

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORMU KULLANILARAK MEVCUT
GÜNEŞ TARLALARININ BELİRLENMESİ VE GÜNEŞ TARLALARI İÇİN
YER SEÇİMİ**

Şura KIRCALI

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

TEMMUZ 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORMU KULLANILARAK MEVCUT
GÜNEŞ TARLALARININ BELİRLENMESİ VE GÜNEŞ TARLALARI İÇİN
YER SEÇİMİ**

Şura KIRCALI

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

TEMMUZ 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORMU KULLANILARAK MEVCUT
GÜNEŞ TARLALARININ BELİRLENMESİ VE GÜNEŞ TARLALARI İÇİN
YER SEÇİMİ**

**Şura KIRCALI
ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

Bu tez 100/2000 Yükseköğretim Kurulu Doktora Bursu ile desteklenmiştir.

TEMMUZ 2025

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORMU KULLANILARAK MEVCUT
GÜNEŞ TARLALARININ BELİRLENMESİ VE GÜNEŞ TARLALARI İÇİN
YER SEÇİMİ

Şura KIRCALI
ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 07/07/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN (Danışman)
Prof. Dr. Ziya GENÇEL
Prof. Dr. Serkan KEMEÇ
Doç. Dr. Engin KEPENEK
Doç. Dr. Sinan LEVEND

ÖZET

GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORMU KULLANILARAK MEVCUT GÜNEŞ TARLALARININ BELİRLENMESİ VE GÜNEŞ TARLALARI İÇİN YER SEÇİMİ

Şura KIRCALI

Doktora Tezi, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN

Temmuz 2025; 127 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynakları iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılması, sürdürülebilirlik ve çevresel değerlerin korunması açısından önemlidir. Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisine yönelerek önce güneş tarlalarının mevcut konumlarının uzaktan algılama verileri ve makine öğrenme algoritmaları ile tespit edilmesi, sonrasında da yeni yapılabilecek kurulum alanları için uygun yer seçimi önerilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada başlıca üç aşama bulunmaktadır: (i) Mevcut güneş tarlalarının Makine Öğrenme Algoritmaları kullanılarak belirlenmesi, (ii) Güneş tarlaları için uygun alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi (Multi-Criteria Decision Analysis - MCDA) yöntemleri kullanılarak tespit edilmesi ve (iii) Mevcut güneş tarlaları ile potansiyel alanların karşılaştırılması ve değerlendirilmesi.

İlk aşamada çalışma alanı olarak belirlenen Antalya ili için sahip olduğu mevcut güneş tarlası kurulu gücünün bulut tabanlı Google Earth Engine (GEE) Platformu kullanılarak Rastgele Orman (Random Forest - RF), Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines - SVM) ve Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (Classification and Regression Trees - CART) Makine Öğrenme Algoritmaları aracılığıyla sınıflandırma yapılması ile güneş tarlalarının tespit edilmesi üzerine çalışılmıştır. Kullanılan uydu görüntülerine; Arazi Yüzey Sıcaklığı, Dijital Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model - DEM) ve bitki örtüsü, su, toprak, nem ve kentsel alanlara ilişkin indeks görüntüleri, ek bant olarak eklenmiş ve hiper parametre ayarlaması yapılmıştır. Ek bantların doğruluk sonuçları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sınıflandırma algoritmalarının doğrulukları Hata Matrisi ve McNemar's Test yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Antalya ili için güncel güneş tarlası haritası oluşturulmuştur.

İkinci aşamada MCDA yöntemleri ile güneş tarlaları için uygun alanların tespit edilmesi amacıyla yer seçimi yapılmıştır. Bu aşamada Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process, AHP) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) yöntemleri kullanılmıştır. Literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda iklim, lojistik ve coğrafyaya yönelik kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriter haritaları oluşturulduktan ve kriter ağırlıkları elde edildikten sonra AHP için Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) analizi, TOPSIS için Ters Mesafe Ağırlıklandırması (Inverse Distance Weighted, IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak potansiyel açıdan uygun alan haritaları oluşturulmuştur. Son

aşamada ise tespit edilen mevcut güneş tarlası alanları ile belirlenen uygun alanlar karşılaştırılmış ve sonuçları planlama açısından değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, mevcut güneş tarlalarının belirlenmesinde en doğru sonucu %89 genel doğruluk değeri ile SVM algoritması vermiştir. Genel doğruluk değeri RF algoritması sonucu için %86, CART algoritması sonucu için ise %72 olarak hesaplanmıştır. Hata Matrisi ile elde edilen bu değerler, McNemar's Test ile yapılan ikili karşılaştırma matrisi sonucunda tutarlı ve anlamlı çıkmıştır.

Yer seçimi sonuçlarına göre AHP ile çalışma alanının %27,46'sı güneş tarlası yer seçimi için çok uygun çıkmıştır, TOPSIS sonuçlarında da bu oran %34,93'tür. AHP ile elde edilen sonuçlar daha detaylı iken; TOPSIS ile elde edilen sonuçlar enterpolasyonun etkisiyle daha genelleyici bir dağılım göstermiştir. AHP ve TOPSIS ile elde edilen çok uygun alanların kesişimi alındığında ise bu oranın %15,28 olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Google Earth Engine, Güneş Tarlası, Görüntü Sınıflandırma, Tespit, Yer Seçimi

JÜRİ: Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN

Prof. Dr. Ziya GENÇEL

Prof. Dr. Serkan KEMEÇ

Doç. Dr. Engin KEPENEK

Doç. Dr. Sinan LEVEND

ABSTRACT

DETERMINATION OF EXISTING SOLAR FARMS AND SITE SELECTION FOR SOLAR FARMS USING GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORM

Şura KIRCALI

PhD Thesis in City and Regional Planning

Supervisor: Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN

July 2025; 127 pages

Renewable energy sources are important in terms of reducing the negative effects of climate change, sustainability and protection of environmental values. In this study, by focusing on solar energy among renewable energy sources, it is aimed to determine the current locations of solar fields by using remote sensing data and machine learning algorithms, and then to recommend suitable locations for new installation areas. There are mainly three stages in the study: (i) Identification of existing solar farms using Machine Learning Algorithms, (ii) Identification of suitable areas for solar farms using GIS based Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Methods and (iii) Comparison and evaluation of existing solar farms and potential areas.

In the first stage, the existing solar farm installed capacity of Antalya province, which was determined as study area, was classified using Machine Learning Algorithms of Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM) and Classification and Regression Trees (CART) via the cloud-based Google Earth Engine (GEE) Platform. The Land Surface Temperature, Digital Elevation Model (DEM) and indices related to vegetation, water, soil, humidity, urban, were added to the satellite images as additional bands and hyper parameter tuning were applied. The effects of the additional bands on the accuracy results were evaluated. The accuracies of the classification algorithms were compared by Error Matrix and McNemar's Test methods. According to the results obtained, an up-to-date solar farm map has been created for Antalya province.

In the second stage, site selection was carried out using MCDA methods to identify suitable areas for solar farms. At this stage, Analytic Hierarchy Process (AHP) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods were used. Criteria related to climate, logistics and geography were determined based on the literature review and expert opinions. After the criteria maps were created and criteria weights were obtained, potentially suitable area maps were created using Weighted Overlay analysis for AHP and Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method for TOPSIS. In the last stage, the detected solar farm areas were compared with the determined suitable areas, and the results were evaluated in terms of planning.

According to the results obtained, the SVM algorithm provided the most accurate result in determining existing solar farms with overall accuracy value of 89%. The overall accuracy value was computed as 86% for RF algorithm result and 72% for CART algorithm result. These values were obtained with the Error Matrix, and they were found

to be consistent and meaningful when compared with the results of the pairwise comparison matrix using McNemar's test.

According to the site selection results, 27.46% of the study area was found to be very suitable for solar farm site selection with AHP, while this rate was 34.93% in TOPSIS results. While the results obtained with AHP were more detailed, the results obtained with TOPSIS showed a more generalised distribution due to the effect of interpolation.

