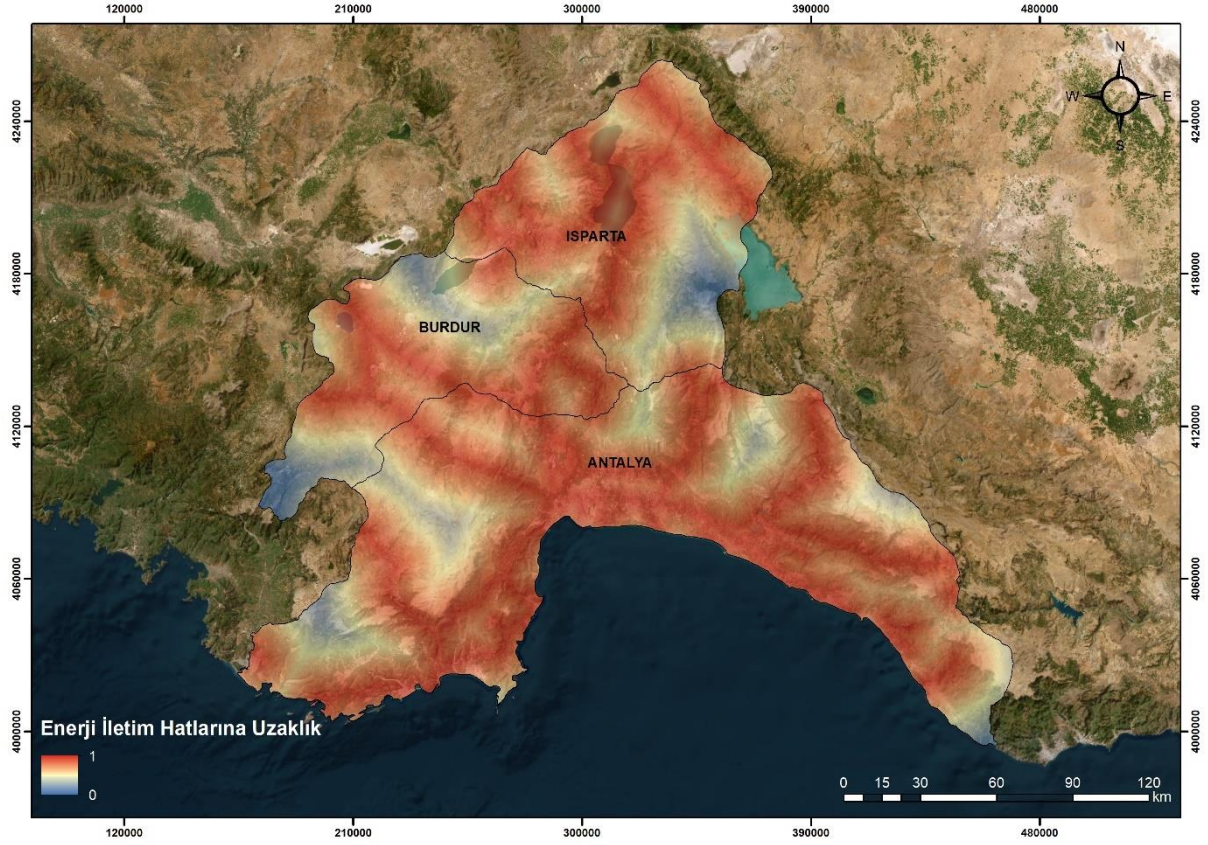
4.1.6. Enerji iletim hatlarına uzaklık

Çalışma kapsamında, enerji iletim hatlarını belirlemek amacıyla OpenStreetMap verilerinden faydalanılmış ve Batı Akdeniz Bölgesi'nde bulunan enerji iletim hatları tespit edilmiştir. Enerji iletim hatlarına olan mesafeleri belirlemek için “Euclidean Distance” yöntemi kullanılmış ve 250 metre aralıklarla enerji iletim hatlarına olan mesafeleri içeren bir harita oluşturulmuştur (Şekil 4.11). Yapılan analizler sonucunda, bölgedeki enerji iletim hatlarına en uzak mesafenin 41 kilometre olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Batı Akdeniz Bölgesi'nin enerji iletim hatlarına uzaklık haritası

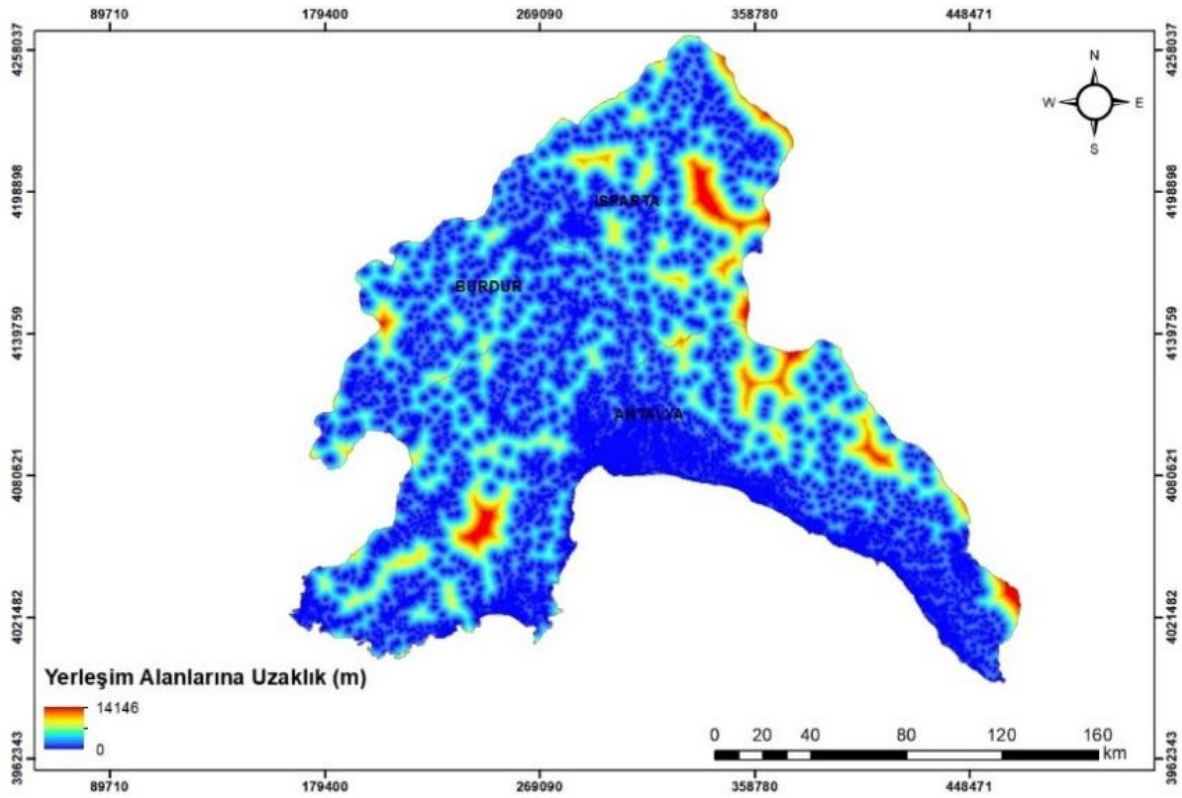
Enerji iletim hatlarına uzaklık açısından GES uygunluk haritası Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Haritadaki değerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiş olup, değerler 1'e yaklaştıkça enerji iletim hatlarına olan mesafe azalmaktadır. Bu durumda, GES için uygunluk artmaktadır.



Şekil 4.12. Batı Akdeniz Bölgesi enerji iletim hatlarına uzaklık açısından GES uygunluk haritası

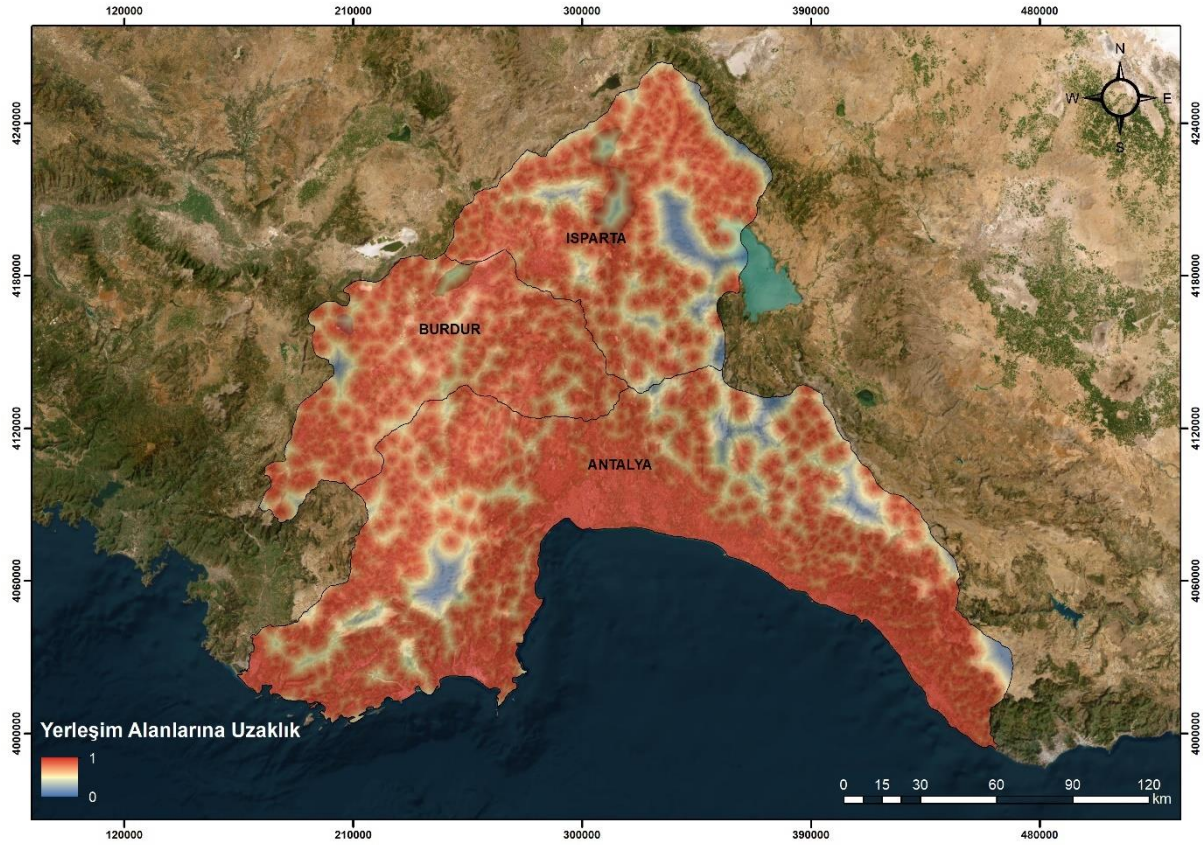
4.1.7. Yerleşim alanlarına uzaklık

Batı Akdeniz Bölgesi'ndeki yerleşim alanlarını belirlemek amacıyla, Sentinel 2 Arazi kullanımı verileri kullanılmıştır. Elde edilen raster verisi, vektör veri yapısına dönüştürülmüş ve yerleşim alanları maskelenmiştir. Bir sonraki aşamada, “Euclidean Distance” yöntemi kullanılarak 250 metre aralıklarla yerleşim alanlarına olan mesafeleri içeren bir harita oluşturulmuştur (Şekil 4.13). Analiz sonuçlarına göre, bölgedeki yerleşim alanlarına olan en uzak mesafenin 14 kilometre olduğu belirlenmiştir. Yerleşim alanlarına yakın olmanın getirdiği olumsuzluklar, kısıtlama faktörlerinde belirtilen tampon mesafesiyle engellenmiş ve çalışma alanında yerleşim alanlarına olan mesafenin azalması GES için olumlu olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.13. Batı Akdeniz Bölgesi'nin yerleşim alanlarına uzaklık haritası

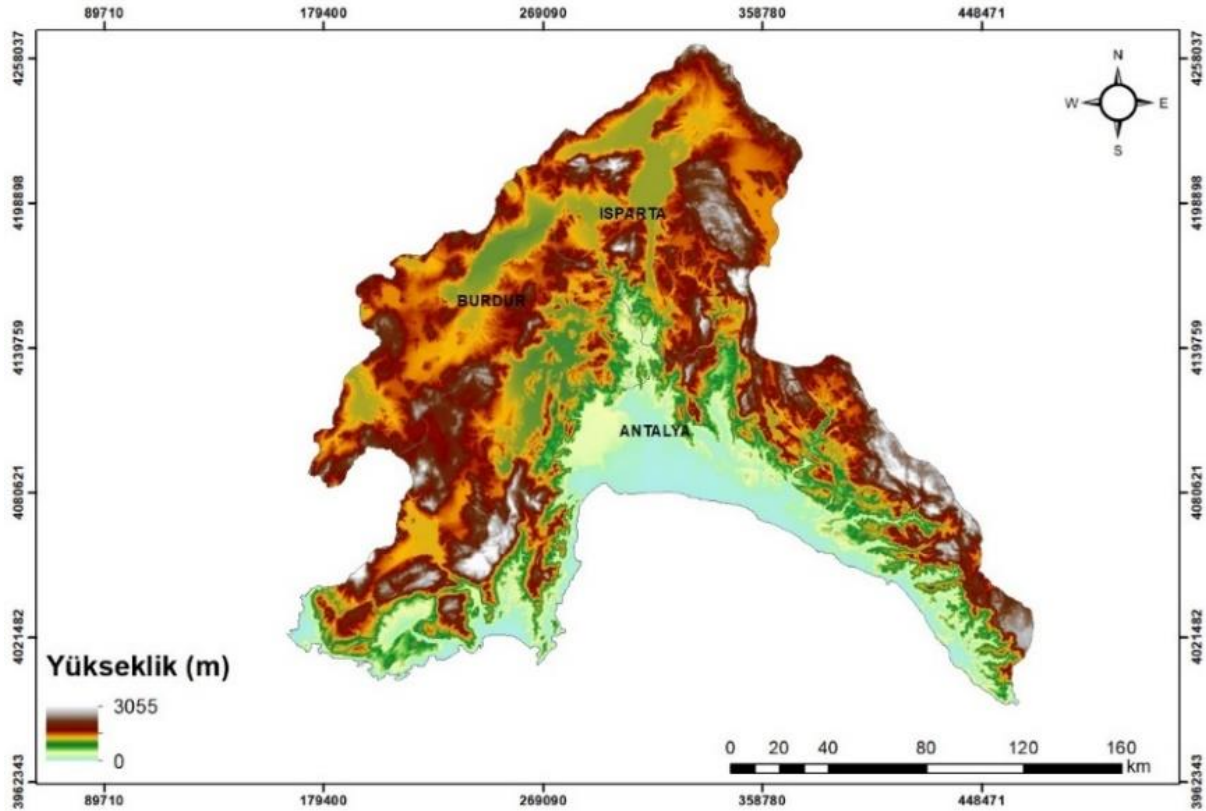
Yerleşim alanlarına uzaklık açısından GES uygunluk haritası Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Haritadaki değerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiş olup, değerler 1'e yaklaştıkça yerleşim alanlarına olan mesafe azalmaktadır. Bu durumda, GES için uygunluk artmaktadır.