KEYWORDS: Detection, Google Earth Engine, Image Classification, Site Selection, Solar Farms

COMMITTEE: Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN

Prof. Dr. Ziya GENÇEL

Prof. Dr. Serkan KEMEÇ

Assoc. Prof. Dr. Engin KEPENEK

Assoc. Prof. Dr. Sinan LEVEND

ÖNSÖZ

Değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN' a bu uzun süreç boyunca bana yol gösterdiği, rehberliğini ve desteğini esirgemediği için teşekkür ederim. Bilimde ve yaşamda benimsediği etik ilkeleri ile yolumu aydınlattı.

Değerli Jüri üyelerimizden Sayın Prof. Dr. Ziya GENÇEL ve Sayın Prof. Dr. Serkan KEMEÇ' e tüm Tez İzleme Komiteleri boyunca yaptıkları değerli görüş ve katkılarıyla tezimin gelişimine sağladıkları destek için teşekkür ederim. Sayın Doç. Dr. Engin KEPENEK ve Sayın Doç. Dr. Sinen LEVEND'e de Doktora Tez Savunma Sınavı sürecinde tezimi detaylı bir şekilde okuyarak daha iyi hale gelmesi konusunda sağladıkları değerli görüş ve katkıları için teşekkür ederim.

Doktora eğitimim için 100/2000 YÖK Doktora Bursu kapsamında maddi destek sağlayan Yükseköğretim Kurulu'na teşekkür ederim.

Son olarak aileme ve arkadaşlarıma hayatımda iz bırakan bu süreçte koşulsuz şekilde her zaman yanımda oldukları için teşekkür ederim. Başarıyla sonuçlanan her aşamayı sizlerle birlikte kutlamak mutluluğuma mutluluk kattı. Hayatımda olduğunuz için minnettarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Google Earth Engine ile Arazi Kullanımı Sınıflandırması	5
2.2. Güneş Tarlalarının Sınıflandırılması	6
2.3. Güneş Tarlaları için Uygun Yer Seçimi ve Kullanılan Kriterler.....	8
2.4. İlgili Yasa ve Yönetmelikler	13
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1. Çalışma Alanı	17
3.1.1. Güneş enerji potansiyeli	20
3.2. Veri Setleri ve Kullanılan Araçlar	22
3.2.1. Sentinel 2 uydu görüntüsü	22
3.2.2. Sentinel 1 uydu görüntüsü	23
3.2.3. Dijital yükseklik modeli	24
3.2.4. Landsat 9 uydu görüntüsü.....	24
3.2.5. MODIS uydu görüntüsü	24
3.2.6. Google Earth Engine.....	25
3.3. Görüntü İşleme ve Sınıflandırma Süreci	26
3.3.1. Uydu görüntü ön işleme.....	26
3.3.2. Görüntü zenginleştirme ve ek bantlar	27
3.3.3. Eğitim ve test verileri.....	31
3.3.4. Hiper parametre ayarlaması	32
3.3.5. Sınıflandırma algoritmaları.....	32
3.3.6. Doğruluk değerlendirmesi	37
3.4. Çok Kriterli Karar Verme Süreci	39

3.4.1. Analitik hiyerarşi süreci.....	39
3.4.2. AHP için belirlenen kriterler ve veri temini	42
3.4.3. GEE platformunda AHP	50
3.4.4. AHP duyarlılık analizi	53
3.4.5. TOPSIS yönteminin uygulanması	54
4. BULGULAR	59
4.1. Görüntü Zenginleştirme Sonuçları	59
4.1.1. Bantlara ait Spektral İmza değerleri	59
4.1.2. Bantların Özellik Önemi değerlerinin incelenmesi	60
4.1.3. Ek bantların doğruluğa etkisinin incelenmesi.....	61
4.2. Makine Öğrenme Algoritmaları Sınıflandırma Sonuçları ve Doğruluk Değerlendirmesi	62
4.2.1. Hiper parametre ayarlaması sonuçları	62
4.2.2. Makine Öğrenme Algoritmaları ile sınıflandırma haritaları.....	63
4.2.3. Doğruluk değerlendirme sonuçları	67
4.2.4. Güncellenmiş güneş tarlaları haritası.....	68
4.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Elde Edilen Sonuçlar	70
4.3.1. AHP uzman görüşü sonuçları	70
4.3.2. Kriterlerin haritalandırılması	72
4.3.3. Ana kriterlerin ağırlıklı karşılaştırılması	80
4.3.4. AHP ile güneş tarlaları için yerleşime uygunluk haritasının elde edilmesi.	82
4.3.5. TOPSIS ile yerleşime uygunluk haritasının elde edilmesi	84
4.3.6. AHP ve TOPSIS potansiyel alan karşılaştırması.....	85
5. TARTIŞMA	88
6. SONUÇLAR	94
7. KAYNAKLAR	97
8. EKLER.....	109
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Google Earth Engine Platformu Kullanılarak Mevcut Güneş Tarlalarının Belirlenmesi ve Güneş Tarlaları İçin Yer Seçimi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

07/07/2025

Şura KIRCALI

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CH₄ : Metan

Cm : Santimetre

CO₂ : Karbondioksit

kWh : Kilowatt saat

M : Metre

M² : Metrekare

MW : MegaWatt

NO₂ : Azot dioksit

O₃ : Ozon

S1 : Sentinel 1

S2 : Sentinel 2

Sa : Saat

° : Derece

“10,01” Ondalık Ayırıcı

Kısaltmalar

AHP : Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)

BSI : Bare Soil Index (Çıplak Toprak İndeksi)

CART : Classification and Regression Trees (Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları)

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri

DBSI : Dry Bare Soil Index (Kuru Çıplak Toprak İndeksi)

DEM : Digital Elevation Model (Dijital Yükseklik Modeli)

EVI : Enhanced Vegetation Index (Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi)

GEE : Google Earth Engine

GEPA : Güneş Enerji Potansiyeli Atlası

GNDVI: Green Normalized Difference Vegetation Index (Yeşil Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi)

LST : Land Surface Temperature (Arazi Yüzey Sıcaklığı)

MCDA: Multi Criteria Decision Analysis (Çok Kriterli Karar Analizi)

MNDWI: Modified Normalised Difference Water Index (Modifiye Normalize Fark Su İndeksi)

NDBI : Normalised Difference Built-Up Index (Normalize Fark Yapılaşmış-Alan İndeksi)

NDMI : Normalised Difference Moisture Index (Normalize Fark Nem İndeksi)

NDSI : Normalised Difference Sand Index (Normalize Fark Kum İndeksi)

NDVI : Normalised Difference Vegetation Index (Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi)

NDWI : Normalised Difference Water Index (Normalize Fark Su İndeksi)

NIR : Near Infrared (Yakın Kızıl Ötesi)

RBF : Radial Basis Function (Radyal Temelli Fonksiyon)

RF : Random Forest (Rastgele Orman)

RG : Rassallık Göstergesi

RNDSI: Ratio Normalised Difference Soil Index (Oran Normalize Fark Toprak İndeksi)

SAVI : Soil Adjusted Vegetation Index (Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi)

SVM : Support Vector Machines (Destek Vektör Makineleri)

SWIR : Short wave infrared (Kısa Dalga Kızıl Ötesi)

TEİAŞ: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

TG : Tutarlılık Göstergesi

TO : Tutarlılık Oranı

TOPSIS: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği)

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Mevcut güneş tarlalarının makine öğrenme algoritmaları ile tespit edilmesi ..16	16
Şekil 3.2. AHP ve TOPSIS ile potansiyel açıdan uygunluk haritalarının oluşturulması ..17	17
Şekil 3.3. Potansiyel alanlar ile mevcut kurulu güç haritalarının karşılaştırılması 17	17
Şekil 3.4. a) Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA 2022); b) Güneş enerji santrallerinin illere göre dağılım haritası (Pınar vd. 2020) 18	18
Şekil 3.5. Çalışma alanının Türkiye’deki konumu ve Google Earth görüntüsü üzerinde Antalya il sınırı 19	19
Şekil 3.6. Yıllara göre Antalya İli Nüfus Değişimi..... 19	19
Şekil 3.7. Yıllara göre Antalya ili elektrik tüketimi değişimi..... 20	20
Şekil 3.8. Antalya’nın güneş enerji potansiyeli (GEPA 2024) 21	21
Şekil 3.9. Türkiye’deki güneş santrallerinin dağılımı (Enerji Atlası 2024)..... 21	21
Şekil 3.10. Antalya’nın mevcut güneş tarlası kurulu gücü.....22	22
Şekil 3.11. Google Earth Engine arayüzü.....26	26
Şekil 3.12. Rastgele Orman Algoritması Çalışma Prensipleri (Belgiu ve Dragut 2016) 33	33
Şekil 3.13. Destek Vektör Makineleri (Yang vd. 2019) 34	34
Şekil 3.14. Doğrusal ayrılmayan veriler için SVM (Sheykhoum vd. 2020) 35	35
Şekil 3.15. Hata Matrisi (Jeppesen 2019) 38	38
Şekil 3.16. Analitik hiyerarşi yapısı 39	39
Şekil 3.17. Korunan alanlar haritası 49	49
Şekil 3.18. Eşik analizi 49	49
Şekil 3.19. TOPSIS kriter değerlendirmesi.....54	54
Şekil 3.20. TOPSIS analizi için tanımlanan rastgele dağılmış 10000 nokta.....57	57
Şekil 4.1. Bantlara ait ortalama spektral imza yansıma değerleri.....59	59
Şekil 4.2. Kompozit görüntüden elde edilen özellik önemi değerleri 60	60
Şekil 4.3. Makine öğrenme algoritmaları ile elde edilen sınıflandırma sonuçları.....65	65

Şekil 4.4. Güneş tarlaları odaklı sınıflandırma sonuçları.....	65
Şekil 4.5. Kurulu Güç (Güncellenmiş) Güneş Tarlası Haritası.....	69
Şekil 4.6. İklim kriterleri için elde edilen değerler	70
Şekil 4.7. Lojistik kriterleri için elde edilen değerler.....	71
Şekil 4.8. Coğrafya kriterleri için elde edilen değerler.....	72
Şekil 4.9. Ana kriterler için elde edilen değerler	72
Şekil 4.10. Güneş radyasyonu haritası	73
Şekil 4.11. Güneşlenme süresi haritası	73
Şekil 4.12. Yıllık ortalama sıcaklık haritası	74
Şekil 4.13. Yıllık ortalama yağış haritası	74
Şekil 4.14. Nemlilik haritası	75
Şekil 4.15. Trafoları uzaklık haritası.....	75
Şekil 4.16. İletim hatlarına uzaklık haritası	76
Şekil 4.17. Yollara uzaklık haritası	76
Şekil 4.18. Yerleşim alanlarına uzaklık haritası	77
Şekil 4.19. Su alanlarına uzaklık haritası.....	77
Şekil 4.20. Eğim haritası.....	78
Şekil 4.21. Bakı haritası	78
Şekil 4.22. Yükseklik haritası	79
Şekil 4.23. Arazi kullanımı haritası	79
Şekil 4.24. İklim kriterleri için elde edilen değerler	80
Şekil 4.25. Lojistik kriterleri için elde edilen değerler	81
Şekil 4.26. Coğrafya kriterleri için elde edilen değerler	81
Şekil 4.27 AHP ile elde edilmiş güneş tarlası için uygun alanlar haritası.....	82
Şekil 4.28 Senaryo 1 sonucu elde edilen uygun alan haritası	83
Şekil 4.29 Senaryo 2 sonucu elde edilen uygun alan haritası.....	84

Şekil 4.30 TOPSIS ile elde edilmiş uygun alan haritası.....	84
Şekil 4.31. AHP ve TOPSIS potansiyeli yüksek alanların karşılaştırılması	86
Şekil 5.1. Güneş tarlaları için yerleşime uygun alanların incelenmesi	88
Şekil 5.2. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı 2024).....	92



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. GEE’de makine öğrenme algoritması kullanan çalışmalar.....	5
Çizelge 2.2. GEE’de sınıflandırma yöntemi ile güneş tarlası tespiti yapan çalışmalar....	7
Çizelge 2.3. AHP ile güneş tarlaları için yer seçimi çalışmalarında kullanılan kriterler (Al Garni ve Awasthi 2018).....	9
Çizelge 3.1. Sentinel 2 bant değerleri.....	23
Çizelge 3.2. Landsat 9 bant değerleri.....	25
Çizelge 3.3. Kullanılan Ek Bantlar.....	30
Çizelge 3.4. SVM Kernel Fonksiyonları.....	36
Çizelge 3.5. McNemar’s Test.....	39
Çizelge 3.6. Kriterlerin önem dereceleri (Saaty 1980)	40
Çizelge 3.7. Rassallık Göstergesi değerleri (Satty 1980)	42
Çizelge 3.8. AHP için belirlenen kriterler.....	42
Çizelge 3.9. AHP için belirlenen kriterlerin değer aralıkları ve sınıfları.....	44
Çizelge 3.10. Haritalar oluşturulurken kullanılan veriler.....	50
Çizelge 3.11. Belirlenen kriterler doğrultusunda oluşturulan haritalar	52
Çizelge 3.12. Haritalar oluşturulurken kullanılan veriler.....	54
Çizelge 4.1. Ek bantların doğruluk üzerine etkisinin incelenmesi.....	61
Çizelge 4.2. Hiper parametre ayarlamasının sınıflandırma sonuçları üzerindeki etkisi...	66
Çizelge 4.3. SVM sınıflandırma sonucuna göre sınıfların kapladığı alanlar.....	64
Çizelge 4.4. Sınıflandırma algoritmaları doğruluk değerlendirmesi sonuçları.....	67
Çizelge 4.5. Sınıflandırma sonuçlarının McNemar’s Test ile karşılaştırılma sonuçları...	68
Çizelge 4.6. AHP ile elde edilen potansiyel alan haritasının piksel ve yüzde dağılımları.	83
Çizelge 4.7. TOPSIS ile elde edilen potansiyel alan haritasının piksel ve yüzde dağılımları.....	85

1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler raporuna göre, küresel nüfusun 2050 yılında 9,7 milyar insana ulaşacağı tahmin edilmektedir (United Nations 2022). Nüfus arttıkça enerjiye olan ihtiyacın da artması beklenmektedir. Ülkelerin dışa bağımlılığını azaltırken hem ekonomik açıdan kalkınmasını sağlamak hem de bu enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamak önem taşımaktadır.

Sanayi Devrimi ile başlayan fosil yakıt tüketimi ile günümüze kadar geline süreçte doğaya CO₂, CH₄, O₃ ve NO₂ gibi çeşitli sera gazları salınmış ve bu durum küresel ısınmanın sebeplerinden olmuştur. Küresel ısınmanın da etkisiyle iklim değişikliği hızlanmış ve gelecek projeksiyonlarında deniz seviyesinin yükselmesi, toprağın verimsizleşmesi, iklimlerin değişmesi gibi tehlikelerle karşı karşıya kalınmıştır (Cahoon ve Guntenspergen 2010; Jansson ve Hofmockel 2020). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü, Paris Anlaşması, Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü'nde iklim değişikliğine yönelik kararlar alınıp birçok ülke tarafından benimsenmiştir (Aleksandrowicz vd. 2016).

Yapılan çalışmalar bu süreci geriye alabilmenin mümkün olmadığını ancak bundan sonraki süreçlerde küresel ısınmanın azalmasına katkıda bulunulabileceğini göstermektedir. Buna yönelik olarak da sera gazı emisyonun azaltılması, yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması, enerji planlaması yapılması, fosil yakıt vergilerinin artırılması, toplu taşımının teşvik edilmesi vb. stratejiler önerilmektedir (Aksay vd. 2005).