Şekil 4.14. Batı Akdeniz Bölgesi yerleşim alanlarına uzaklık açısından GES uygunluk haritası

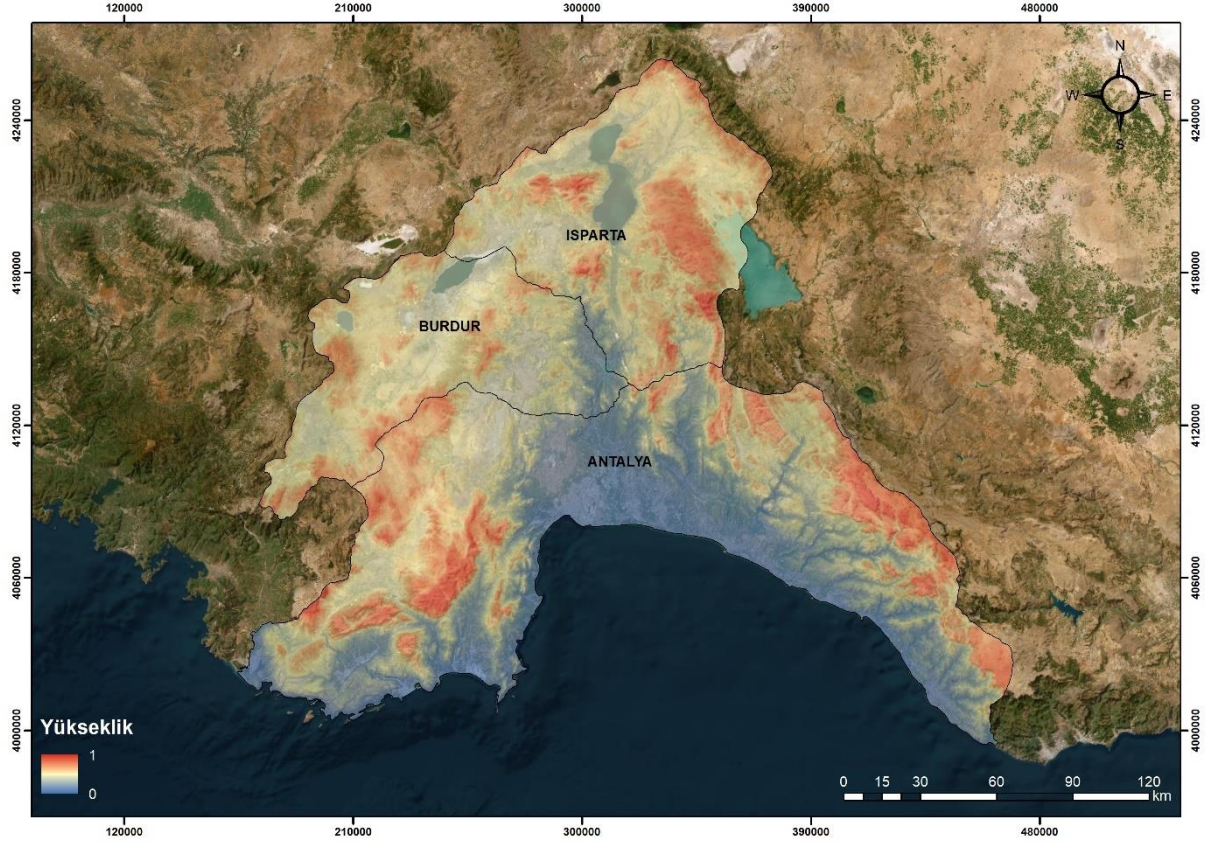
4.1.8. Yükseklik

Batı Akdeniz Bölgesi'nin topoğrafik özelliklerini değerlendirmek amacıyla, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) projesi kapsamında oluşturulan sayısal arazi modeli kullanılmış ve bölgenin yükseklik bilgilerini içeren harita oluşturulmuştur (Şekil 4.15). Yükseklik haritasına göre, bölgede en yüksek rakıma sahip bölge 3055 metre olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. Batı Akdeniz Bölgesi'nin yükseklik haritası

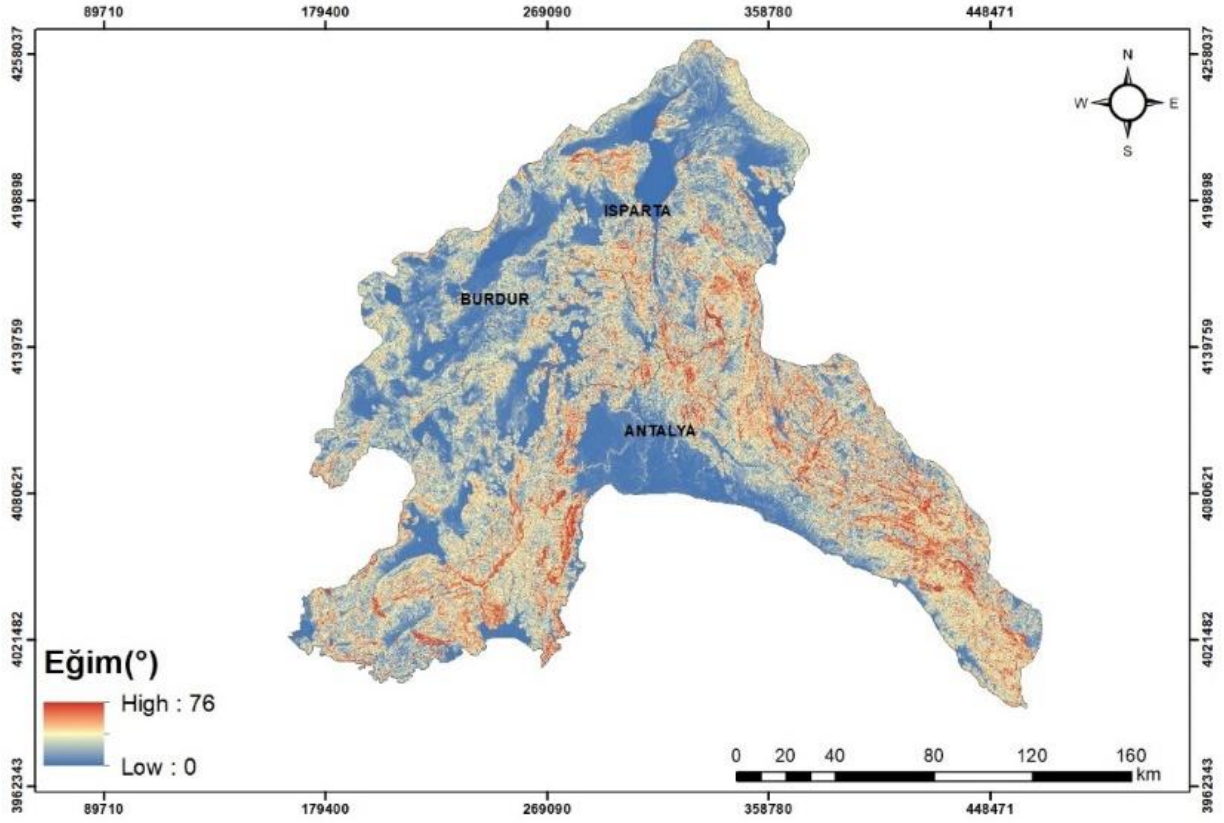
Yükseklik açısından GES uygunluk haritası Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Haritadaki değerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiş olup, değerler 1'e yaklaştıkça deniz seviyesinden yükseklik artmaktadır. Dolayısıyla, GES için uygunluk da artmaktadır.



Şekil 4.16. Batı Akdeniz Bölgesi yükseklik açısından GES uygunluk haritası

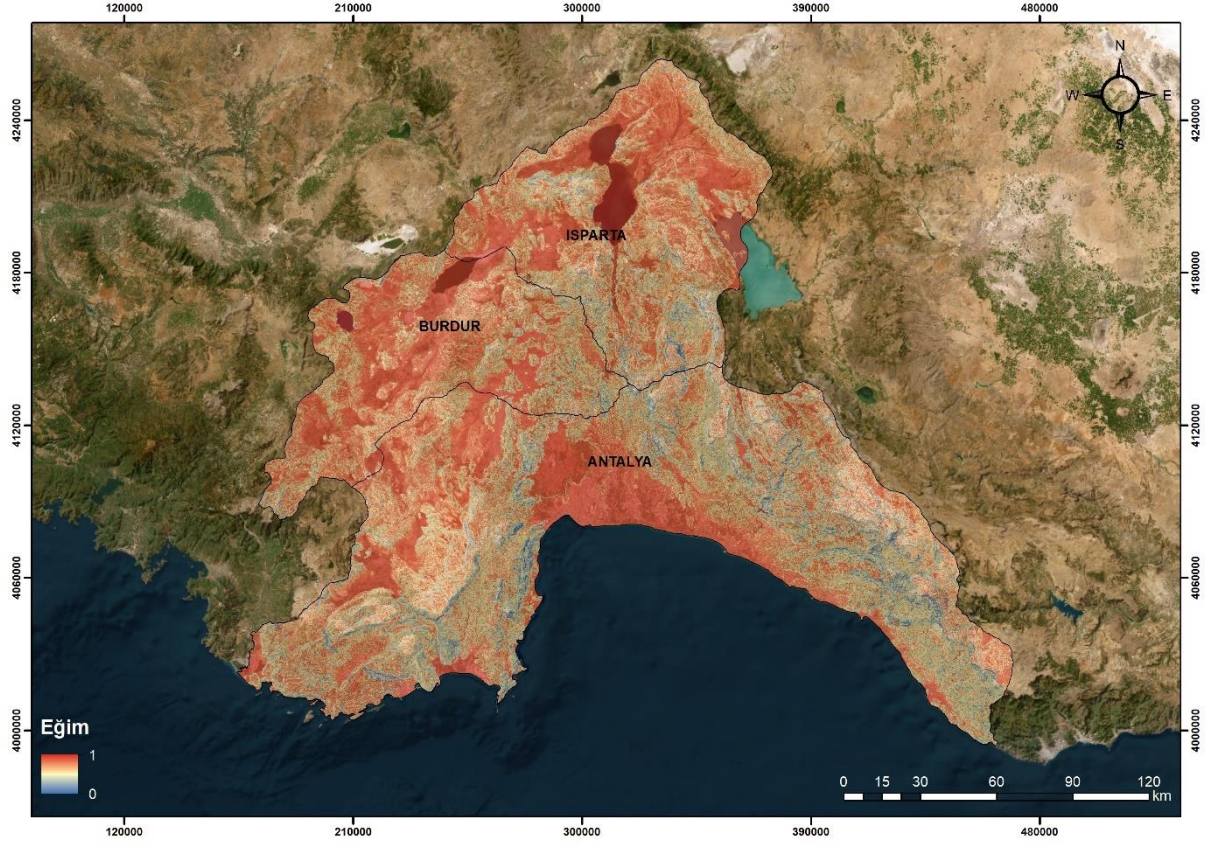
4.1.9. Eğim

Batı Akdeniz Bölgesi'nin eğim haritasını oluşturmak amacıyla SRTM projesi kapsamında elde edilen sayısal arazi modeli verisi kullanılmıştır. Eğim haritası göre, bölgedeki bazı bölgelerin son derece dik yamaçlardan oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.17). En yüksek eğim derecesi 79° olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında, en dik yamaçları içeren bölgeler Batı Akdeniz Bölgesi'nin güneybatısı, güneydoğusu ve Antalya'nın kuzey kısmını kapsamaktadır.



Şekil 4.17. Batı Akdeniz Bölgesi'nin eğim haritası

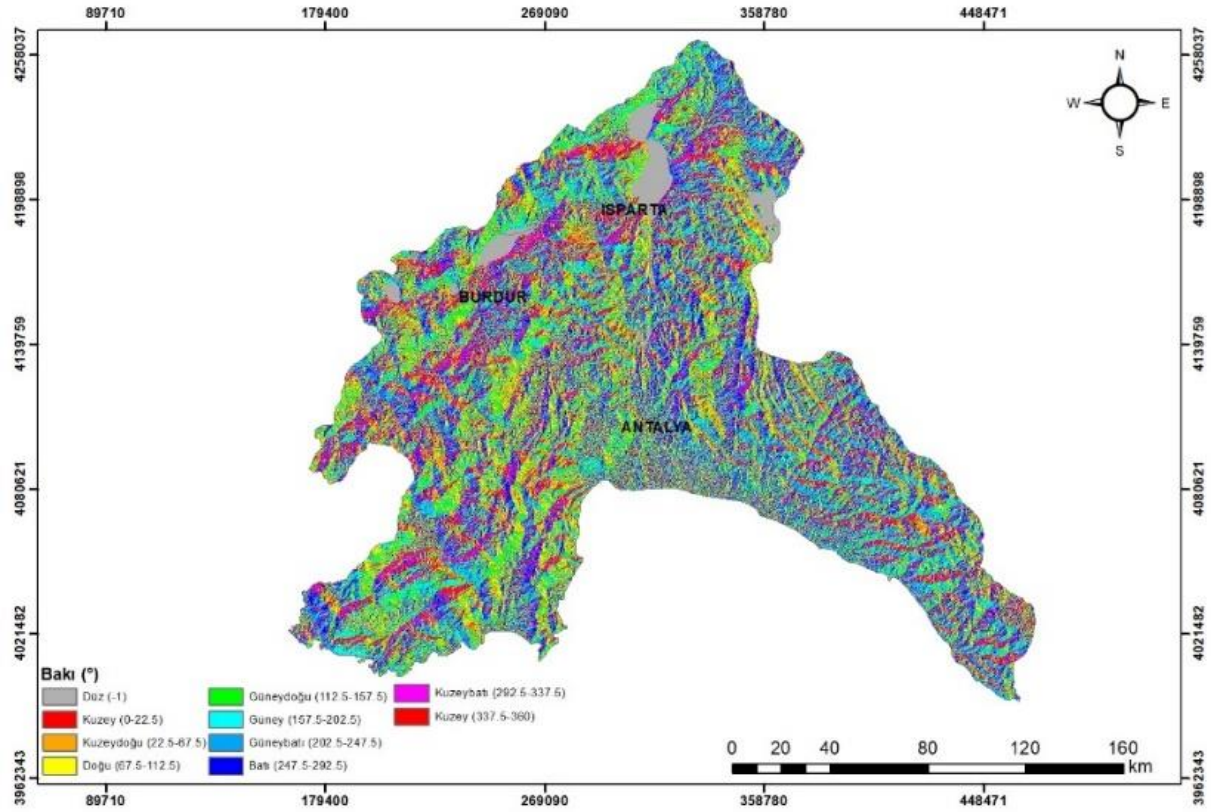
Eğim açısından GES uygunluk haritası Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Haritadaki değerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiş olup, değerler 1'e yaklaştıkça eğim derecesi azalmaktadır. Bu durumda, GES için uygunluk artmaktadır.



Şekil 4.18. Batı Akdeniz Bölgesi eğim açısından GES uygunluk haritası

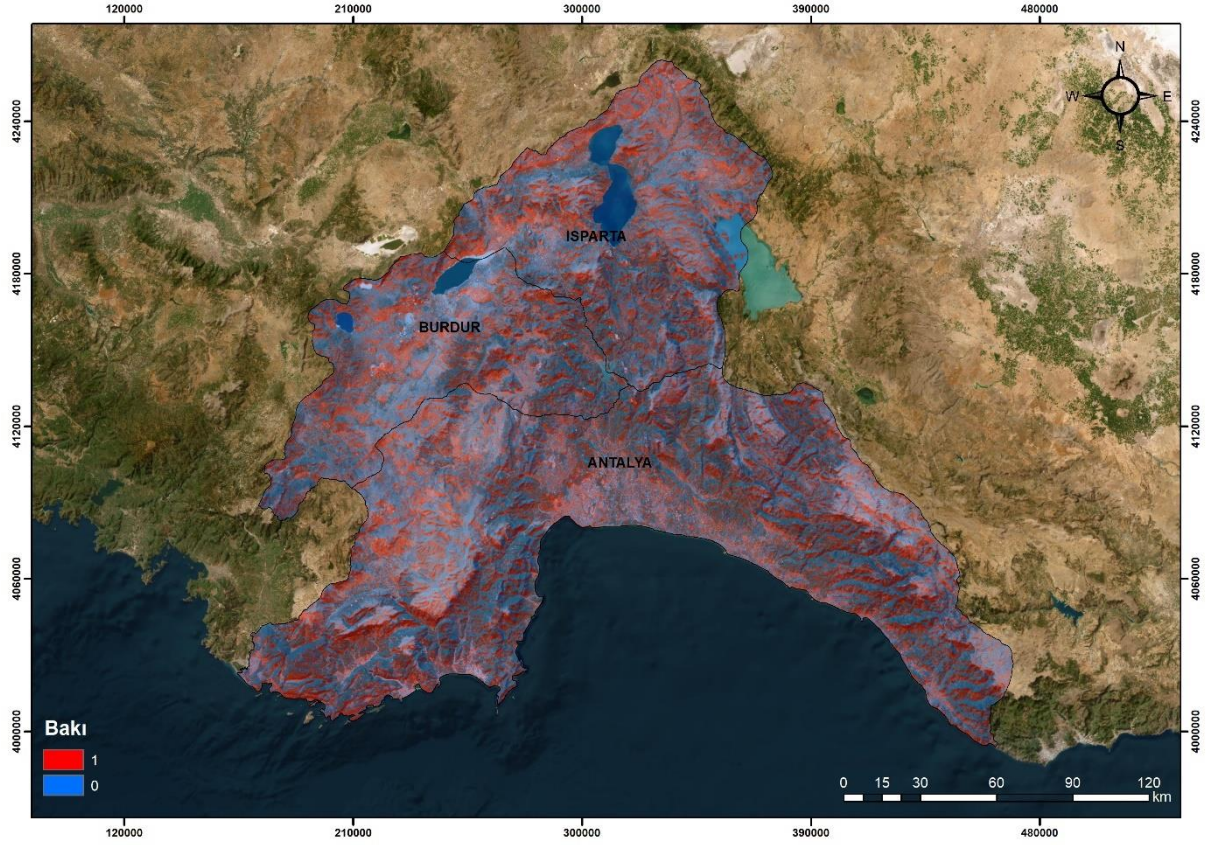
4.1.10. Bakı

Batı Akdeniz Bölgesi'nin bakı özelliklerini incelemek amacıyla sayısal arazi modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada, SRTM verileri kullanılarak bölgenin bakı haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Batı Akdeniz Bölgesi'nin bakı haritası