Yenilenebilir enerji kaynakları temiz, erişilebilir ve ekonomik oldukları için enerji ihtiyacımızı karşılamada tercih edilmektedirler. Fosil kaynaklar ise hem doğaya zarar vermektedir hem de sürdürülebilir değildir. Bu sebeple ülkeler gelecek projeksiyonlarında enerji krizi ile karşı karşıya kalmamak adına yüzlerini yenilenebilir enerji kaynaklarına çevirdikleri bir sürece girmişlerdir. Bu süreç, 1973 yılında yaşanan petrol krizi ile başlamıştır ve ülkeler bu vesile ile enerji alanına yönelik verimlilik ve çeşitlilik konularında politikalar belirlemeye başlamışlardır (Pimentel vd. 1973).

Türkiye'de de 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiş enerjinin kullanımına ağırlık verilmektedir. Özellikle elektrikli araçların kullanımının aşamalı olarak yaygınlaştırılması amacı doğrultusunda artan elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi önceliklendirilmektedir. Bu doğrultuda 2020 yılında toplam %42,4 paya sahip olan yenilenebilir enerji kaynakları için 2053 yılına kadar bu oranın %69,1'e çıkarılması hedeflenmektedir. Bu oranın Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın yapmış olduğu öngörüler ve Avrupa Birliği tarafından 2050 yılına yönelik hazırlanmış olan senaryo çalışmalarındaki pay ile tutarlı olduğu ifade edilmektedir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022). Elektrik tüketiminde en çok paya sahip olan sektör 2025 yılında %47,9 ile sanayi sektörüdür. 2025 yılında elektrik üretimindeki kaynakların payına göre güneş enerjisinin payı %7,4'tür. Bu payın 2035 yılına gelindiğinde %16,5'e çıkması hedeflenmektedir. 2022 yılı Ekim ayı sonundan itibaren kurulu santral sayısının 11.276 olduğu ve bunun 9.203 tanesinin güneş enerjisine yönelik olduğu, toplam kurulu gücün ise 103.276 MW (Mega Watt) olduğu belirtilmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2022).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan Güneş Enerji Potansiyelinde Batı Akdeniz Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi yüksek potansiyele sahiptir (GEPA 2022). Ülke genelinde Kuzey kesimler haricinde yapılan güneş tarlası kurulumlarından yüksek verim alınabilmektedir. Pınar vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'deki mevcut kurulu güç haritalandırılmıştır. Ancak bu haritalandırma gözlem yoluyla yapılmıştır. Açık veri şeklinde bu veriye ulaşılamamaktadır. Enerji Atlası'nda (2024) toplam güç, lisanslı ve lisanssız güç bilgileri yer almaktadır. Ancak konum bilgileri il isimleri ile sınırlıdır. Güneş tarlaları mevcut kurulu gücünün konumlarının ve alanlarının belirlenmesi, veritabanlarının oluşturulması ve bu verilerin güncellenmesi önemli çalışma konularındandır. Mevcut güneş tarlalarının konumları uzaktan algılama görüntüleri, dijital görüntü işleme analiz ve yöntemleri kullanılarak hızlı ve doğru bir şekilde belirlenebilme potansiyeli bulunmaktadır. Bu potansiyele yönelik olarak makine öğrenme algoritmaları ve derin öğrenme modelleri tespit etme ve görüntüleme çalışmalarında sıkça tercih edilmektedir (Hwang vd. 2021; Ibrahim vd. 2022; Özer ve Türkmen 2024).

Güneş tarlası kurulumundan yüksek verim alınabilmesi için çalışma alanının iklimsel koşulları, coğrafi koşulları ve elektriğin iletimine yönelik bazı kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu kriterlere yönelik verilerin toplandıktan sonra doğru bir şekilde değerlendirilmesi ise oldukça önemlidir. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Kriterli Karar Analiz (Multi Criteria Decision Analysis - MCDA) yöntemleri sıkça tercih edilmektedir (Uyan 2013; Tunc vd. 2019; Bandira vd. 2022; Rekik ve Alimi 2023; Onuoha vd. 2025).

Uzaktan Algılama, yeryüzü ile temas etmeden nesneleri uydu platformları, hava araçları veya yer platformları ile algılayarak onlar hakkında bilgi toplayan bir bilimdir (Campbell ve Wynne 2011). Toplanan bilgilerin işlenmesinde, depolanmasında, analiz edilmesinde ve görüntülenmesinde ise CBS önemli bir araçtır. Uzaktan Algılama ve CBS verilerinin analizinde kullanılan açık kaynak kodlu ve ticari birçok yazılım mevcuttur. Son yıllarda popülerleşen ve bulut tabanlı olan Google Earth Engine (GEE) de bu alana yönelik çalışmalarda sıkça kullanılmaya başlamıştır (Supe vd. 2020; Zhang vd. 2022; Moreira vd. 2022; Zhao vd. 2024).

MCDA yöntemleri alternatiflerin fazla olduğu durumlarda en iyi sonucun tespit edilerek karar vericinin en iyi kararı vermesine yardımcı olmaktadır. Uzaktan Algılama, CBS ve MCDA bir arada yer seçimi çalışmalarında kullanıldığında karar vericilere ve yatırımcılara yönelik iyi bir kaynak oluşturmaktadır. Analitik Hiyerarşi Süresi (Analytic Hierarchy Process - AHP), MCDA yöntemleri arasında en sık tercih edilen yöntemlerden biridir (Wang vd. 2009; Uyan 2013; Al Garni ve Awasthi 2017; Koc vd. 2019). Problemin tanımlanmasından sonra kriterler arasında, alınan uzman görüşlerine göre ikili karşılaştırmalar yapılır. Sonucunda ise her kriter bir ağırlık değerine sahip olur. Bu sayede karar verme süreci daha kolay bir hal alır. İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) de yer seçimi çalışmalarında sık tercih edilen yöntemlerdendir (Önüt ve Soner 2008; Guo ve Zhao 2015; Nazari vd. 2018; Rane vd. 2023). Kriterleri en iyiden en kötüye sıralayarak karar vermeyi kolaylaştırmak için kullanılır.

Bu çalışmanın amacı, mevcut güneş enerji potansiyeli değerlendirilerek güneş enerjisi alanında güneş tarlalarına yönelik hem açık veri eksikliğini kapatmak hem de mevcut verinin güncellenmesini sağlamaktır. Bir diğer hedef de güneş tarlaları için uygun yer seçimine yönelik potansiyel alanları belirlemektir. Bu kapsamda çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında mevcut güneş tarlaları makine öğrenme algoritmaları kullanılarak tespit edilmiştir. İkinci aşamada güneş tarlaları için uygun alanlar CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile analiz edilerek potansiyel alan haritası oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada ise mevcut güneş tarlaları ile potansiyel alanlar karşılaştırılarak değerlendirilmiş, karşılaştırma sonucunda mevcut güneş tarlalarının doğru yer seçip seçmedikleri analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntem ve elde edilen sonuçların artan enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması, gelecek nesillere sürdürülebilir bir çevre bırakılması, Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon hedefi ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan 2024-2028 Stratejik Planı gelecek hedefleri açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Son olarak, literatürde güneş tarlaları (solar farms) ile güneş enerji santralleri (solar power plants) olarak geçen iki kavramın da Türkiye'de güneş enerji santrali olarak kullanıldığı dikkat çekmektedir. Literatürde büyük alan kaplayan (large scale) fotovoltaik panellerden oluşan bu alanlar güneş tarlası olarak adlandırılmaktadır. Türkiye'de ise güneş enerji santralleri kendi aralarında 1 MW güçten fazla güç üreten (lisanslı) ve 1 MW'dan az güç üreten (lisanssız) güneş enerji santralleri olarak ayrılmaktadır. Ayrıca kaynağına bakılmaksızın elektrik kaynağına bağlı olan santraller Dağıtık Enerji Santralleri (Distributed Generation) olarak adlandırılmaktadır (Şimşek ve Bizkevelci 2013). Bu çalışmada arazi tipi, büyük alan kaplayan alanların tespit edilmesi amaçlandığı için literatüre dayanarak güneş tarlası kavramının kullanılması tercih edilmiştir.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, literatürde güneş tarlalarının belirlenmesi ve uygun yer seçimine yönelik çalışmaların incelemesi 'Kaynak Taraması' bölümünde paylaşılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler, indeksler, sınıflandırma yöntemleri ve yer seçimine yönelik kullanılan yöntemler 'Materyal ve Metot' bölümünde anlatılmıştır. Ardından çalışma kapsamında ortaya koyulan sınıflandırma ve potansiyel alan çıktıları 'Bulgular' bölümünde, elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalarla ve süreç içerisinde karşılaşılan kısıtlılıklar ile olumlu veya olumsuz yönleri ise 'Tartışma' bölümünde irdelenmiştir. Devamında ise çalışmanın 'Sonuçlar' kısmı ve paylaşılan öneriler yer almaktadır.

2. KAYNAK TARAMASI

Nüfus arttıkça kentin ulaşım, aydınlatma ve ısınma için enerjiye olan ihtiyacı da artmaktadır. Enerji ihtiyacının petrol, kömür, doğalgaz gibi yenilenemeyen enerji kaynakları yerine; güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması önem arz etmektedir. Sanayi Devrimi sonrası artan fosil yakıt kullanımı ile çevreye zararlı sera gazları (CO_2 , CH_4 , O_3 , NO_2) salınmıştır (Aleksandrowicz vd. 2016). Küresel ölçekte görülen zarar geri alınamasa da iklim değişikliğine yönelik imzalanan sözleşme ve anlaşmalar ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenerek bu süreç yavaşlatılmaya çalışılmaktadır.

Türkiye’de iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik imzalanan sözleşme ve protokoller (Paris Anlaşması, Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Viyana Sözleşmesi, Montreal Protokolü) kapsamında 2053 yılında karbon-nötr hedefi paylaşılmıştır. Yeşil Mutabakat’a göre karbon-nötr hedefi 2030 yılından itibaren %41 emisyon azaltım oranına ulaşmaktır. 2050 yılı için de Avrupa’nın ilk iklim-nötr kıtası olma hedefi belirlenmiştir (T.C. Ticaret Bakanlığı 2025).

Enerji ithalatına yönelik olarak Avrupa Birliği Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması ile karbon kaçığının önlenmesi ve sektörlerin rekabet güçlerinin korunması amacıyla karbon fiyatlandırılmasına başlanmıştır. Türkiye için, 1 Ocak 2026 tarihi ile bu sürece başlanacak olup elektrik, çimento ve demir-çelik gibi birçok sektörde karbonun ücretlendirilmesine karar verilmiştir (T.C. Ticaret Bakanlığı 2025). Karbon vergisi uygulanması ile yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sektörler daha az vergi ödeyeceklerdir. Uluslararası ithalatta az vergi ödeyen şirket ile anlaşma yapılacak olması firmalar arası rekabeti de arttıracaktır. Bu kapsamda kullanılan elektriğin düşük emisyonlu olması avantaj yaratacaktır (T.C. Ticaret Bakanlığı 2025).

Türkiye coğrafi konumu ve topografik özellikleri sebebiyle yenilenebilir enerji kaynakları açısından avantajlı konumdadır. 2024 verilerine göre elektrik kurulu gücünün kaynaklara dağılımı incelendiğinde, en yüksek kurulu güçler sırasıyla hidroelektrik (%28), doğalgaz (%22) ve güneş enerjisine (%17) aittir (SHURA 2025). Sahip olunan avantajın kullanılarak hem stratejik hedeflere ulaşılması hem de gelecek nesillere sürdürülebilir bir çevre bırakabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik oranlarının artırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada artan elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanabilmesi için, ülkemizin sahip olduğu yüksek güneş enerji potansiyeli üzerinden ilerlenerek güneş tarlalarının sınıflandırma yöntemleri ile tespiti ve MCDA yöntemleri ile uygun yer seçimi üzerine çalışılmıştır. Ardından tespit edilen güneş tarlaları ile güneş tarlaları için yerleşime uygun olan alanlar karşılaştırılarak stratejik hedefler ve planlama açısından değerlendirilmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde, sınıflandırma, yer seçimi, GEE ve güneş tarlaları konuları odaklı olacak şekilde yapılan literatür taramasına yer verilmiştir. Sınıflandırma ve yer seçimine yönelik kullanılan yöntemler ve elde edilen haritalar, spektral değerler ve doğruluk değerlendirmesi sonuçları özetlenmiştir. Son olarak da yer seçimine yönelik korunan alanların ve eşiklerin tanımlanabilmesi için ilgili yasa ve yönetmeliklerde geçen kısımlar paylaşılmıştır.

2.1. Google Earth Engine ile Arazi Kullanımı Sınıflandırması

Google Earth Engine (GEE) bulut tabanlı bir ortam olup Javascript ve Python programlama dillerini kullanmaktadır. Landsat ve Sentinel gibi uydu verilerinin yanı sıra çeşitli Dijital Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model - DEM), iklim, hava, atmosfer, yüzey sıcaklığı gibi veri setlerini de barındırarak iklime yönelik çalışmalar, değişim tespiti çalışmaları, arazi kullanımı sınıflandırması gibi birçok alanda analiz yapılmasına olanak sağlamaktadır (Chung 2021; Pande 2022; Zhao vd. 2024).

GEE platformunda yer alan algoritmalar, Sınıflandırıcılar (Classifier) başlığı altında Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines - SVM), Rastgele Orman (Random Forest - RF), Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (Classification and Regression Trees - CART), Naive Bayes (NB), En Kısa Mesafe (Minimum Distance - MD), Gradient Tree Boost (GTB) sınıflandırıcıları başlıca olmak üzere sıralanmaktadır. Kümeleyiciler (Clusterer) ve Azaltıcılar (Reducer) olarak da diğer algoritmalar ve çeşitli istatistiksel işlemlerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. GEE ortamında Makine Öğrenme Algoritmaları kullanılarak yapılan sınıflandırmaların karşılaştırılmasına yönelik çalışmalar Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çalışmalarda genellikle SVM, RF ve CART algoritmaları kullanılarak karşılaştırmalı analizler yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu algoritmaların özellikle arazi kullanımının sınıflandırılmasında sıkça tercih edildikleri görülmektedir (Tassi ve Vizzari 2020; Durmazbilek 2021; Feizizadeh vd. 2021; Loulika vd. 2021; Basheer vd. 2022; Pan vd. 2022; Pizarro vd. 2022). Ancak yarı kurak bölgelerin haritalanması (Serbouti vd. 2020), toprak tuzluluğunun haritalanması (Aksoy vd. 2021), palmye yağının haritalanması (Shaharum vd. 2021), mezarlık tespiti (Suarez ve Villasenor 2021), orman yangınları (Sulova ve Arsanjani 2021) ve çöp sahalarının tespiti (Zhou vd. 2021) gibi farklı kullanımların sınıflandırılmasında da kullanılmaktadırlar. Çalışma sonuçlarında en yüksek doğruluğu genellikle RF ve SVM algoritmaları vermektedir. Tespit çalışmalarında bu algoritmaların kullanımı ile yüksek doğruluk elde edildiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 2.1. GEE’de makine öğrenme algoritması kullanan çalışmalar

Kaynak	Çalışma Konusu	Karşılaştırılan Makine Öğrenme Algoritmaları					
		SVM	RF	CART	NB	MD	GTB
(Basheer vd. 2022)	Arazi örtüsü sınıflandırması	x	x	x		x	
(Chen vd. 2022)	Göl derinliklerini modelleme	x	x	x			
(Pan vd. 2022)	Arazi kullanımı/arazi örtüsü sınıflandırma		x	x			
(Pizarro vd. 2022)	Arazi örtüsü tiplerinin haritalanması	x	x	x	x	x	x
(Serbouti vd. 2022)	Yarı kurak bölgelerin haritalanması	x	x	x	x	x	
(Aksoy vd. 2021)	Toprak tuzluluğunun haritalanması	x (SVR)	x	x			