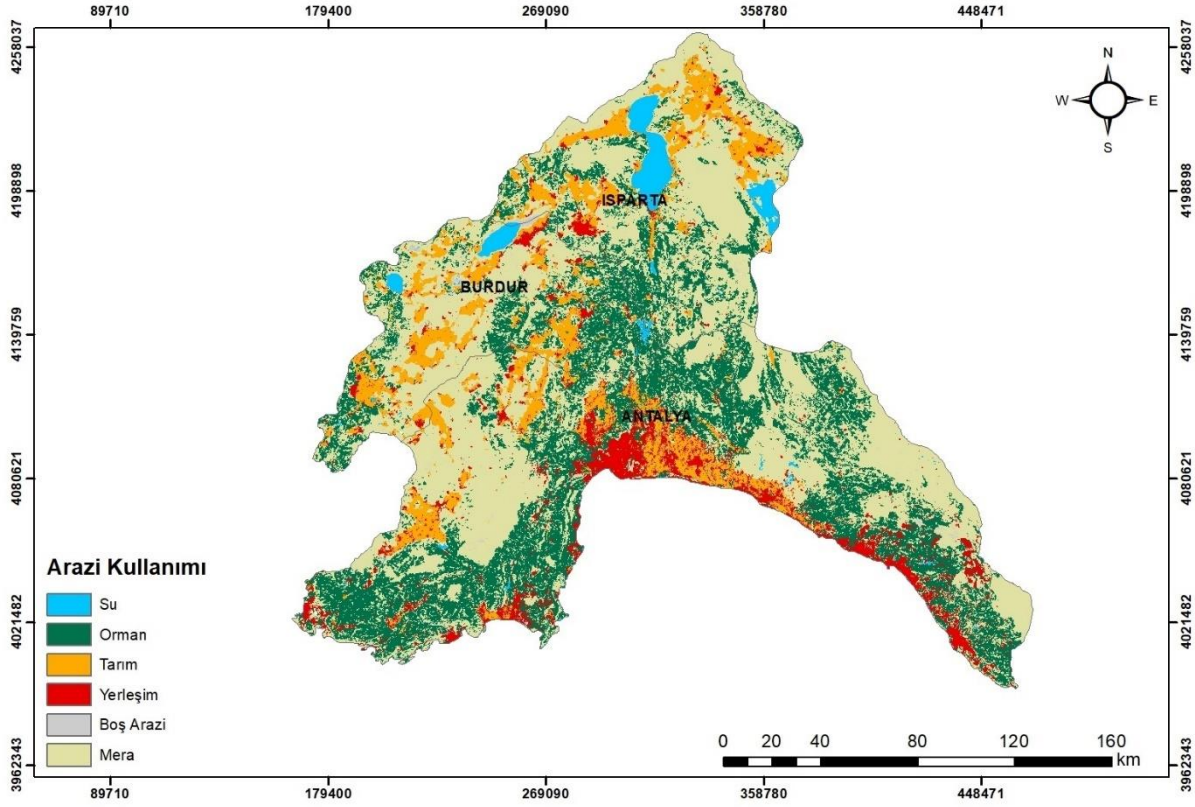
Güney, güneybatı ve güneydoğuya bakan bölgelere GES açısından uygunluk atfetmek amacıyla 'Reclassify' aracı kullanılarak bu alanlara '1' değeri atanmıştır. Diğer taraftan, geriye kalan alanlara '0' değeri atanmış ve bu bölgelerin GES için uygun olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Batı Akdeniz Bölgesi'nin bakı açısından GES uygunluk haritası

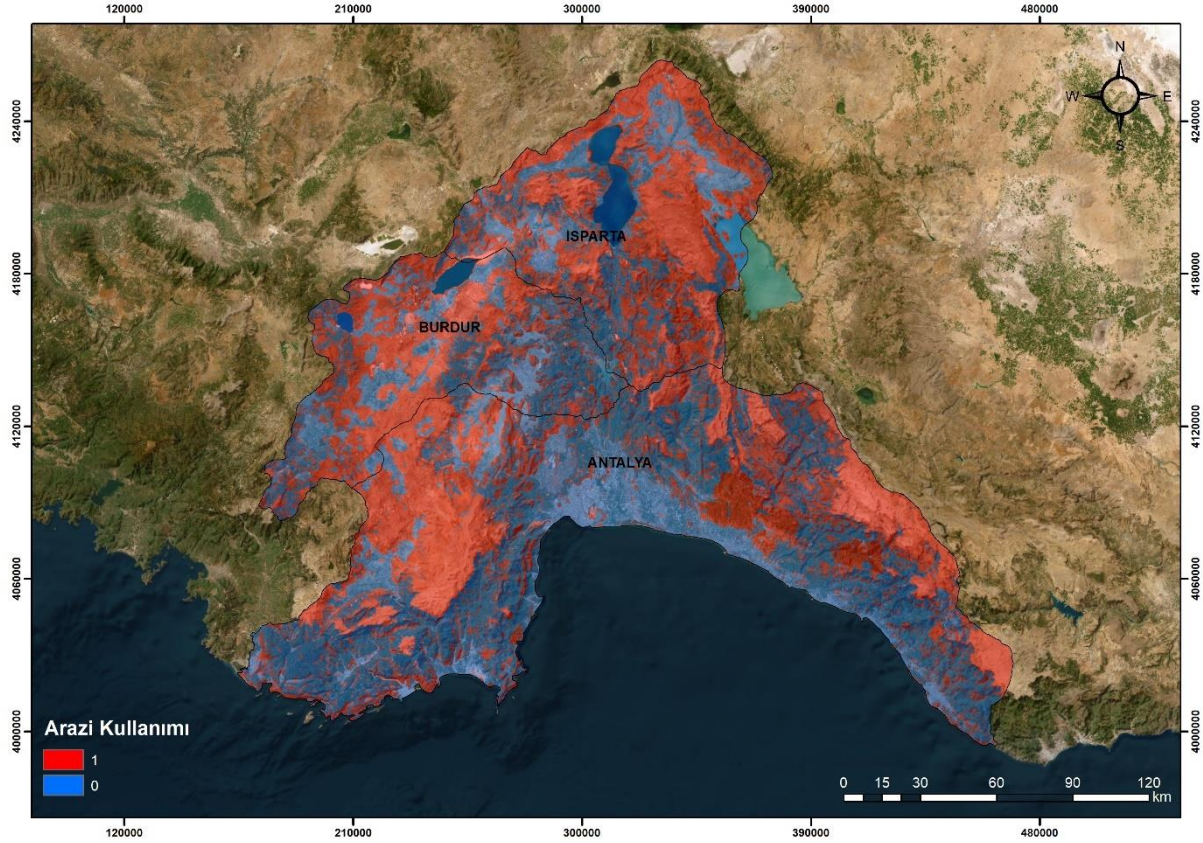
4.1.11. Arazi kullanımı

Bu çalışmada, Batı Akdeniz Bölgesi'nin arazi kullanım niteliklerini belirlemek amacıyla Sentinel 2 Arazi kullanımı verisi kullanılmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Batı Akdeniz Bölgesi'nin arazi kullanımı haritası

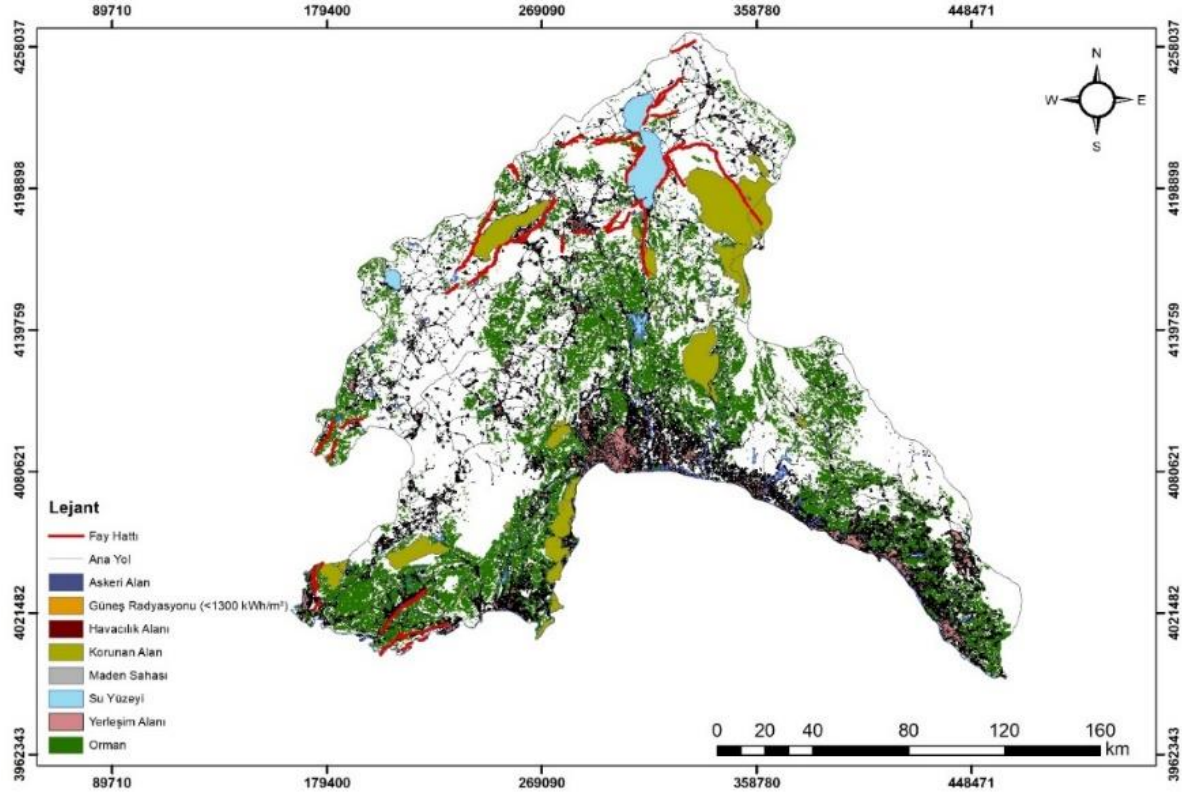
GES açısından uygun olarak değerlendirilen mera ve çıplak arazi örtüsüne sahip bölgelere “Reclasiffy” aracı kullanılarak "1" değeri atanmıştır. Ayrıca, bu kriterlere uymayan diğer arazi nitelikleri için "0" değeri atanmış ve Batı Akdeniz Bölgesi'nin arazi niteliklerine göre uygunluk sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Batı Akdeniz Bölgesi'nin arazi kullanımı açısından uygunluk haritası

4.1.12. Güneş enerjisi santrali için uygun olmayan alanların belirlenmesi

Önceki bölümlerde ele alınan çeşitli veri kaynakları kullanılarak ve farklı mesafelerde tampon analizi gerçekleştirilmiş, bu süreç sonucunda GES için elverişsiz alanlar belirlenmiştir (Şekil 4.23). Çalışma alanının %39,24'i GES kurulumu için uygun bölgeleri kapsamakta ve toplamda yaklaşık 14.243 km²'ye tekabül etmektedir.



Şekil 4.23. Batı Akdeniz Bölgesi GES için uygun olmayan alanlar

4.2. İklim Faktörünün Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Değerlendirilmesi

Veri seti oluşturma aşamasında, CBS yazılımı kullanılarak çalışma alanında 250 metre aralıklı nokta verisi elde edilmiştir. Her bir nokta için sıcaklık, su buharı yoğunluğu, bulut sıklığı oranı ve güneş ışıınımı değerleri toplanmış ve bu veriler kullanılarak makine öğrenimi için 457.327 adet satırdan oluşan veri seti oluşturulmuştur. Veri setinin istatistiksel bilgileri Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

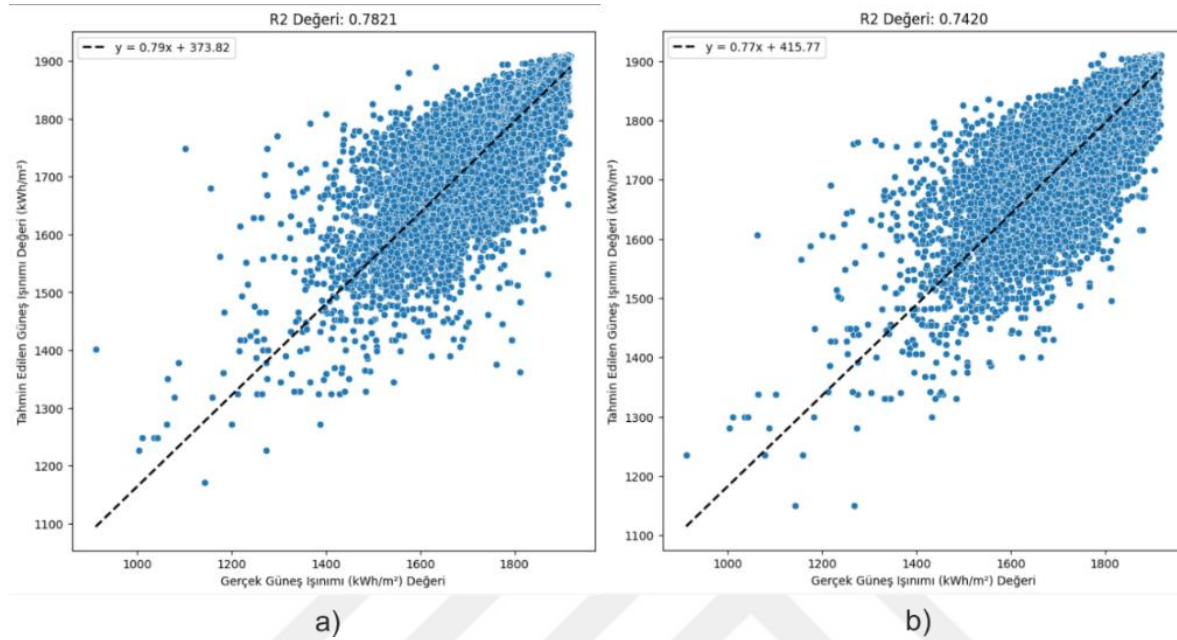
Çizelge 4.1. Veri setinin istatistiksel bilgileri

İstatistiksel Bilgiler	Sıcaklık (C°)	Su Buharı Yoğunluğu (mol/m³)	Bulut Sıklığı Oranı (%)	Güneş Işınımı (kWh/m²)
Veri Sayısı	457.327	457.327	457.327	457.327
Veri Ortalaması	13,09	843,99	44,93	1.779,13
Standart Sapma	3,74	213,43	8,59	62,35
En Küçük Değer	-0,3	448,27	24,82	910,93
En Büyük Değer	22	1.450,31	79,13	1.922,68

Makine öğrenmesinin model değerlendirme aşamasında, su buharı yoğunluğu ve sıcaklık arasında yüksek VIF değerleri, çoklu doğrusallık sorununu ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Bu durumu çözmek adına, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini daha anlamlı hale getirmek amacıyla iki ayrı model oluşturulmuştur.

Regresyon modellerinde çoklu doğrusallık sorununun ortadan kalkması için genellikle maksimum tolerans değeri 1, maksimum VIF değeri ise 10 olması hedeflenmektedir. Oluşturulan ilk model, bulut sıklığı oranı ve sıcaklık değişkenlerini içermekte olup, her iki değişken için VIF değeri 5,314 ve Tolerans değeri 0,188 olarak hesaplanmıştır. İkinci model ise bulut sıklığı oranı ve su buharı yoğunluğu değişkenlerini içermekte olup, VIF ve Tolerans değerleri sırasıyla her iki değişken için 6,463 ve 0,154 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan modeller, Python ortamında scikit-learn kütüphanesi içinde bulunan Rastgele orman (Random forest), Ekstra ağaçlar (Extra trees) ve Karar ağacı (Decision tree) algoritmalarıyla test edilmiştir.

İlk modelde bulut sıklığı oranı ve sıcaklık değişkenleri için en iyi performansı, $R^2=0,78$ değeri ile Rastgele Orman algoritması göstermiştir. İkinci modelde ise bulut sıklığı oranı ve su buharı yoğunluğu değişkenleri için en iyi performansı, $R^2=0,74$ değeri ile Ekstra Ağaçlar algoritması göstermiştir (Şekil 4.24).

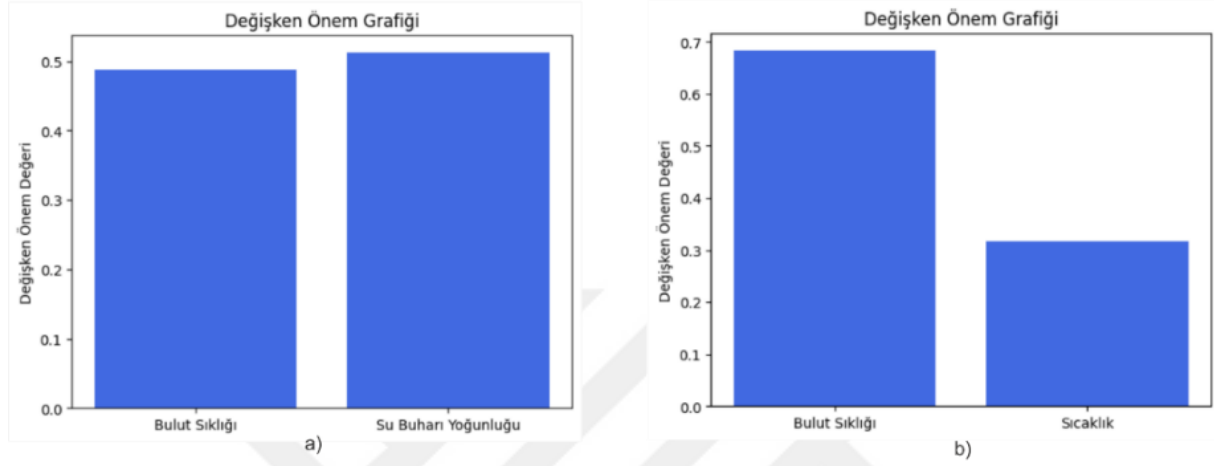


Şekil 4.24. Güneş ışıınımı tahmini için oluşturulan ilk (a) ve ikinci (b) modelin hata dağılımları. Modellerle ilgili değerlendirme ölçütleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Model performansı değerlendirme sonuçları

	İlk Model				İkinci Model			
Algoritma	R ²	RMSE	MAE	MAPE	R ²	RMSE	MAE	MAPE
Rastgele Orman	0,78	29,21	16,14	0,0097	0,74	31,85	18,72	0,0109
Ekstra Ağaçlar	0,77	29,43	15,33	0,0091	0,74	31,78	18,58	0,0108
Karar Ağacı	0,74	31,46	15,86	0,0095	0,74	31,78	18,58	0,0108

Modeller üzerindeki bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçmek amacıyla önem ağırlıkları analiz edilmiştir. Su buharı yoğunluğu ve bulut sıklığı oranı değişkenlerinin yer aldığı ilk modelde güneş ışıınımı tahmininde, her iki değişkenin yaklaşık olarak eşit performans gösterdiği belirlenmiştir. Bulut sıklığı oranı ve sıcaklık değişkenlerinin yer aldığı ikinci modelde ise bulut sıklığı oranı, sıcaklık değişkenine göre daha belirgin performans gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Güneş ışıınımı tahmini için oluşturulan ilk (a) ve ikinci (b) modelin önem ağırlık dağılımı

Sonuç olarak, güneş ışıınımı tahmin modellerinde, bulut sıklığı oranı ve su buharı yoğunluğunun nispeten eşit performans gösterdiği ve her iki kriterin sıcaklık kriterine göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

GES yer seçimi için önceden belirlenen 11 kriter (güneş ışıınımı, yıllık ortalama sıcaklık, enerji iletim hatlarına uzaklık, yıllık ortalama bulut sıklığı oranı, yıllık ortalama su buharı yoğunluğu, yerleşim alanlarına uzaklık, arazi kullanımı, eğim, bakı, ana yollara uzaklık ve yükseklik) arasındaki önem sıralamasını belirlemek amacıyla ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Bu matris, uzman görüşleri, literatür incelemeleri ve makine öğrenmesi sonuçlarına dayanarak, Çizelge 3.3'te verilen, kriterlerin göreceli önemleri ve belirsizlik aralıklarını yansıtan minimum, ortalama ve maksimum değerlere sahip olan üçgensel bulanık sayılar kullanılarak puanlanmış ve sonuçlar Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3. FAHP ikili karşılaştırma matrisi (A: güneş ışıınımı; B: yıllık ortalama sıcaklık; C: enerji iletim hatlarına uzaklık; D: yıllık ortalama bulut sıklığı oranı; E: yıllık ortalama su buharı yoğunluğu; F: yerleşim alanlarına uzaklık; G: arazi kullanımı; H: eğim; I: bakı; J ana yollara uzaklık, K: yükseklik)

Kriter	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	1,1,1	3,4,5	4,5,6	2,3,4	2,3,4	6,7,8	5,6,7	7,8,9	6,7,8	9,9,9	9,9,9
B	1/5, 1/4, 1/3	1,1,1	1,2,3	1/4, 1/3, 1/2	1/4, 1/3, 1/2	5,6,7	4,5,6	6,7,8	5,6,7	9,9,9	9,9,9
C	1/6, 1/5, 1/4	1/3, 1/2, 1	1,1,1	1/5, 1/4, 1/3	1/5, 1/4, 1/3	4,5,6	3,4,5	5,6,7	4,5,6	7,8,9	7,8,9
D	1/4, 1/3, 1/2	2,3,4	3,4,5	1,1,1	1,1,1	6,7,8	5,6,7	6,7,8	6,7,8	9,9,9	9,9,9
E	1/4, 1/3, 1/2	2,3,4	3,4,5	1,1,1	1,1,1	6,7,8	5,6,7	6,7,8	6,7,8	9,9,9	9,9,9
F	1/8, 1/7, 1/6	1/7, 1/6, 1/5	1/6, 1/5, 1/4	1/8, 1/7, 1/6	1/8, 1/7, 1/6	1,1,1	1/3, 1/2, 1	2,3,4	1/3, 1/2, 1	5,6,7	4,5,6
G	1/7, 1/6, 1/5	1/6, 1/5, 1/4	1/5, 1/4, 1/3	1/7, 1/6, 1/5	1/7, 1/6, 1/5	1,2,3	1,1,1	2,3,4	1,2,3	5,6,7	4,5,6
H	1/9, 1/8, 1/7	1,8, 1/7, 1/6	1/7, 1/6, 1/5	1/9, 1/8, 1/7	1/9, 1/8, 1/7	1/4, 1/3, 1/2	1/4, 1/3, 1/2	1,1,1	1/3, 1/2, 1	3,4,5	2,3,4
I	1/8, 1/7, 1/6	1/7, 1/6, 1/5	1/6, 1/5, 1/4	1/8, 1/7, 1/6	1/8, 1/7, 1/6	1,2,3	1/3, 1/2, 1	1,2,3	1,1,1	3,4,5	2,3,4
J	1/9, 1/9, 1/9	1/9, 1/9, 1/9	1/9, 1/8, 1/7	1/9, 1/9, 1/9	1/9, 1/9, 1/9	1/7,1/6, 1/5	1/7,1/6, 1/5	1/5, 1/4, 1/3	1/5, 1/4, 1/3	1,1,1	1/3, 1/2, 1
K	1/9, 1/9, 1/9	1/9, 1/9, 1/9	1/9, 1/8, 1/7	1/9, 1/9, 1/9	1/9, 1/9, 1/9	1/6, 1/5, 1/4	1/6, 1/5, 1/4	1/4, 1/3, 1/2	1/4, 1/3, 1/2	1,2,3	1,1,1

İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0,084 olarak hesaplanmış ve literatürde önerilen 0.1 değerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu göstermektedir. İkili karşılaştırma matrisi incelendiğinde, güneş ışıınımı (A) kriterinin neredeyse diğer tüm kriterlere kıyasla önemli veya son derece önemli olduğu tespit edilmiştir. Özellikle ana yollara uzaklık (J) ve yükseklik (K) kriterlerine göre son derece önemli olarak değerlendirilmiştir.

Sonraki aşamada, oluşturulan matris üzerinde her bir kriter için Buckley'in geometrik ortalama yöntemine göre bulanık ağırlıklar hesaplanmıştır. Ardından, elde edilen bulanık ağırlıklar merkez noktası yöntemi kullanılarak belirgin ağırlıklara dönüştürüldü, normalize edildi ve her bir kriter için ağırlık katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Buckley yöntemine göre belirlenen kriter ağırlıkları

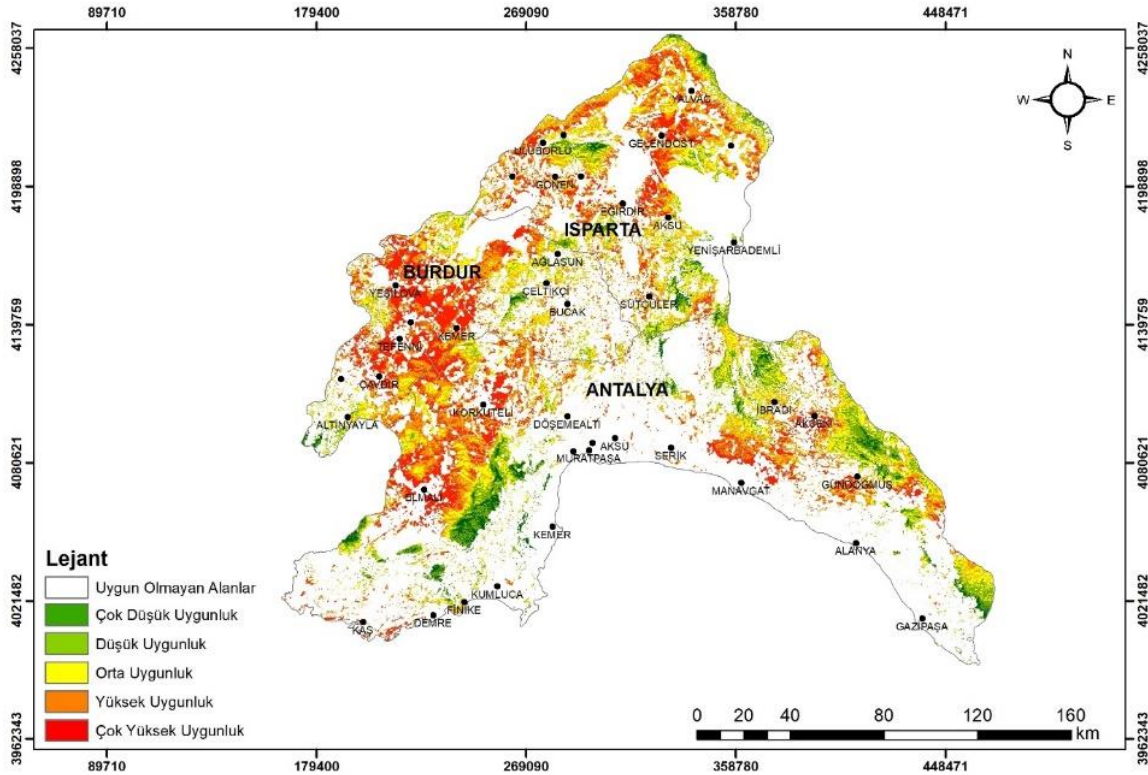
Kriterler	Bulanık Ağırlıklar ($\tilde{\omega}$)			Ağırlıklar ($\tilde{\omega}$)	(%)
Güneş ışıınımı	0,18060	0,26567	0,36871	0,26018	26,01
Yıllık ortalama bulut sıklığı	0,13484	0,18569	0,25656	0,18423	18,42
Yıllık ortalama su buharı yoğunluğu	0,13484	0,18569	0,25656	0,18423	18,42
Yıllık ortalama sıcaklık	0,08271	0,12038	0,17657	0,12121	12,12
Enerji iletim hatlarına uzaklık	0,06214	0,09030	0,13662	0,09228	9,22
Arazi kullanımı	0,02788	0,04377	0,06637	0,04406	4,40
Yerleşim alanlarına uzaklık	0,02135	0,03144	0,04937	0,03261	3,26
Bakı	0,01986	0,03162	0,04968	0,03229	3,22
Eğim	0,01456	0,02135	0,04122	0,02462	2,46
Yükseklik	0,00806	0,01076	0,01527	0,01088	1,33
Ana yollara uzaklık	0,01986	0,03162	0,04968	0,03229	1,08

Çizelge 4.4 incelendiğinde, güneş ışıınımı en önemli kriter olarak belirlenmiş ve diğer kriterlere kıyasla en yüksek ağırlığa (26,01%) sahip olmuştur. Yıllık ortalama bulut sıklığı ve yıllık ortalama su buharı yoğunluğu kriterleri, önemli faktörler arasında yer almakta ve her biri %18,42 ağırlık değeri taşımaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık (12,12%) ve enerji iletim hatlarına uzaklık (9,22%) gibi kriterler de önemli bulunmuştur.

Diğer kriterler ise sırasıyla arazi kullanımı (4,40%), yerleşim alanlarına uzaklık (3,26%), bakı (3,22%), eğim (2,46%), yükseklik (1,33%) ve ana yollara uzaklık (1,08%) olarak ağırlıklandırılmıştır. Bu kriterler, GES için en uygun yerleri belirlemek için dikkate alınacak faktörlerin önem derecesini göstermektedir.

4.4. Batı Akdeniz Bölgesi GES için Duyarlılık Haritası

Batı Akdeniz Bölgesi'nde GES için uygun alanların belirlenmesi amacıyla, GES yer seçimi kriterlerine dayalı olarak belirlenen göreceli ağırlık değerlerinin kullanıldığı bir ağırlık çakıştırma analizi gerçekleştirilmiş ve buna bağlı olarak duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Batı Akdeniz Bölgesi GES duyarlılık haritası

Çalışmanın kapsamında hazırlanan GES duyarlılık haritası, Antalya, Burdur ve Isparta illerindeki GES kurulum potansiyelini göstermektedir. Sonuç olarak, bölgede GES kurulumu için uygunluk düzeylerinin farklılık arz ettiği belirlenmiştir. Burdur ilinin geniş bir bölümü yüksek ve çok yüksek uygunluk göstermektedir. Isparta ilinin kuzey ve doğusunda genellikle yüksek ve orta düzeyde uygunluk görülmektedir. Antalya, ise daha kompleks bir yapıya sahiptir. Antalya'nın merkez bölgesi ve yakınındaki çevre genellikle elverişsiz veya düşük uygunluk seviyesindeki alanlar olarak değerlendirilmiştir.

Ayrıca duyarlılık derecelerine göre ayrılmış her bir sınıfın alan ve yüzde değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

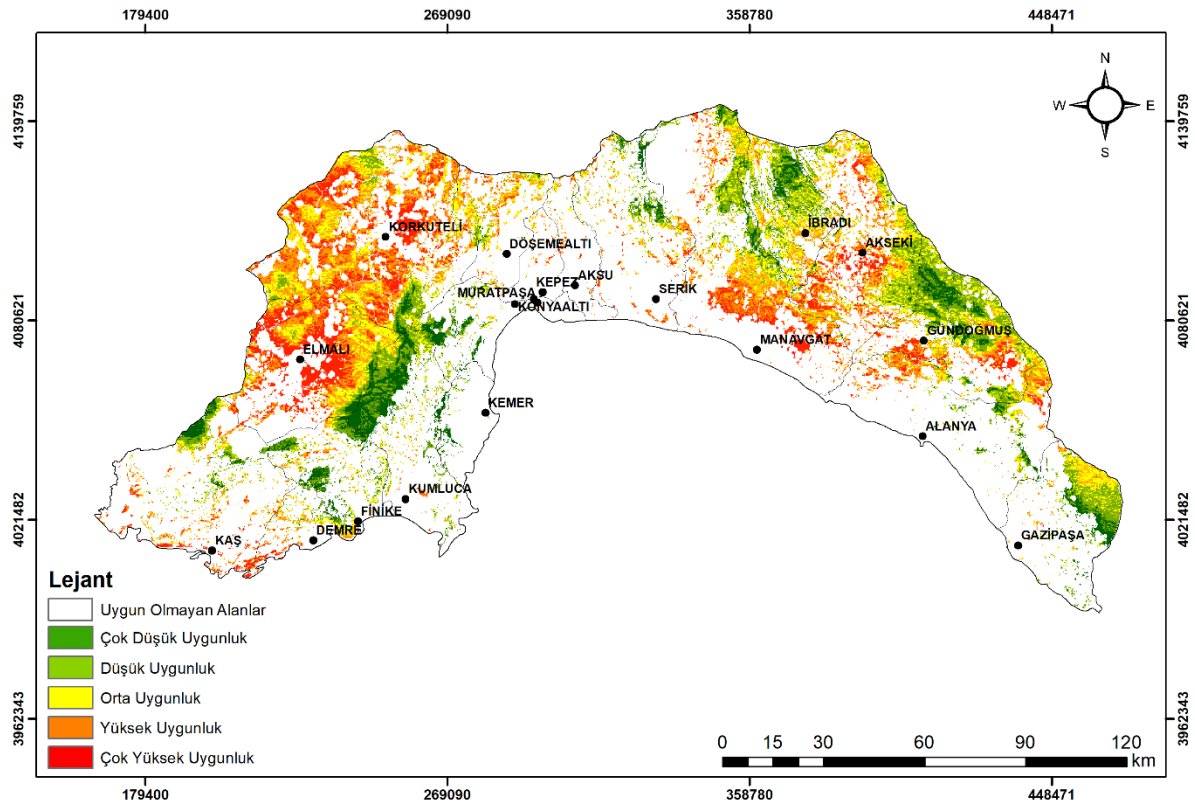
Çizelge 4.5. Duyarlılık sınıflarının yüzde ve alan cinsinden dağılımı

Duyarlılık	Alan(km ²)	(%)
Uygun olmayan alanlar	22.054	60,76
Çok düşük uygunluk	923	2,54
Düşük uygunluk	2.421	6,67
Orta uygunluk	3.662	10,09
Yüksek uygunluk	4.412	12,15
Çok yüksek uygunluk	2.825	7,78

Çizelgeye göre, bölgenin toplam alanının %60,76'sı (22.054 km²) GES için kullanılabilir nitelikte değildir. Bu duruma karşılık, bölgenin %19,93'ü (7.237 km²) yüksek ve çok yüksek uygunluk seviyelerinde bulunmaktadır. Bölgenin yaklaşık %30'u, orta uygunluktaki alanların (%10,09 ve 3.662 km²) da hesaba katılmasıyla GES kurulumu için potansiyele sahiptir. Uygunluk bakımından düşük ve çok düşük olarak sınıflandırılan alanlar ise %6,67 (2.421 km²) ve %2,54 (923 km²) büyüklüğündedir.