(Devamı Arkada)

Çizelge 2.1'in devamı

(Chung vd. 2021)	Yerel iklim bölgelerinin (local climate zones) haritalanması	x	x				
(Durmazbilek 2021)	Arazi örtüsü sınıflandırması	x	x	x	x		
(Feizizadeh vd. 2021)	Arazi kullanımının haritalanması	x	x	x			
(Loukika vd. 2021)	Arazi kullanımı ve arazi örtüsü analizi	x	x	x			
(Mangkhaseum ve Hanazawa 2021)	Arazi örtüsü değişimi	x	x	x		x	
(Shaharum vd. 2021)	Palmye yağının haritalanması	x	x	x			
(Suárez ve Villasenor 2021)	Mezarlık tespiti	x	x				x
(Sulova ve Arsanjani 2021)	Orman yangınları		x	x	x		
(Zhou vd. 2021)	Çöp sahalarının tespiti	x	x	x			
(Tassi ve Vizzari 2020)	Arazi örtüsü/arazi kullanımı sınıflandırması	x	x				
(Tu vd. 2020)	Arazi örtüsü sınıflandırması	x	x	x		x	

Durmazbilek (2021), Sentinel 1 görüntüsüne ait VV ve VH bantlarının ek bant olarak eklenmesinin sınıflandırma doğruluğu arttırdığı sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca çalışmalarda arazi kullanımı sınıflarının daha iyi tespit edilebilmesi için benzer spektral indeksler tercih edilmiştir. Bitki örtüsü için NDVI, su alanları için Normalize Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water - NDWI), kentsel alanlar için NDBI indeksleri birlikte kullanılmışlardır. Bazı sınıflarda aynı alana yönelik birden fazla indeks kullanıldığı da gözlemlenmiştir. Bitki örtüsünü sınıflandırmak için NDVI ve Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (Enhanced Vegetation Index – EVI) indeksleri birlikte tercih edildiği çalışmalar bulunmaktadır (Suárez ve Villasenor 2021; Pizarro vd. 2022).

2.2. Güneş Tarlalarının Sınıflandırılması

Zhang vd. (2021) tarafından Çin'in Ningxia Özerk Bölgesi'nde fotovoltaik enerji santrallerinin haritalanmasında Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılarak doğruluğun nasıl değiştiğine dair bir çalışma yapılmıştır. RF algoritması kullanılarak yapılan çalışmada; Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM), yansıma, termal yansıma, Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalised Difference Vegetation Index – NDVI), Normalize Fark Yapılaşmış-alan İndeksi (Normalized Difference Built-up Index - NDBI), Modifiye Normalize Fark Su İndeksi (Modified Normalized Difference Water Index - MNDWI), yükseklik, eğim ve bakının doğruluğu nasıl etkilediği değerlendirilmiştir. Topografik ve termal özelliklerin doğruluğu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Zhang vd. (2022) tarafından Çin'de GEE platformu kullanılarak Landsat uydu görüntüsü ile piksel tabanlı sınıflandırma üzerine çalışma yapılmıştır. Yöntem olarak RF algoritması kullanılmış ve fotovoltaik güneş yerleşkelerinin haritalanması üzerine

çalışılmıştır. Çalışma sonucunda panellerin ekili arazilerde, çorak arazilerde ve otlak alanlarda kurulduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu alanların kurulumu sonucunda bitki örtüsünün azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Plakman vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada GEE platformunda, Sentinel 1 ve Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılarak Rastgele Orman sınıflandırmasında güneş tarlaları tespit edilmeye çalışılmıştır. Segmentasyon ve özellik çıkarımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda güneş tarlalarını bulma doğruluğu %85,86 iken, diğer sınıfların doğruluğu %99,99 bulunmuştur.

Çizelge 2.2’te görüldüğü üzere, güneş tarlası alanlarının tespit edilmesi veya görüntülenmesi başlıklı çalışmalar incelendiğinde yakın zamanlı çalışmalar olduğu dikkat çekmekte, bu da konunun güncelliğini korumaya devam ettiğini göstermektedir. Çalışmalarda yüksek çözünürlük kullanılmak istendiği için genellikle Landsat ve Sentinel uydu görüntüleri kullanılmıştır. Açık veri oldukları için sağladıkları ücretsiz ve hızlı erişim sebebiyle tercih edilmişlerdir.

Çizelge 2.2. GEE’de sınıflandırma yöntemi ile güneş tarlası tespiti yapan çalışmalar

Kaynak	Çalışma Alanı	Kullanılan Uydu Görüntüsü	Ek bantlar	Yöntem	Sonuç
(Lyu vd. 2024)	Çin	Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI	NDBI, NDVI, BSI, SI, MNDWI, TGSI, Yükseklik, Eğim, Bakı, Tepe Gölgesi (Hillshade)	RF (Stratified Sampling ve Bölgesel Modelleme)	F1 skoru: 0.87
(Wang vd. 2024)	Çin	Sentinel 1 (SAR), Sentinel 2 (MSI)	VV, VH, NDVI, MNDWI, NDBI, EPVI (bu çalışmada üretilmiş), Yükseklik, Eğim, Bakı	RF	%97,56 OA, 0.9394 Kappa
(Zhang vd. 2023)	Çin’in Kıyı Bölgeleri	Sentinel 1 (SAR), Sentinel 2 (MSI)	VV, VH, NDWI, NDBI, NDVI, DEM	RF	%94,31 OA, 0.89 Kappa
(Jiang vd. 2023)	Çin’in Kıyı Şehirleri	Sentinel 1 (SAR), Sentinel 2 (MSI)	NDBI, VV, VH, NDPI, MNDWI, NDVI	RF	%96,9 OA, 0.91 Kappa
(Wang vd. 2023)	Gansu ili, Çin	Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI	NDVI, EVI, LSWI, mNDWI ve doku (texture) bilgisi	RF	%97,57 UA, %99,22 PA
(Chen vd. 2022)	Golmud şehri, Çin	Landsat 8 OLI	NDVI, NDTI, NDBI, MNDWI, LSWI, EVI, BUAI, BI, NDWI, Eğim, Tepe Gölgesi	XGBoost, RF, SVM	%99,65 OA, 0.9631 F1 skoru (XGBoost, En yüksek)
(Vasku 2019)	Danimarka ve Schleswig-Holstein, Almanya	Sentinel 1 (SAR), Sentinel 2 (MSI)	NDVI, NDWI, VV, VH	SVM, CART, RF, Naive Bayes	%78,90 OA, 0.564 Kappa (RF ve SVM, En yüksek)
(Zhang vd. 2022)	Çin	Landsat 8 OLI, Sentinel 2 (MSI)	Yükseklik, Sıcaklık, Yağış, Nüfus Yoğunluğu, EVI, Arazi Örtüsü	RF	%95,51 OA, 0.878 Kappa

Ek bantlarla kompozit görüntü elde edildikten sonra üzerinde makine öğrenme algoritmalarının uygulandığını ve genellikle yüksek sınıflandırma sonuçları alındığı görülmektedir. Çalışmalarda panel yüzeylerinin yansıtıcı etkisinden dolayı Sentinel 1 uydusuna ait VV ve VH bantlarının kullanıldığı bu çalışmalarda da dikkat çekmektedir (Vasku 2019; Zhang vd. 2023; Jiang vd. 2023; Wang vd. 2024). Yine aynı şekilde sınıfların tespitinde her sınıf için bir spektral bant eklenmiştir. Chen vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada bitki örtüsü için NDVI ve EVI'nin birlikte kullanıldığı, su alanları için de NDWI ve MNDWI'nin birlikte kullanıldığı görülmektedir. Aynı çalışmada ek olarak eğim, bakı, yükseklik gibi topografik özelliklerin güneş tarlalarının tespitinde önemli rol oynadığı dikkat çekmektedir.