4.4.1. Antalya ili duyarlılık haritası

Antalya ili için GES duyarlılık haritası Şekil 4.27’de verilmiştir. Genel olarak, Antalya’nın Akseki, Elmalı, Gündoğmuş, Korkuteli, Manavgat ilçeleri, GES için daha uygun alanlar olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 4.27. Antalya ili GES duyarlılık haritası

Antalya ilinin duyarlılık derecelerine göre ayrılmış her bir sınıfın alan ve yüzde değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

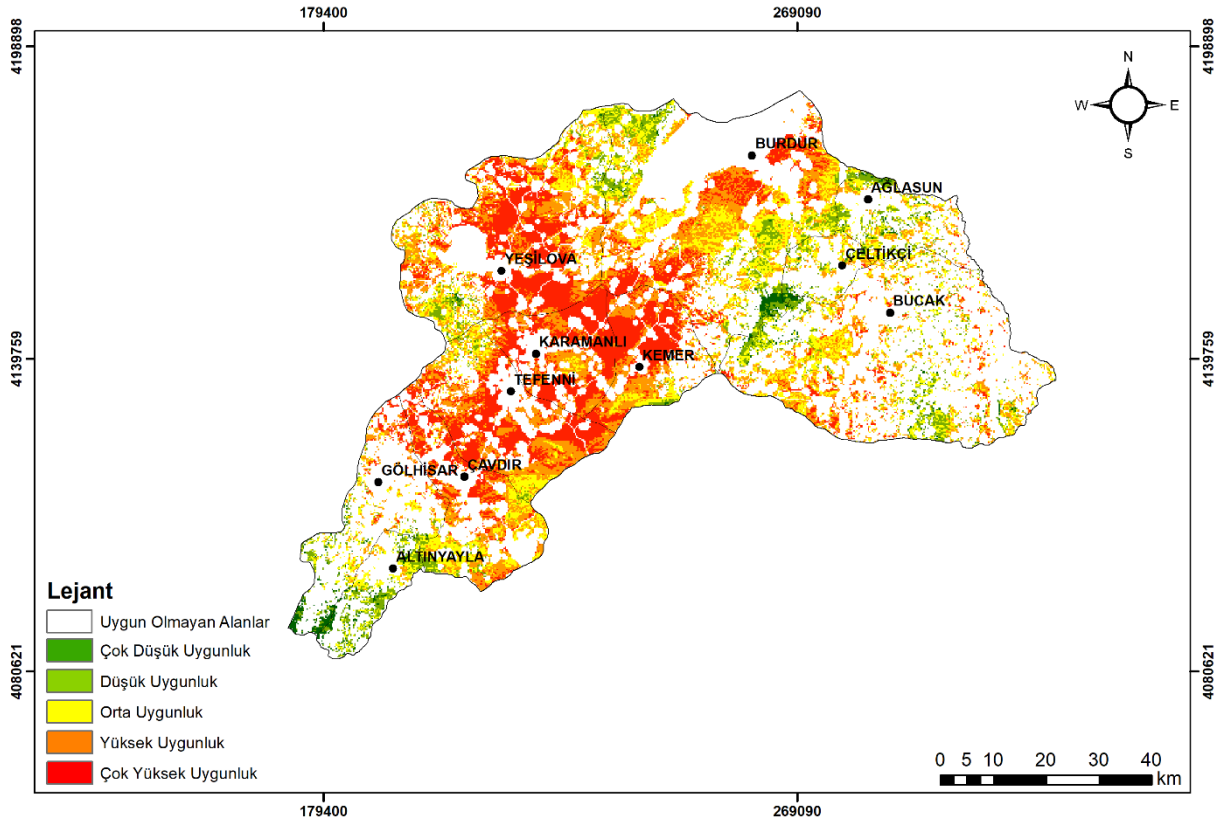
Çizelge 4.6. Antalya ili duyarlılık sınıfların yüzde ve alan cinsinden dağılımı

Duyarlılık	Alan (km ²)	%
Uygun olmayan	13.273	65,80
Çok düşük uygunluk	693	3,44
Düşük uygunluk	1.483	7,35
Orta uygunluk	1.695	8,40
Yüksek uygunluk	1.848	9,16
Çok yüksek uygunluk	1.179	5,85

Sonuç olarak, Antalya ilinin %65,80'i (13.273 km²) GES kurulumu için uygun değildir. Bölgenin %3,44'ü (693 km²) çok düşük uygunluğa, %7,35'i (1.483 km²) düşük uygunluğa, %8,40'ı (1.695 km²) orta uygunluğa, %9,16'sı (1.848 km²) yüksek uygunluğa ve %5,85'i (1.179 km²) ise çok yüksek uygunluğa sahiptir. Bu veriler, çalışma alanının büyük bir kısmının GES kurulumu için uygun olmadığını, ancak belirli alanların yüksek ve çok yüksek uygunluk düzeylerine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle %9,16 ve %5,84'lük alanlar, GES için potansiyel bölgeler olarak öne çıkmaktadır.

4.4.2. Burdur ili duyarlılık haritası

Burdur ili için GES duyarlılık haritası Şekil 4.28'de verilmiştir. Genel olarak, Burdur il merkezinin güneyi ve doğusu, Çavdır, Karamanlı, Kemer, Tefenni ve Yeşilova ilçeleri, GES için daha uygun alanlar olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 4.28. Burdur ili GES duyarlılık haritası

Burdur ilinin duyarlılık derecelerine göre ayrılmış her bir sınıfın alan ve yüzde değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

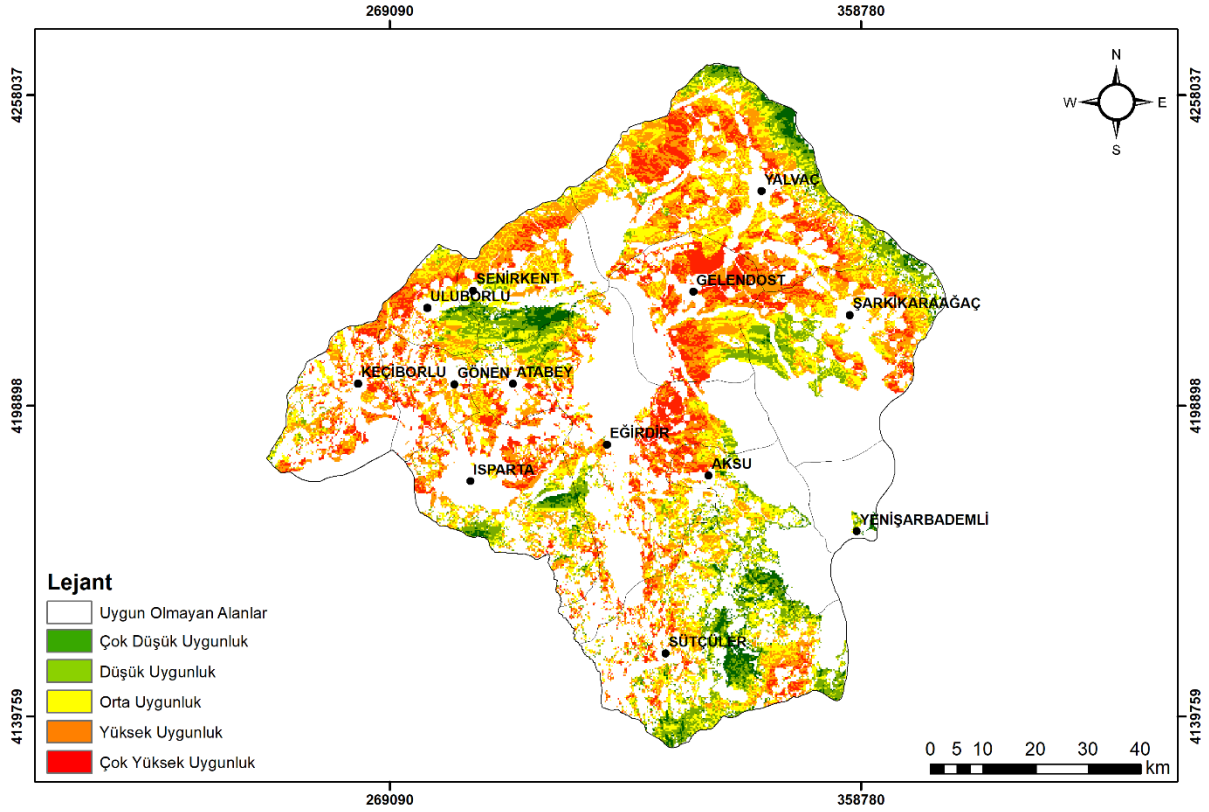
Çizelge 4.7. Burdur ili duyarlılık sınıfların yüzde ve alan cinsinden dağılımı

Duyarlılık	Alan (km ²)	%
Uygun olmayan	5.684	63,53
Çok düşük uygunluk	63	0,70
Düşük uygunluk	325	3,63
Orta uygunluk	770	8,60
Yüksek uygunluk	1.113	12,44
Çok yüksek uygunluk	993	11,09

Burdur ilinin duyarlılık sınıflarına göre dağılımı incelendiğinde, GES kurulmasına uygun olmayan alan oranı %63,53 olarak tespit edilmiş ve bu da 5.684 km²'lik bir alana denk gelmektedir. Yüksek uygunluk düzeyine sahip alanlar %0,70'lik bir oranla (63 km²) kapsarken, düşük uygunluk seviyesine sahip olanlar ise %3,63'lük bir paya denk gelmektedir (325 km²). Orta derecede uygunluk gösteren bölgelerin alanı %8,60 (770 km²) iken, yüksek derecede uygun olan bölgelerin alanı %12,44 (1.113 km²) olarak tespit edilmiştir. En yüksek uygunluk düzeyine sahip bölgeler ise %11,09'luk bir payla (993 km²) belirlenmiştir.

4.4.3. Isparta ili duyarlılık haritası

Isparta ili için GES duyarlılık haritası Şekil 4.29’da sunulmuştur. Genel olarak, Isparta il merkezinin kuzeyi ile Atabey, Eğirdir, Gelendost, Gönen, Keçiborlu, Senirkent, Sütçüler, Şarkikaraağaç, Uluborlu ve Yalvaç ilçeleri, GES kurulumu için daha uygun alanlar olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 4.29. Isparta ili GES duyarlılık haritası

Isparta ilinin duyarlılık derecelerine göre ayrılmış her bir sınıfın alan ve yüzde değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

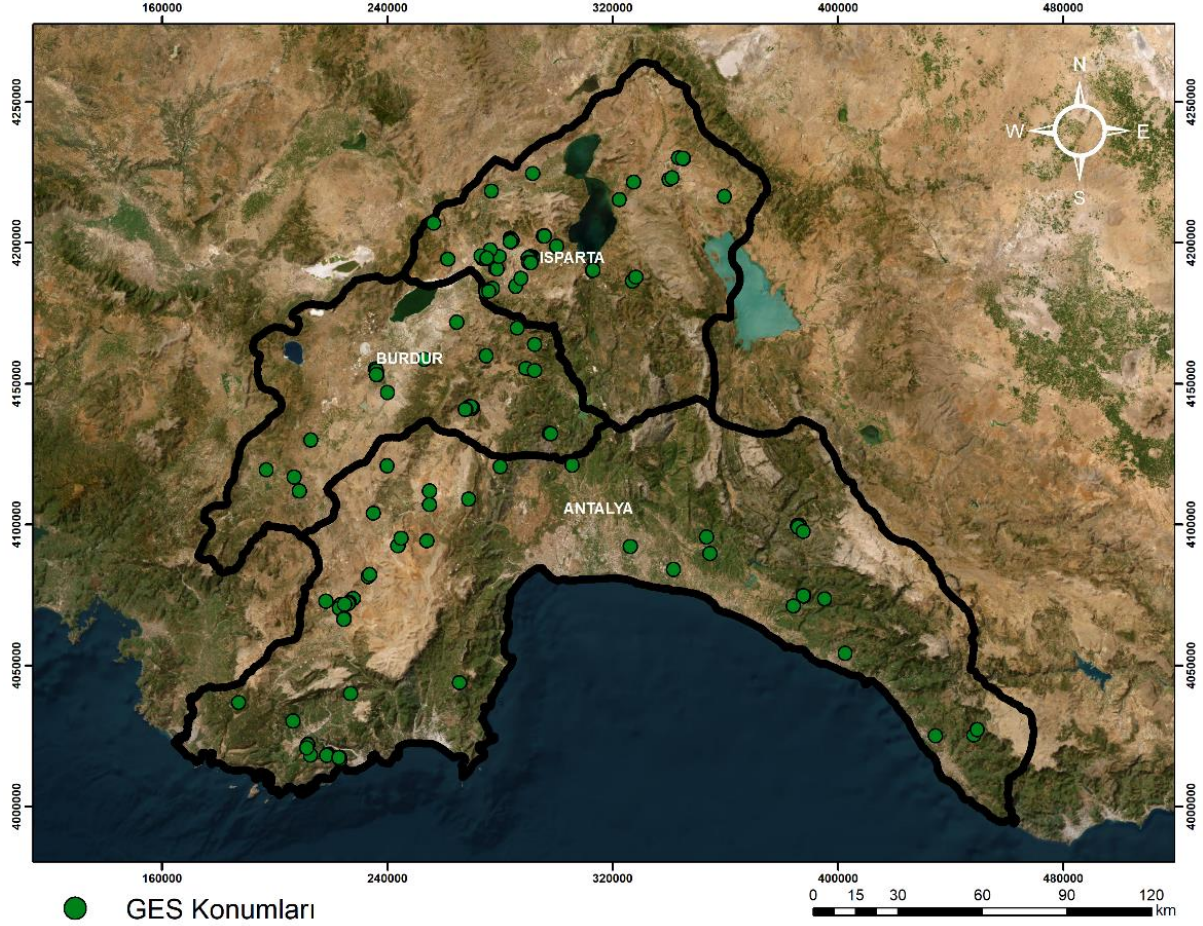
Çizelge 4.8. Isparta ili duyarlılık sınıfların yüzde ve alan cinsinden dağılımı

Duyarlılık	Alan (km ²)	%
Uygun olmayan	3.097	43,13
Çok düşük uygunluk	168	2,33
Düşük uygunluk	613	8,54
Orta uygunluk	1.198	16,68
Yüksek uygunluk	1.451	20,21
Çok yüksek uygunluk	654	9,10

Isparta ili için yapılan GES duyarlılık sonuçlarına göre, il genelinde uygun olmayan alanların oranı %43,13 olarak belirlenmiştir, bu da 3.097 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çok düşük uygunluk düzeyine sahip olan bölgeler %2,33'lük bir oranla (168 km²) ve düşük uygunluk düzeyine sahip olanlar %8,54'lük bir paya (613 km²) denk gelmektedir. Orta derecede uygunluk gösteren bölgelerin alanı %16,68 (1.198 km²) iken yüksek derecede uygun olanların alanı %20,21 (1.451 km²) olarak tespit edilmiştir. En yüksek uygunluk düzeyine sahip bölgeler ise %9,10'luk bir payla (654 km²) belirlenmiştir.

4.5. Mevcut Kurulu Santrallerin Mekansal Değerlendirilmesi

Bu bölümde, Batı Akdeniz Bölgesi'nde mevcut kurulu GES sahalarının mekansal açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma alanı kapsamında OpenStreetMap veri tabanı kullanılarak toplam 128 GES sahası belirlenmiştir (Şekil 4.30). Mevcut santrallerin il bazında dağılımı Çizelge 4.9'da belirtilmiştir.

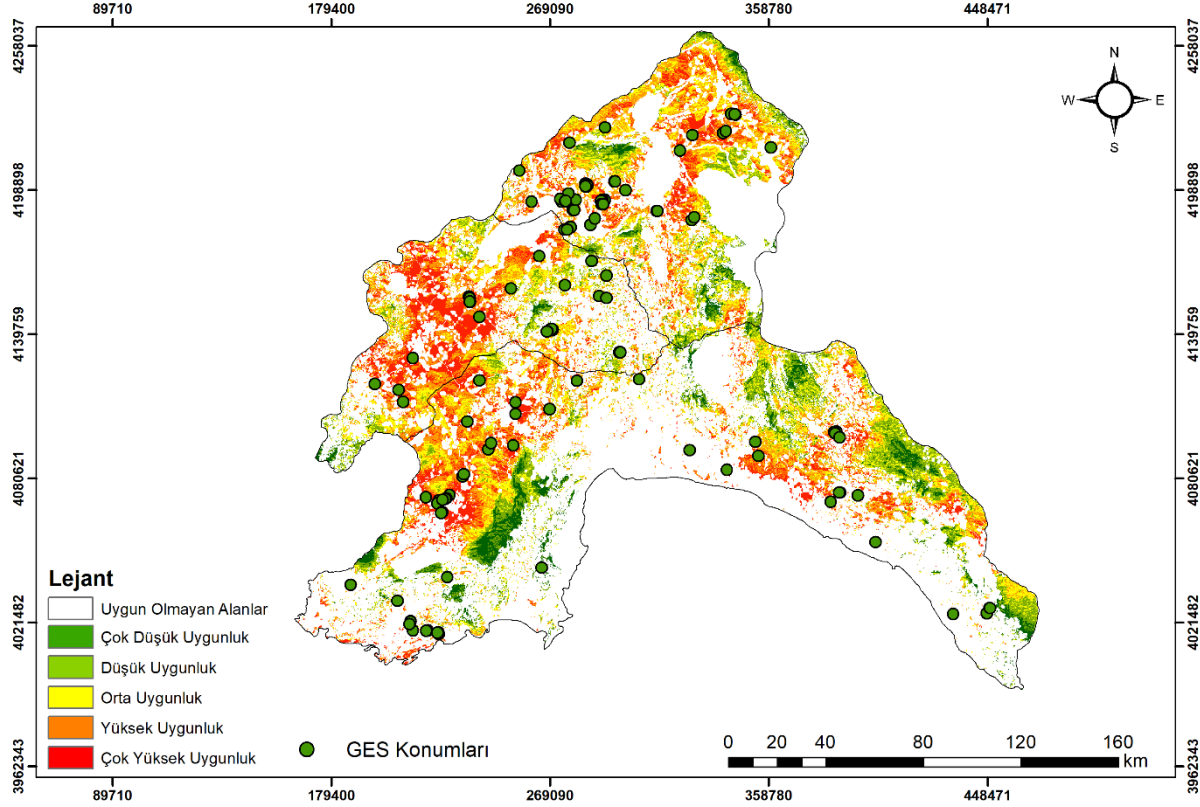


Şekil 4.30. Batı Akdeniz Bölgesi'nde yer alan GES sahalarının konumları

Çizelge 4.9. Mevcut kurulu GES noktaların il bazında sayısal dağılımı

İl	Mevcut GES Sayısı
Antalya	54
Burdur	27
Isparta	47

Mevcut santrallerin konumları, GES duyarlılık haritasına ile çakıştırılmış ve Şekil 4.31'deki harita elde edilmiştir.



Şekil 4.31. Duyarlılık haritasına göre GES konum haritası

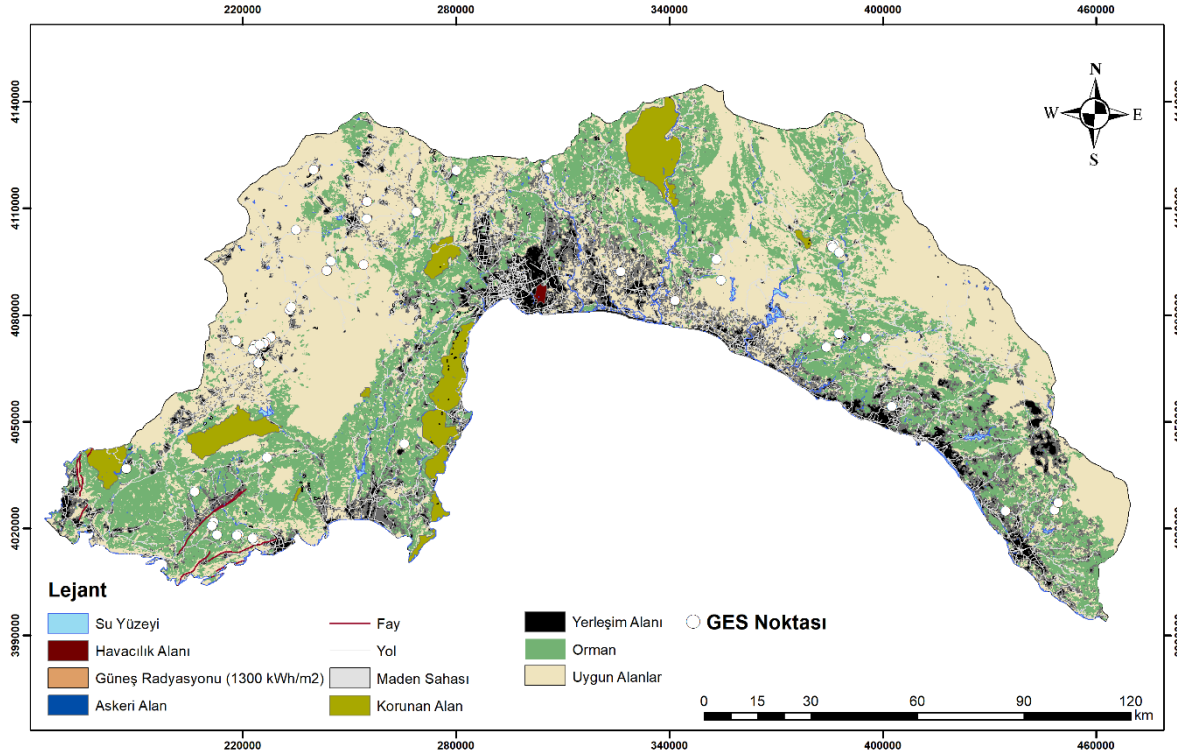
GES duyarlılık haritasına göre, GES sahalarından 72'sinin uygun olmayan alanlarda yer aldığı belirlenmiştir. 1 GES sahası orta uygunluk sınıfında, 27 santral yüksek uygunluk sınıfında ve 28 santral ise çok yüksek uygunluk sınıfında yer almaktadır. Uygun olmayan santrallerden 2'sinin fay hatlarına 440 m, 1'inin maden sahasına 250 m, 11'inin mevcut su kaynaklarına 100 m, 67'sinin yerleşim alanlarına 500 m ve 17'sinin yol güzergahlarına 100 m yakınında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Mevcut kurulu GES alanlarının duyarlılık alanlarına göre sınıflandırılması

Duyarlılık	Mevcut GES sayısı
Uygun olmayan alanlar	72
Çok düşük uygunluk	0
Düşük uygunluk	0
Orta uygunluk	1
Yüksek uygunluk	27
Çok yüksek uygunluk	28

4.5.1. Antalya ili mevcut santrallerin değerlendirilmesi

Antalya ilinde mevcut konumlarına ilişkin 54 GES sahası değerlendirilmiş ve bu santrallerden 33'ünün uygun olmayan alanlarda olduğu belirlenmiştir. Uygun olmayan santrallerden 7'si yol güzergahlarına 100 m yakınında, 31'i yerleşim alanlarına 500 m yakınında ve 6'sı mevcut su kaynaklarına 100 m yakınında bulunmaktadır. Antalya ili sınırları içindeki arazi nitelikleri, kısıtlama faktörleri esas alınarak hazırlanan uygunluk haritası Şekil 4.32'de sunulmuştur.



Şekil 4.32. Antalya ili GES için uygun alanlar

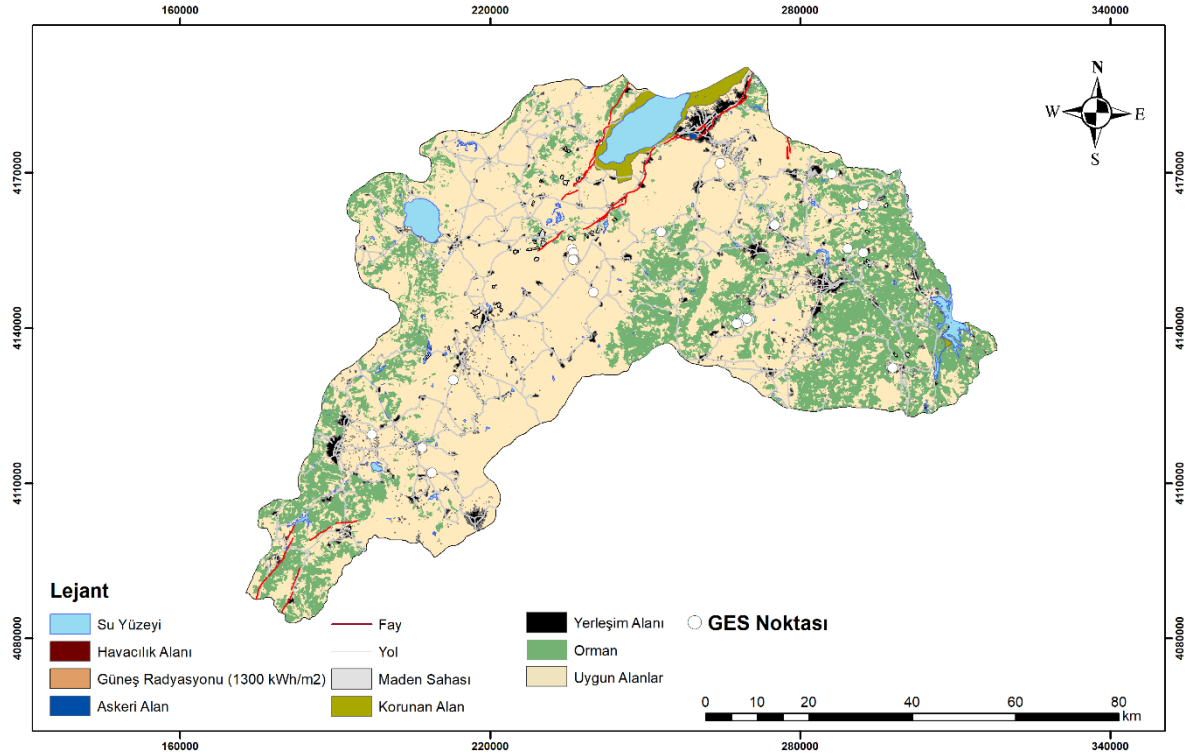
Elde edilen duyarlılık sınıflarına göre incelendiğinde, 10 santral yüksek uygunluk sınıfında, 1 santral orta uygunluk sınıfında ve 10 santral ise çok yüksek uygunluk sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Antalya ili mevcut kurulu GES alanlarının duyarlılık alanlarına göre sınıflandırılması

Duyarlılık	Mevcut GES sayısı
Uygun olmayan alanlar	33
Çok düşük uygunluk	0
Düşük uygunluk	0
Orta uygunluk	1
Yüksek uygunluk	10
Çok yüksek uygunluk	10

4.5.2. Burdur ili mevcut santrallerin değerlendirilmesi

Burdur ilinde mevcut konumlarına ilişkin 27 GES sahası değerlendirilmiş ve bu santrallerden 13'ünün uygun olmayan alanlarda olduğu belirlenmiştir. Uygun olmayan santrallerden 2'si yol güzergahlarına 100 m yakınında, 14'ü yerleşim alanlarına 500 m yakınında ve 1'i mevcut su kaynaklarına 100 m yakınında bulunmaktadır. Burdur ili sınırları içindeki arazi nitelikleri, kısıtlama faktörleri esas alınarak hazırlanan uygunluk haritası Şekil 4.33'te sunulmuştur.



Şekil 4.33. Burdur ili GES için uygun alanlar

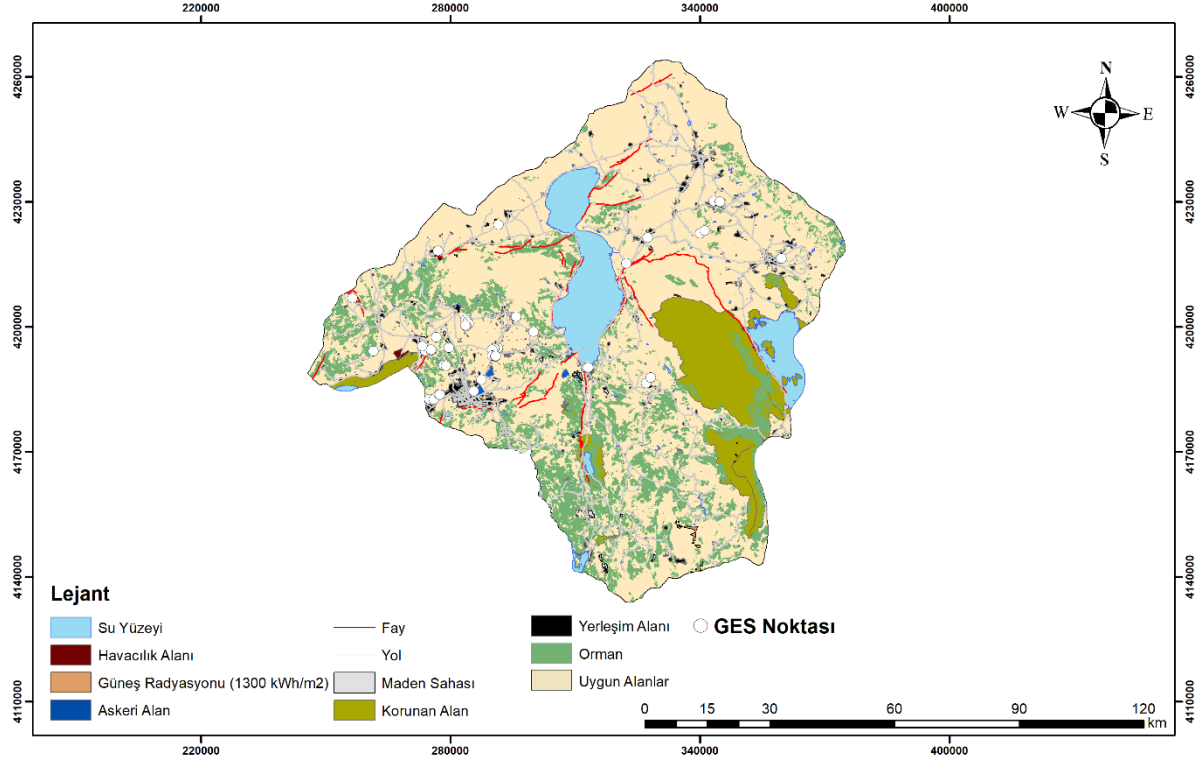
Elde edilen duyarlılık sınıflarına göre incelendiğinde, 7 santral yüksek uygunluk sınıfında ve 7 santral ise çok yüksek uygunluk sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Burdur ili mevcut kurulu GES alanlarının duyarlılık alanlarına göre sınıflandırılması

Duyarlılık	Mevcut GES sayısı
Uygun olmayan alanlar	13
Çok düşük uygunluk	0
Düşük uygunluk	0
Orta uygunluk	0
Yüksek uygunluk	7
Çok yüksek uygunluk	7

4.5.3. Isparta ili mevcut santrallerin değerlendirilmesi

Isparta ilinde mevcut konumlarına ilişkin 27 GES sahası değerlendirilmiş ve bu santrallerden 26'sının uygun olmayan alanlarda olduğu belirlenmiştir. Uygun olmayan santrallerden 1'i maden sahasının 250 m yakınında, 2'si fay hatlarının 440 m yakınında, 8'i yol güzergahlarına 100 m yakınında, 22'si yerleşim alanlarına 500 m yakınında ve 4'ü mevcut su kaynaklarına 100 m yakınında bulunmaktadır. Isparta ili sınırları içindeki arazi nitelikleri ve kısıtlama faktörleri esas alınarak hazırlanan uygunluk haritası, Şekil 4.34'te sunulmuştur.



Şekil 4.34. Isparta ili GES için uygun alanlar

Elde edilen duyarlılık sınıflarına göre incelendiğinde, 10 santral yüksek uygunluk sınıfında ve 11 santral ise çok yüksek uygunluk sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.13).

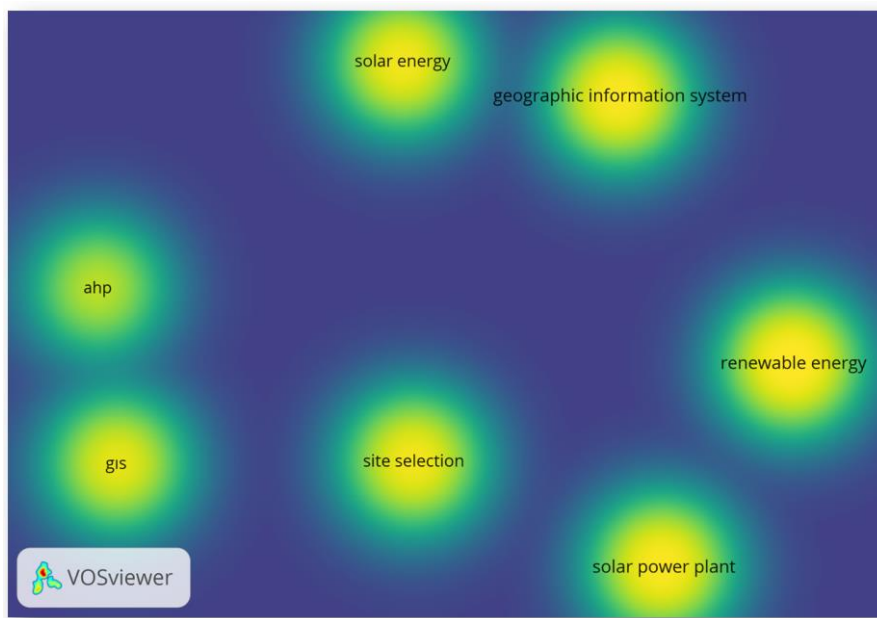
Çizelge 4.13. Isparta ili mevcut kurulu GES alanlarının duyarlılık alanlarına göre sınıflandırılması

Duyarlılık	Mevcut GES sayısı
Uygun olmayan alanlar	26
Çok düşük uygunluk	0
Düşük uygunluk	0
Orta uygunluk	0
Yüksek uygunluk	10
Çok yüksek uygunluk	11

4.6. Tartışma

Artan nüfus ve fosil yakıtların sebep olduğu sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi sebeplerle, yenilenebilir enerjiye geçiş son yıllarda hızla artmıştır (Cai ve Bréon 2021). Önceki bölümlerde verilen Şekil 2.3'teki grafikte görüldüğü üzere, güneş enerjisinin küresel enerji sektöründeki payının her geçen gün arttığı gözlemlenmektedir.