Panel üretiminde Dünya'da öncü konumda olmaları ve büyük kurulum alanlarına sahip olmaları sebebiyle bu konuda çalışanlar genellikle Çin'de yer seçimi yapmaya yönelmiştir (Wang vd. 2024; Lyu vd. 2024). Ayrıca, RF algoritmasının tespit çalışmalarında sıkça tercih edildiği görülmektedir (Jiang vd.2023; Zhang vd. 2023; Wang vd. 2024). Güneş tarlalarının sınıflandırılmasında birden fazla sınıflandırma yöntemini karşılaştıran çalışma sayısının ise az olduğu dikkat çekmektedir. Yapılan literatür taramasına göre ülkemizde GEE platformu kullanarak GEE ile güneş tarlalarının tespit edilmesi konusunda yapılan bir çalışma bulunamamıştır.

2.3. Güneş Tarlaları için Uygun Yer Seçimi ve Kullanılan Kriterler

Yer seçimi çalışması gözlemevi alanları, güneş tarlaları, katı atık depoları, hastane, okul vb. birçok alanda yapılmaktadır (Koc-San vd. 2013; Selim vd. 2018; Şener vd. 2006; Şahin vd. 2019; Rikalovic vd. 2014; Kırçalı ve Selim 2021). Yer seçimi çalışmalarını yaparken MCDA'dan faydalanarak yapmak, seçilen yer seçimi kriterlerine ağırlık değerleri verip, birbirlerine göre öncelik sıralaması yapılmasına olanak tanımaktadır.

Güneş tarlalarına yönelik uygun yer seçimi yapmayı amaçlayan çalışmalar incelendiğinde alternatifler arasından uzman görüşlerine dayanarak en iyi alternatifi seçebilmek için AHP yönteminin sıkça kullanıldığı dikkat çekmektedir (Carrion vd. 2008; Rumbayan ve Nagasaka 2012; Effat 2013; Uyan 2013; Yunna ve Geng 2014; Watson ve Hudson 2015; Tahri 2015; Doljak ve Stanojevic 2017).

Watson ve Hudson (2015) tarafından Güney İngiltere'de bir çalışma alanı belirlenmiş ve güneş tarlaları ile rüzgâr tarlaları için CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak yer seçim analizi yapılmıştır. Tarımsal araziler, tarihi açıdan önemli alanlar, peyzaj düzenlemesi yapılan alanlar, yerleşim alanları, yabani yaşam alanları, bakı (Güneydoğu ve Güneybatı) ve 10° üzeri eğime sahip alanlar yerleşilemez alan olarak belirlenmiştir. Rüzgâr hızı, solar radyasyon, tarihi açıdan önemli alanlara uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık, iletim hatlarına uzaklık, yollara uzaklık ve vahşi yaşam alanlarına uzaklık kriterleri belirlenmiş ve uzman görüşleri alınmıştır. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis) yapılmış iki senaryo belirlenmiştir. Bu analiz için ilk şart olan eşit ağırlık verme senaryosu ile ekonomik kriterlere (iletim hattı ve yollar) sıfır ağırlık değeri verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda çalışma alanının Güneyinin daha uygun çıktığı belirtilmiştir. Duyarlılık Analizi ile elde edilen sonuçlarda beklendiği üzere kriter ağırlıklarının önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ekonomik faktörler hariç tutulduğunda elde edilen uygun alanlarda azalma olduğu tespit edilmiştir.

Al Garni ve Awasthi (2017), CBS-AHP ile Suudi Arabistan’da güneş enerji tesisleri (solar power plants) için yer seçimi çalışması yapmışlardır. AHP için Teknik (güneş radyasyonu, sıcaklık) ve Ekonomik (eğim, bakı, kentsel alana yakınlık, yollara yakınlık ve iletim hatlarına yakınlık) kriterleri belirlenmiştir. Kriterler ağırlıklandırıldıktan sonra eşikler eklenmiş ve yerleşilebilir alanlar tespit edilmiştir. Eşikler; korunan alanlar, yollara 500 m, eğimi 5°’den büyük alanlar ve kentsel alanlara 1000 m mesafedir. AHP ile elde edilen ağırlık değerleri teknik kriterler için 0,57, ekonomik kriterler için 0,43’tür. Daha sonra Duyarlılık Analizi uygulanmıştır. Burada da iki senaryo belirlenmiştir. İlk senaryo her kritere eşit ağırlığın verildiği senaryodur (Teknik:0,5, Ekonomik:0,5). Bu yaklaşım karar verme sürecinde riskten kaçınmanın en basit yolu olarak ifade edilmektedir. İkinci senaryoda ise ekonomik faktörlerin etkisi değerlendirilmek istenmiştir ve bu kriterlere daha yüksek ağırlık değerleri verilmiştir (Teknik: 0,2, Ekonomik: 0,8). Elde edilen sonuçlarda çalışma alanında çıkan yerleşilebilir alan; AHP ağırlıklarıyla 0,42, eşit ağırlık senaryosunda 0,36, yüksek ekonomik ağırlık senaryosunda ise 1,25 çıkmıştır.

Çizelge 2.3’te AHP ile güneş tarlaları için uygun yer seçimi yapan çalışmalarda kullanılan ana ve alt kriterler yer almaktadır. Çevre, konum, iklim, topografya, ekonomi ve sosyal açıdan birçok kriter bu çalışmalara dahil edilmiştir.

Çizelge 2.3. AHP ile güneş tarlaları için yer seçimi çalışmalarında kullanılan kriterler (Al Garni ve Awasthi 2018)

Ana kriterler	Alt Kriterler	Referans Çalışmalar
Çevre	Arazi Kullanımı	Uyan 2013; Castillo vd. 2016; Noorollahi vd. 2016; Zoghi vd. 2017; Colak vd. 2020; Günen 2021; Kircali ve Selim 2021
	Tarımsal kapasite	Sanchez-Lozano vd. 2013; Chen vd. 2014; Lee vd. 2017
Konum	Trafoları Olan Uzaklık	Sanchez-Lozano vd. 2013; Castillo vd. 2016; Garni ve Awasthi 2017; Colak vd. 2020; Kircali ve Selim 2021
	İletim Hattına Olan Uzaklık	Uyan 2013; Colak vd. 2020; Günen 2021
	Yerleşim Alanlarına Olan Uzaklık	Uyan 2013; Tahri vd. 2015; Garni ve Awasthi 2017; Colak vd. 2020; Günen 2021; Kircali ve Selim 2021
	Yollara Olan Uzaklık	Uyan 2013; Tahri vd. 2015; Castillo vd. 2016; Garni ve Awasthi 2017; Colak vd. 2020; Günen 2021; Kircali ve Selim 2021
	Su Alanlarına Olan Uzaklık	Zoghi vd. 2017; Colak vd. 2020; Günen 2021; Kircali ve Selim 2021
	Vahşi yaşam alanlarına yakınlık	Watson ve Hudson, 2015; Lee ve Kang, 2015; Sindhu vd. 2017

(Devamı Arkada)