Türkiye'de ve küresel düzeyde, GES yer seçimi üzerine yapılan çalışmalar sıkça akademik literatürde bulunmaktadır. Bu araştırmalarda, bilimsel ilkelere göre yer seçimi için çeşitli kriterlerin analiz edildiği ve farklı kriterlerin önem sıralamasının yapılmasında ÇKKV yöntemlerine başvurulduğu gözlemlenmiştir. 2019-2024 yılları arasında SCI (Science Citation Index) kategorinde yer alan GES yer seçimi çalışmalarının anahtar kelimelerine ilişkin gerçekleştirilen bibliyometrik analizde AHP yönteminin sıklıkla yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Anahtar kelimelere göre gerçekleştirilen bibliyometrik analiz sonuçları

AHP, yönteminin dezavantajı, subjektif değerlendirmelerin neden olduğu belirsizliktir. Bu belirsizliğin göz ardı edilmesi, sonuçları olumsuz yönde etkilemektedir (Arca vd. 2023). Uzar ve Koca (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada AHP ve BAHP yöntemleri karşılaştırılmış, BAHP ile elde edilen sonuçların daha gerçeğe yakın modeller sunduğu ifade edilmiştir. Bu sebeplerle, bu çalışmada BAHP yöntemi uygulanmış ve karar vericinin belirsiz görüşleri net bir değer yerine, üçgensel bulanık sayılar kullanılarak belirli bir aralıkta ele alınmıştır.

Bu çalışmada, GES yer seçimi için iklim, ekonomi, topoğrafya ve çevre faktörlerine ilişkin 11 kriter belirlenmiş ve enerji mühendisi, çevre mühendisi, jeoloji mühendisi ve şehir planlamacıdan oluşan 7 uzmanın görüşlerine başvurulmuştur. Bu tür çalışmalarda kriterleri değerlendirmek için anket yapılmakta ve uzmanların görüşlerine ilişkin ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır. Fakat bu çalışmada, iklim faktörüne ilişkin kriterlerin kıyaslanması aşamasında makine öğrenimi ile elde edilen sonuçlar esas alınmıştır. Bu sebeple farklı görüşlere ait matrislerin tutarsızlığa sebep olabileceği öngörüldüğü için tek matris altında uzman görüşleri, literatür gözlemleri ve makine öğrenimi sonuçları sentezlenerek kriterler BAHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır.

Bu çalışmanın en önemli bölümlerinden biri olan iklim değişkenlerinin makine öğrenmesi yöntemleriyle değerlendirilmesi, kriterlerin kıyaslanması aşamasında ÇKKV yöntemlerinin getirmiş olduğu sübjektifliği azaltmış olması sebebiyle literatüre katkı sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalarda, iklim boyutunu oluşturan değişkenler arasında güneş ışıınımı, nispeten sıcaklık ve güneşlenme süresi kriterleri tercih edilmektedir. Ancak, makine öğrenimi analizleriyle bulut sıklığı ve su buharı yoğunluğu gibi kriterlerin de ışıınım miktarlarını etkilediği belirlenmiş ve bu kriterlerin de iklim faktörü içerisinde değerlendirilmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bölgede yer alan istasyon sayısının az olması nedeniyle güneşlenme süresi kriteri değerlendirmeye alınmamıştır. Ancak, yersel istasyon sayısının az olmasının getirdiği dezavantajlar, uydu verilerinin kullanılmasıyla azaltılmıştır. Uydu verilerinden türetilen güneş ışıınımı, bulut sıklığı, su buharı yoğunluğu ve sıcaklık verileri, istasyon olmayan alanlar hakkında da bilgi sağladığı için bu tür çalışmalarda oldukça verimli olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen kriterler arasında yer alan ve güneşin geliş açısını yansıtan bakı kriterinde, güney, güneybatı ve güneydoğu cepheleri GES açısından uygun olarak değerlendirilmiştir. Ancak, teknolojinin gelişmesiyle birlikte güneşi takip eden sistemler kullanılarak GES'lerin yönelimi değiştirilebilir hale gelmiş ve böylelikle gereken panel sayısını azaltma imkanı sağlanmıştır. Buna ek olarak, izleme sistemlerinin ek maliyetlere yol açtığı ve bunun bir dezavantaj olarak dikkate alınması gerekmektedir (Rad vd. 2020).

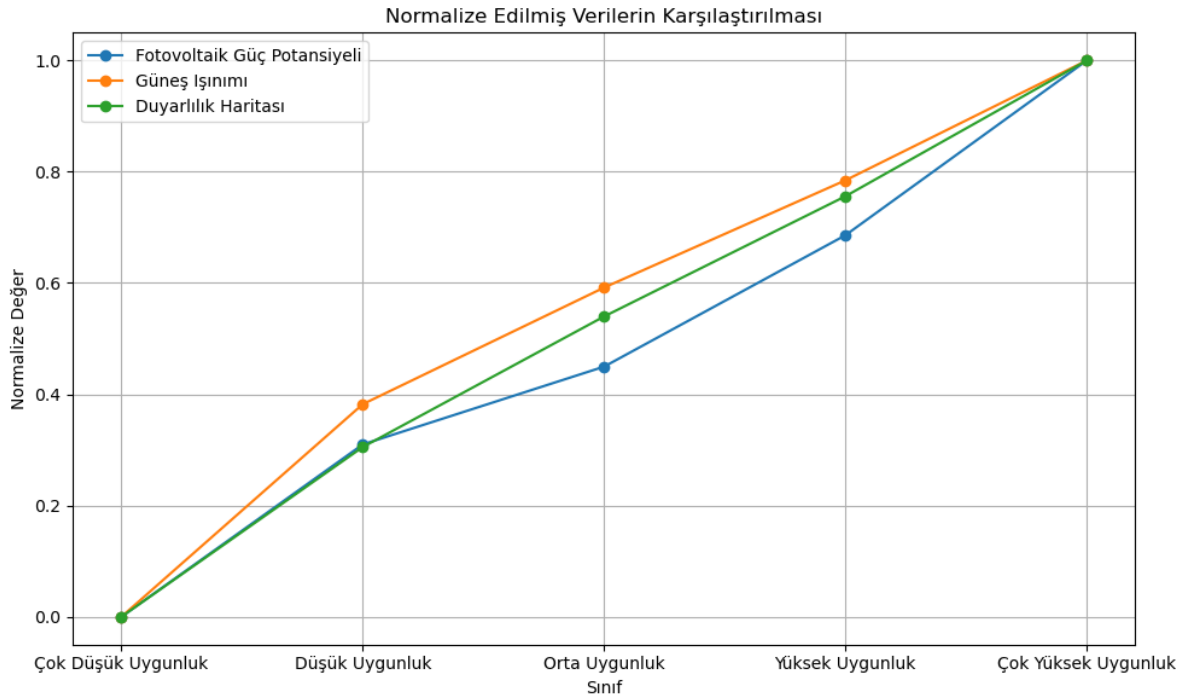
GES yer seçimi çalışmalarında en çok önem ağırlığına sahip kriterin güneş ışıınımı olduğu ve diğer kriterlerin ağırlıklarına ilişkin belirli bir standart olmadığı gözlemlenmiştir. Bu farklılığın sebebi bölgesel olarak çeşitli değişkenlerin ve kriter sayısının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada literatüre benzer şekilde en çok önem ağırlığına sahip kriter güneş ışıınımı (%26,01) olmuştur.

Kriterlerin ağırlık değerlerine göre karşılaştırılması ile Batı Akdeniz Bölgesi için bir duyarlılık haritası oluşturulmuş ve bu harita altı sınıfa ayrılmıştır. Sonuç haritasının farklı verilerle kıyaslanması aşamasında SolarGIS tarafından üretilen fotovoltaiik enerji güç potansiyeli (PVOUT) ve güneş ışıınımı verileri kullanılmıştır (SolarGIS 2020). Uygun olmayan alanlar maskelenerek diğer beş sınıf (çok düşük uygunluk, düşük uygunluk, orta uygunluk, yüksek uygunluk, çok yüksek uygunluk) için PVOUT, güneş ışıınımı ve nihai duyarlılık haritasının piksel ortalamaları her bir sınıf için GIS yazılımında elde edilmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Duyarlılık sınıflarına göre fotovoltaik güç potansiyeli, güneş ışınlımı ve duyarlılık haritası değerlerinin ortalamaları

Sınıf	Fotovoltaik Güç Potansiyeli (kWh/Kwp)	Güneş Işınımı (KWh/m ²)	Duyarlılık Haritası
Çok Düşük Uygunluk	1.638	1.717	0,486
Düşük Uygunluk	1.653	1.753	0,595
Orta Uygunluk	1.659	1.773	0,678
Yüksek Uygunluk	1.671	1.791	0,755
Çok Yüksek Uygunluk	1.685	1.812	0,842

Verilerin dağılımını incelemek amacıyla normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 4.36'daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Fotovoltaik güç potansiyeli, güneş ışınlımı ve duyarlılık haritasının karşılaştırmalı analizi

Bu grafik, Batı Akdeniz Bölgesi için yapılan duyarlılık haritasının güvenilir olduğunu göstermektedir. Güneş ışınlamı, duyarlılık haritası ve fotovoltaik güç potansiyeli verilerinin normalize edilmiş değerleri, uygunluk sınıflarına göre artan bir eğilim göstermektedir. Bu durum, fotovoltaik enerji potansiyeli ve güneş ışınlamı verileri ile büyük bir uyum içinde olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, duyarlılık haritasının güvenilir olduğunu destekleyerek yapılan analizlerin doğruluğunu ve haritanın güvenilirliğini pekiştirmektedir.

Bu çalışmanın son aşamasında, 128 adet GES değerlendirilmiş ve bunlardan 72'sinin uygun olmadığı belirlenmiştir. Fay hatlarına yakın olan 2 santralin konumları tekrar değerlendirilmeli ve bölgedeki fayların depremselliği ile zemin koşulları araştırılmalıdır. Bu, olası bir deprem durumunda panellerin zarar görmesini önleyebilir. Sulak alanlara yakın olan 11 santralin konumları da tekrar değerlendirilmeli ve bölgedeki su kaynaklarının sel potansiyeli incelenmelidir. Yol yakınında bulunan 17 santralin, olası bir kaza durumunda panellerin zarar görebileceği düşünülerek konumlarının değiştirilmesi önerilmiştir. Açık maden işletmelerine yakın olan bir santralin verimini artırmak için mümkün olduğunca uzak olması gerektiği belirtilmiştir. Yerleşim alanlarına yakın olan 67 santralin ise kentsel büyümenin getirdiği dezavantajlardan etkilenmemesi için bölgesel planlamalar çerçevesinde konumlarının değerlendirilmesi önerilmektedir.

Benzer çalışmalarda, çalışma alanına özgü kriterlerin tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, bölge için stratejik planlama yapılması ve yatırımcıların GES projeleri için en iyi konumları belirlemesine yardımcı olabilecek değere sahiptir. Buna ek olarak, spesifik projelerin planlanmasında mikro-ölçekli iklim analizlerinin yapılabilmesi için daha ayrıntılı saha çalışmalarına ihtiyaç vardır.

5. SONUÇLAR

Dünya nüfusu giderek artmakta ve bu durum enerji ihtiyacını da artırmaktadır. Bu da devletler için önemli bir sorundur. Enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması, sürdürülebilir olması ve iklim değişikliği ile mücadele açısından büyük önem taşır.

Bu çalışmada, Batı Akdeniz Bölgesi'nde GES için uygun alanları belirlemek amacıyla 11 kriter esas alınmıştır. Çalışmada, ÇKKV yöntemlerinden biri olan BAHP yöntemi kullanılmıştır. GES için belirleyici faktörler arasında güneş ışınımı, bulut sıklığı oranı, su buharı yoğunluğu ve sıcaklık gibi iklim özellikleri önemli yer tutmaktadır. Güneş ışınımı, GES'lerin verimliliğini belirleyen temel unsur olarak öne çıkmaktadır. Diğer iklim değişkenlerini oluşturan bulut sıklığı oranı, su buharı yoğunluğu ve sıcaklık gibi faktörlerin güneş ışınımına olan etkisi, makine öğrenmesi algoritmalarıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar, su buharı ve bulut sıklığının nispeten aynı derecede ancak bu iki kriterin sıcaklıkla kıyasla güneş ışınımını daha fazla etkilediğini göstermektedir. Bu bulgular, BAHP yöntemiyle kriter ağırlıklarının belirlenmesinde karar verici tarafından dikkate alınmıştır.

Ağırlık bakımından kriterler sıralandığında, güneş ışınımı (%26,01), yıllık ortalama bulut sıklığı oranı (%18,42), yıllık ortalama su buharı yoğunluğu (%18,42), yıllık ortalama sıcaklık (%12,12), enerji iletim hatlarına uzaklık (%9,22), arazi kullanımı (%4,40), yerleşim alanlarına uzaklık (%3,26), bakı (%3,22), eğim (%2,46), yükseklik (%1,33) ve ana yollara uzaklık (%1,08) olmak üzere sıralanmaktadır. Her bir kriter, CBS ortamında oluşturulmuş ve GES için duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Bu haritada, çevresel etkiler de değerlendirilmiş ve çevresel faktörlerden etkilenmeyen ve çevreye minimum etki sağlayan alanlar belirlenmiştir.

Sonuçlar, Batı Akdeniz Bölgesi'nin GES için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bölgede, yaklaşık 7.237 km²'lik bir alanın GES için uygun olduğu belirlenmiştir. Antalya ilinde 3.027 km², Burdur ilinde 2.106 km² ve Isparta ilinde 2.105 km² alanın GES için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Duyarlılık haritasına göre, mevcut kurulu santrallerin konumu da incelendi ve 128 GES'ten 72'sinin çevresel açıdan uygun olmadığı belirlenmiştir. Uygun olmayan bazı santrallerin fay hatlarına 440 metre yakın ve mevcut su kaynaklarına 100 metre yakınlıkta bulunması, olası deprem ve taşkın durumlarında ciddi etkilenme riski taşıdığını göstermektedir. Aynı şekilde, yol hatlarına 100 m daha yakın olan santrallerin bir kaza durumunda zarar görebilme ihtimali de göz önünde bulundurulması gereken bir risktir. Bu santrallerin konumlarının tekrar değerlendirilmesi, olası zararları azaltabilir.

Bu çalışma, gelecekte benzer araştırmalar için bir referans noktası olabilir ve bölgedeki enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklarla karşılanması için yol haritası çizilmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca, çalışmada farklı açık kaynak veriler ve uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak kriterlerin elde edilmesi aşamasında yararlı olduğu gözlemlenmiştir ve bu da farklı çalışmalara ışık tutabilir.

6. KAYNAKLAR

- Ahmad, M. W., Reynolds, J. ve Rezgui, Y. 2018. Predictive modelling for solar thermal energy systems: A comparison of support vector regression, random forest, extra trees and regression trees. *Journal of Cleaner Production*, 203, 810–821.
- Akinci, H. ve Özalp, A. Y. 2022. Optimal site selection for solar photovoltaic power plants using geographical information systems and fuzzy logic approach: a case study in Artvin, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9).
- Al Garni, H. Z. ve Awasthi, A. 2017. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206(September), 1225–1240.
- Alhammad, A., Sun, Q. ve Yaguang, T. 2022. Optimal Solar Plant Site Identification Using GIS and Remote, *Energies, MDPI*.
- Al-Tameemi, M. A. ve Chukin, V. V. 2016. Global water cycle and solar activity variations. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 142, 55–59.
- Alami Merrouni, A., Elwali Elalaoui, F., Mezrhab, Ahmed, Mezrhab, Abdelhamid ve Ghennioui, A. 2018. Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco, *Renewable Energy*, 119, 863–873.
- Alharbi, F. H. ve Kais, S. 2015. Theoretical limits of photovoltaics efficiency and possible improvements by intuitive approaches learned from photosynthesis and quantum coherence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1073–1089.
- Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J. ve Gyawali, S. (2019) GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy*, 132, 1360–1372.
- Arca, D., Keskin Citiroglu, H. ve Yalçınkaya, N. M. 2023. Determining optimal solar power plant (SPP) sites by technical and environmental analysis: the case of Safranbolu, Türkiye. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(17), 50829–50846.
- Asakereh, A., Soleymani, M. ve Sheikhdavoodi, M. J. 2017. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. *Solar Energy*, 155, 342–353.
- Besarati, S. M., Padilla, R. V., Goswami, D. Y. ve Stefanakos, E. 2013. The potential of harnessing solar radiation in Iran: Generating solar maps and viability study of PV power plants. *Renewable Energy*, 53, 193–199.
- Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine learning*, 5–32.
- Cai, Y. ve Bréon, F. M. 2021. Wind power potential and intermittency issues in the context of climate change. *Energy Conversion and Management*, 240.

- Chicco, D., Warrens, M. J. ve Jurman, G. 2021. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7, 1–24.
- CORINE. 2018. <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>. [Son erişim tarihi: 14.05.2023]
- Chmielewski, A. G. 1999. Environmental effects of fossil fuel combustion.
- Chu, Y. ve Meisen, P. 2011. Review and comparison of different solar energy technologies <http://www.geni.org/globalenergy/research/review-and-comparison-of-solar-technologies/Review-and-Comparison-of-Different-Solar-Technologies.pdf>. [Son erişim tarihi: 03.06.2024]
- Colak, H. E., Memisoglu, T. ve 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.
- Doorga, J. R. S., Rughooputh, S. D. D. V. ve Boojhawon, R. 2019. Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius. *Renewable Energy*, 133, 1201–1219.
- EarthEnv.2016. <https://www.earthenv.org/>. [Son erişim tarihi: 14.05.2023]
- Elboshy, B., Alwetaishi, M., M. H. Aly, R. ve Zalhaf, A. S. 2022. A suitability mapping for the PV solar farms in Egypt based on GIS-AHP to optimize multi-criteria feasibility. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101618.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2019. GEPA. <https://gepa.enerji.gov.tr/>. [Son erişim tarihi: 13.05.2024].
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2022. Türkiye Ulusal Enerji Planı Raporu. https://enerjiverimliligi.enerji.gov.tr/template/dist/pdf/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf. [Son erişim tarihi: 04.05.2024]
- Erdin, C. ve Ozkaya, G. 2019. Turkey's 2023 energy strategies and investment opportunities for renewable energy sources: Site selection based on ELECTRE. *Sustainability (Switzerland)*, 11(7).
- Esri-Sentinel 2 LULC. 2023. <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/#mapCenter=-121.63954%2C39.37073%2C11&mode=step&timeExtent=2017%2C2023&year=2023>. [Son erişim tarihi: 14.05.2023]
- Fu, R., James, T. L. ve Woodhouse, M. 2015. Economic measurements of polysilicon for the photovoltaic industry: Market competition and manufacturing competitiveness. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 5(2), 515–524.
- Geçen, R. 2019. Hatay ilinde güneş enerjisi potansiyeli ve güneş enerjisi santrali kurulacak alanlarının belirlenmesi. *Turkish Studies-Social Sciences*, 3031–3054.

- Giamalaki, M. ve Tsoutsos, T. 2019. Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach. *Renewable Energy*, 141, 64–75.
- Guechi, A., Chegaar, M. ve Merabet, A. 2011. The effect of water vapor on the performance of solar cells. *Physics Procedia*, 21, 108–114.
- Günen, M. A. 2021a. A comprehensive framework based on GIS-AHP for the installation of solar PV farms in Kahramanmaraş, Turkey. *Renewable Energy*, 178, 212–225.
- Günen, M. A. 2021b. Determination of the suitable sites for constructing solar photovoltaic (PV) power plants in Kayseri, Turkey using GIS-based ranking and AHP methods. *Environmental Science and Pollution Research (2021)* 28:57232–57247.
- Hart, M. 2015. Hubris: The troubling science, economics, and politics of climate change.
- Herrando, M. ve Markides, C. N. 2016. Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: Techno-economic considerations. *Applied Energy*, 161, 512–532.
- Hooshangi, N., Mahdizadeh Gharakhanlou, N. ve Ghaffari Razin, S. R. 2023. Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*.
- IEA. 2011. Solar Energy Perspectives. <https://www.iea.org/reports/solar-energy-perspectives> [Son erişim tarihi: 12.02.2023]
- IEA. 2022. Renewables 2022, Analysis and forecast to 2027. <https://www.iea.org/reports/renewables-2022> [Son erişim tarihi: 12.02.2023]
- IEA. 2023a. Electricity Market Report. <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-2023> [Son erişim tarihi: 12.02.2023]
- IEA. 2023b. World Energy Outlook. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> [Son erişim tarihi: 12.02.2023]
- IEA. 2024. Massive expansion of renewable power opens door to achieving global tripling goal set at COP28. <https://www.iea.org/news/massive-expansion-of-renewable-power-opens-door-to-achieving-global-tripling-goal-set-at-cop28> [Son erişim tarihi: 12.02.2023]
- Imamverdiev, N. S. 2022. Optimal Site Selection for Solar Photovoltaic Power Plants: A Case Study of the Nakhchivan Autonomous Republic, Azerbaijan. *Geography and Natural Resources*, 43(2), 189–199.
- IRENA. 2014. Estimating the Renewable Energy Potential in Africa: A GIS-based approach. <https://www.irena.org/publications/2014/Aug/Estimating-the-Renewable-Energy-Potential-in-Africa-A-GIS-based-approach> [Son erişim tarihi: 12.02.2023]
- IRENA. 2023. Renewable Energy Statistic. <https://www.irena.org/> [Son erişim tarihi: 12.02.2023]

- Jamshidi, S., Pourhossein, K. ve Asadi, M. 2021. Size estimation of wind/solar hybrid renewable energy systems without detailed wind and irradiation data: A feasibility study. *Energy Conversion and Management*
- Jerez, S., Tobin, I., Vautard, R., Montávez, J. P., López-Romero, J. M., Thais, F., Bartok, B., Christensen, O. B., Colette, A., Déqué, M., Nikulin, G., Kotlarski, S., Van Meijgaard, E., Teichmann, C. ve Wild, M. 2015. The impact of climate change on photovoltaic power generation in Europe. *Nature Communications*.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A. ve Kim, K. H. 2018. Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(September 2016), 894–900.
- Kaganski, S., Majak, J. ve Karjust, K. 2018. Fuzzy AHP as a tool for prioritization of key performance indicators. *Procedia CIRP*, 72, 1227–1232.
- Berry, A. R. 2005. Institutions, sustainability, and natural resources. S. Kant (Ed.). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer
- Khalyasmaa, A., Eroshenko, S. A., Chakravarthy, T. P., Gasi, V. G., Bollu, S. K. Y. B., Caire, R., Atluri, S. K. R. ve Karrolla, S. 2019. Prediction of Solar Power Generation Based on Random Forest Regressor Model. 17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe), 1–10.
- Kültür ve Turizm Bakanlığı. 2012. Dünden Bugüne Antalya. TC Antalya Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları, Antalya, 488 s.
- Kim, S. G., Lee, W. I. L. ve Yuseok, M. 2014. The estimation of derelict fishing gear in the coastal waters of South Korea: Trap and gill-net fisheries. *Marine Policy*, 46, 119–122.
- Kırcalı, Ş. ve Selim, S. 2021. Site suitability analysis for solar farms using the geographic information system and multi-criteria decision analysis: the case of Antalya, Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(4), 1233–1250.
- Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A. ve Le Traon, Y. 2016. A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. *Expert Systems with Applications*, 65, 398–422.
- Van Laarhoven, P. J. ve Pedrycz, W. 1983. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229–241.
- Lee, H. C. ve Chang, C. Ter 2018. Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92(April 2017), 883–896.
- Mensour, O. N., El Ghazzani, B., Hlimi, B. ve Ihlal, A. 2019. A geographical information system-based multi-criteria method for the evaluation of solar farms locations: A case study in Souss-Massa area, southern Morocco. *Energy*, 182, 900–919.

- MGM. Resmi İstatistikler. <https://mgm.gov.tr/> [Son erişim tarihi: 02.05.2024]
- Mohanty, P., Muneer, T., Gago, E. J. ve Kotak, Y. 2016. Solar radiation fundamentals and PV system components, *Green Energy and Technology*.
- Noorollahi, Y., Ghenaatpisheh Senani, A., Fadaei, A., Simaee, M. ve Moltames, R. 2022. A framework for GIS-based site selection and technical potential evaluation of PV solar farm using Fuzzy-Boolean logic and AHP multi-criteria decision-making approach. *Renewable Energy*, 186(2022), 89–104.
- Nurjanah, S., Dewi, T. ve Rusdianasari 2021. Dusting and Soiling Effect on PV Panel Performance: Case Study Open-pit Mining in South Sumatra, Indonesia. *Proceedings - IEIT 2021: 1st International Conference on Electrical and Information Technology*, 251–256.
- OpenStreetMap. 2006. <https://www.openstreetmap.org/export#map=5/51.500/-0.100>. [Son erişim tarihi: 14.05.2023]
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C. ve Kothari, S. 2011. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513–1524.
- Pekel, E. 2020. Estimation of soil moisture using decision tree regression. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(3–4), 1111–1119.
- Pohekar, S. D. ve Ramachandran, M. 2004. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), 365–381.
- Rad, M. A. V., Toopshekan, A., Rahdan, P., Kasaeian, A., ve Mahian, O. 2020. A comprehensive study of techno-economic and environmental features of different solar tracking systems for residential photovoltaic installations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109923.
- Radivojević, A. R., Pavlović, T. M., Milosavljević, D. D., Djordjević, A. V., Pavlović, M. A., Filipović, I. M., Pantić, L. S. ve Punišić, M. R. 2015. Influence of climate and air pollution on solar energy development in Serbia. *Thermal Science*, S311–S322.
- Rediske, G., Siluk, J. C. M., Michels, L., Rigo, P. D., Rosa, C. B. ve Cugler, G. 2020. Multi-criteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil. *Energy*, 197, 117167.
- Reig-Mullor, J., Pla-Santamaria, D. ve Garcia-Bernabeu, A. 2020. Extended fuzzy analytic hierarchy process (E-fahp): A general approach. *Mathematics*, 8(11), 1–14.
- Şen, Z. 2004. Solar energy in progress and future research trends. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(4), 367–416.

- Şengül, Ü., Eren, M., Eslamian Shiraz, S., Gezder, V. ve Sengül, A. B. 2015. Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. *Renewable Energy*, 75, 617–625.
- Saaty, T. L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A. A., Ghorbani, M. A. ve Shahbazi, F. 2018. Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. *Geoderma*, 178–190.
- Shorabeh, S. N., Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Firozjaei, H. K. ve Jelokhani-Niaraki, M. 2019. A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran. *Renewable Energy*, 143, 958–973.
- Solarpaces. 2021. How Concentrated Solar Power Works. <https://www.solarpaces.org/> [Son erişim tarihi: 10.01.2023].
- Shrestha, N. 2020. Detecting Multicollinearity in Regression Analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 8(2), 39–42.
- Shriki, N., Rabinovici, R., Yahav, K. ve Rubin, O. 2023. Prioritizing suitable locations for national-scale solar PV installations: Israel's site suitability analysis as a case study. *Renewable Energy*, 205(August 2022), 105–124.
- Sims, R. E. H. 2003. Bioenergy to mitigate for climate change and meet the needs of society, the economy and the environment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 8(4), 349–370.
- Smith, C. J., Crook, R. ve Forster, P. M. 2015. Changes in solar PV output due to water vapour loading in a future climate scenario. EU PVSEC Proceedings. 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2102–2105.
- SolarGIS. 2020. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download>. [Son erişim tarihi: 14.02.2024]
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete 2010. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100604-5.htm>. [Son erişim tarihi: 10.01.2023].
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete 2017. Doğal Sit Alanlarında Güneş Enerjisi Santrali (GES) İlke Kararı. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/01/20170125-15.htm>. [Son erişim tarihi: 10.01.2023].
- TÜİK. İstatistik Veri Portalı. <https://data.tuik.gov.tr/>. [Son erişim tarihi: 10.01.2023].
- Spyridonidou, S. ve Vagiona, D. G. 2023. A systematic review of site-selection procedures of PV and CSP technologies. *Energy Reports*, 9, 2947–2979.

- Sun, D. ve Wang, L. 2016. Research on heat transfer performance of passive solar collector-storage wall system with phase change materials. *Energy and Buildings*, 119, 183–188.
- Tercan, E., Eymen, A., Urfalı, T. ve Saracoglu, B. O. 2021. A sustainable framework for spatial planning of photovoltaic solar farms using GIS and multi-criteria assessment approach in Central Anatolia, Turkey. *Land Use Policy*, 102.
- Türk, S., Koç, A. ve Şahin, G. 2021. Multi-criteria of PV solar site selection problem using GIS-intuitionistic fuzzy based approach in Erzurum province/Turkey. *Scientific Reports*, 11(1).
- Ulutaş, A. ve Karaca, C. 2021. Selection of Renewable Energy Sources for Sustainable Development and an Economic Model Proposal for Countries. *Research Anthology on Clean Energy Management and Solutions*, 1258–1276.
- Uyan, M. 2013. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11–17.
- Uyan, M. 2017. Optimal site selection for solar power plants using multi-criteria evaluation: A case study from the Ayrancı region in Karaman, Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(9), 2231–2244.
- Uzar, M. ve Koca, H. 2020. Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi için uygunluk haritasının oluşturulmasında klasik ve bulanık mantığa dayalı yöntemlerin analizi: Menemen örneği. *Journal of Geodesy and Geoinformation*.
- Vafaeipour, M., Hashemkhani Zolfani, S., Morshed Varzandeh, M. H., Derakhti, A. ve Keshavarz Eshkalag, M. 2014. Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid multi-criteria decision making approach. *Energy Conversion and Management*, 86, 653–663.
- Villacreses, G., Jijón, D., Nicolalde, J. F., Martínez-Gómez, J. ve Betancourt, F. 2023. Multicriteria Decision Analysis of Suitable Location for Wind and Photovoltaic Power Plants on the Galápagos Islands. *Energies*, 16(1).
- Watson, J. J. W. ve Hudson, M. D. 2015. Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 138, 20–31.
- Xu, M., Watanachaturaporn, P., Varshney, P. K. ve Arora, M. K. 2005. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 97(3), 322–336.
- Yalçın, C. ve Yüce, M. 2020. Burdur’da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Yöntemiyle Tespiti. *Geomatik*.

- Yousif, J. H., Kazem, H. A., Alattar, N. N. ve Elhassan, I. I. 2019. A comparison study based on artificial neural network for assessing PV/T solar energy production. *Case Studies in Thermal Engineering*.
- Zalhaf, A. S., Elboshy, B., Kotb, K. M., Han, Y., Almaliki, A. H., Aly, R. M. H. ve Elkadeem, M. R. 2022. A high-resolution wind farms suitability mapping using gis and fuzzy ahp approach: A national-level case study in Sudan. *Sustainability (Switzerland)*, 14(1), 1–21.
- Zhou, J., Li, E., Wei, H., Li, C., Qiao, Q. ve Armaghani, D. J. 2019. Random forests and cubist algorithms for predicting shear strengths of rockfill materials. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(8), 1–16.



ÖZGEÇMİŞ

İsmail YILMAZ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2022-2024	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2017-2022	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, Eskişehir
Ön lisans 2014-2016	Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler M.Y.O, Mimarlık ve Şehir Planlama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Antalya

ESERLER

SCI, SSCI, AHCI indekslerine giren dergilerde yayınlanan makaleler

1- Aksoy, E., Kocer, A., Yilmaz, İ., Akçal, A. N., & Akpınar, K. (2023). Assessing Fire Risk in Wildland–Urban Interface Regions Using a Machine Learning Method and GIS data: The Example of Istanbul’s European Side. Fire, 6(10), 408.

Hakemli kongre/sempozyumların bildiri kitaplarında yer alan yayınlar

1- Yılmaz, İ. (2021). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Eskişehir İli Potansiyel Erozyon Alanlarının Belirlenmesi. Uluslararası Katılımlı 73. Türkiye Jeoloji Kurultayı. 24 Mayıs 2021, 28 Mayıs 2021.

2- Yılmaz, İ., & Yasin, D. (2022). Identification of Groundwater Potential Area Using Remote Sensing and GIS Technique: An Example for Eskişehir/İnönü Plain. 5th

International African Conference on Current Studies of Science, Technology & Social Sciences, 02 Şubat 2022, 05 Subat 2022.

Kitap ve kitap bölümleri

1- Yılmaz, İ., Özgürel, Y., Kabaş, Ö., Aksoy, E., Koçer, A., & Güllüdağ, C. B. (2023). Tarımsal Üretimde Termal Uzaktan Algılama Uygulamaları, in: Bahçe Tarımında Araştırmalar ve Uygulamalar, A. Çığ & M. Z. Karıpcin (Eds.), IKSAD International Publishers, Ankara, pp.99-132

TUBİTAK burs ve destekleri

2220392, Hava Kirleticisi Ölçen İnsansız Hava Aracı Tasarımı ve 3D Hava Modellemesi, Proje Personeli, Tamamlandı, 1512- Girişimcilik Aşamalı, TEYDEB, Proje Başlangıç/Bitiş Tarihleri: 01.02.2023- 31.01.2024.