Çizelge 2.3'ün devamı

İklim	Güneş Radyasyonu	Carrion vs. 2008; Sanchez-Lozano vd. 2013; Tahri vd. 2015; Garni ve Awatshi 2017; Günen 2021; Kircali ve Selim 2021
	Güneşlenme Süresi	Carrion vs. 2008; Sanchez-Lozano vd. 2013; Tahri vd. 2015; Garni ve Awatshi 2017; Kircali ve Selim 2021
	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Garni ve Awatshi 2017; Zoghi vd. 2017; Tercan 2021; Günen 2021; Kircali ve Selim 2021
	Yıllık Ortalama Yağış	Zoghi vd. 2017; Tercan 2021; Günen 2021
	Nemlilik Oranı	Noorollahi vd. 2016; Zoghi vd. 2017; Tercan 2021; Günen 2021
	Ortalama kumlu gün	Noorollahi vd. 2016; Gherboudj ve Ghedira 2016
Topografya	Eğim	Uyan 2013; Sanchez-Lozano vd. 2013; Tahri vd. 2015; Sanchez-Lozano vd. 2013; Colak vd. 2020; Günen 2021; Kircali ve Selim 2021
	Bakı	Sanchez-Lozano vd. 2013; Tahri vd. 2015; Castillo vd. 2016; Colak vd. 2020; Günen 2021; Kircali ve Selim 2021
	Yükseklik	Castillo vd. 2016; Noorollahi vd. 2016; Zoghi vd. 2017; Tercan 2021; Kircali ve Selim 2021
Ekonomi	Arazi Maliyeti	Kengpol vd. 2012; Lee ve Kang, 2015; Sabo vd. 2017
	Kurulum başlangıç maliyeti	Lee ve Kang, 2015; Liu vd. 2017; Lee ve Kang 2017; Vafaipour vd. 2014
	İletim kaybı	Jun vd. 2014; El-azab ve Amin 2015
Sosyal	Sosyal kabul	Yunna ve Geng, 2014; Sindhu vd. 2017; Jun vd. 2014; Vafaipour vd. 2014

Çalışma alanının konumuna göre kullanılan kriterler farklılaşabilmektedir. Noorollahi vd. (2016) ile Gherboudi ve Ghedira (2016) tarafından yapılan çalışmalarda İran ile Birleşik Arap Emirlikleri çalışıldığı için kriter olarak coğrafi koşullara bağlı olarak analiz sürecinde ortalama kumlu gün sayıları kriteri de dahil edilmiştir. İncelenen çalışmalarda çalışma alanının iklimsel koşulları, kurulum yapılacak alanlardaki trafo ve iletim alt yapısı, üretilen elektriğin gönderileceği yerleşim alanları ve eğim, bakı, yükseklik gibi topografik kriterlerin daha fazla tercih edildikleri gözlemlenmiştir.

Türkiye’de CBS-AHP kullanılarak benzer çalışmalar yapılmıştır. Günen (2021), Kahramanmaraş ilinde fotovoltaiik güneş tarlaları için uygun yer seçimi analizi yapmıştır. Coğrafya (eğim, bakı, arazi kullanımı), iklim (güneş radyasyonu, yağış, sıcaklık, nemlilik) ve konum (yerleşimler, yol, demiryolu, göller ve barajlar, fay hatları, nehirler, iletim hatları) kriterlerini seçerek AHP uygulamıştır. Elde edilen sonuçlarda Elbistan ilçesi yerleşime en uygun yer çıkarken Andırın ilçesi en az uygun yer çıkmıştır. Çalışma alanının %26’sı yerleşilemezken, %74’ü farklı derecelerde yerleşime uygun çıkmıştır. Kriter ağırlıkları açısından en yüksek ağırlık değerini iklim kriteri (0,67), ardından coğrafya (0,22) ve konum (0,10) kriterleri almıştır. Kurulum yerleri açısından incelendiğinde yerleşim alanlarına uzaklık kriteri olarak belirlenmiş olsa da

yatırımcıların genellikle kentten uzak alanları tercih ettiği görülmüştür. Güneş tarlalarının genellikle düz ve çorak arazilerde konumlandığı tespit edilmiştir. Eğimli arazide yer alanların ise arazinin düzleştirilmesinden sonra kuruldukları belirtilmiştir.

Colak vd. (2020) tarafından Malatya ilinde yapılan bir çalışmada güneş enerji potansiyeli, bakı, yollar, yerleşim alanları, iletim hatları, fay hatları, göller ve barajlar, trafo merkezleri, doğal gaz hatları ve arazi kullanımı kriterleri belirlenmiştir. Ek olarak eğimin 20°'den büyük olduğu alanlar, yollara 100 m, yerleşime 500 m, göllere ve barajlara 100 m ve doğal gaz hatlarına 700 m eşikler belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarında 34 adet uygun alan bulunmuştur. Bunlardan 7 tanesinin 2 hektardan az olduğu, diğerlerinin ise fazla olduğu ifade edilmiştir. Bazı kurulum alanlarının yerleşime ve su alanlarına yakın olması sebebiyle yer seçimleri yanlış bulunmuştur. Uygun çıkan alanlardan 3 tanesi mevcut güneş tarlalarından birine oldukça yakın konumlanmıştır.

Kırcalı ve Selim (2021) tarafından Antalya ili için CBS-AHP ile yer seçimi çalışması yapılmış; güneş parametreleri (güneş radyasyonu, yıllık ortalama sıcaklık, güneşlenme süresi), konum (trafolara, yerleşim alanlarına ve yollara uzaklık) ve coğrafya (eğim, bakı, yükseklik ve arazi kullanımı) kriterleri belirlenmiştir. Analizler ArcGIS yazılımında yapılmıştır. Her kriter ağırlıklandırıldıktan sonra Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) işlemi ile sonuç haritası oluşturulmuştur. Elde edilen haritada askeri alanlar, sulak alanlar, milli parklar ve sit alanları korunan alanlar olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda Elmalı ve Kaş ilçeleri güneş tarlaları için yerleşime uygun çıkmıştır. Ek olarak güneş parametreleri ve coğrafya kriterlerinden bir harita daha üretilmiş ve elde edilen sonuçlarda Kaş ilçesinin yanı sıra Demre ve Finike ilçeleri de güneş tarlaları için yerleşime uygun alanlar olarak çıkmıştır.

Uyan (2013) tarafından Konya ilinde Güneş Enerji Santralleri için CBS-AHP ile potansiyel alan haritası üretilmiştir. Çalışmada çevresel (yerleşim alanlarına uzaklık, arazi kullanımı) ile ekonomik (yollara uzaklık, eğim, iletim hatlarına uzaklık) kriterleri kullanılmıştır. Eşik analizi için yerleşime 500 m, yollara 100 m, su alanlarına ve korunan alanlara 500 m tampon analizi (buffer analysis) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda iki farklı bölgenin Güneş Enerji Santralleri için uygun olduğu ortaya konmuştur.

Literatür taramasında iki farklı yer seçimi yöntemini karşılaştıran çalışmalar da incelenmiştir. AHP ile TOPSIS (Sanchez-Lozano vd. 2013), AHP-Bulanık TOPSIS (Sindhu vd. 2017), DEMATEL ile DANP (Chen vd. 2014) ve SWARA ile WASPAS (Vafaeipour vd. 2014) gibi farklı yöntemleri karşılaştıran çalışmalar tespit edilmiştir.

Tercan vd. (2021) tarafından Kayseri ilinde fotovoltaik güneş tarlalarının mekânsal planlamasına yönelik yapılan çalışmada güneş radyasyonu, yıllık ortalama sıcaklık, nemlilik, yağış, karlı gün, bakı, eğim, yükseklik, arazi kullanımı, iletim hatlarına uzaklık, ulaşım ağına uzaklık, yerleşime uzaklık, fay hatlarına uzaklık, korunan alanlara uzaklık, nehirlerle uzaklık ve göllere uzaklık kriterleri belirlenmiştir. Eşik olarak çok düşük güneş ışıması (918-1200 kWh/m²), kuzey yönlü bakı, 25° üzeri eğim, arazi kullanımında kentsel alan, kırsal alan, ulaşım ağı, havaalanı, yeşil alanlar, sahiller, su alanları, korunan alanlardan doğa ve kültürel mirası korunacak alan, yaban hayatı koruma ve geliştirme sahası, milli parkla, demiryoluna uzaklık için 0.05 kilometreden küçük alanlar ve nehir ve göller için 0.10 kilometreden küçük alanlar belirlenmiştir. Yöntem olarak 3 farklı yöntem birbirine entegre şekilde kullanılmıştır. Bunlar AHP, Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (Weighted Linear Combination – WLC)

ve Ters Mesafe Ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting – IDW) yaklaşımlarıdır. Elde edilen sonuçlarda çalışma alanının %81'i fazla uygun sınıfında, %12'si de çok yüksek uygun sınıfında çıkmıştır. Yapılan çalışma ile yatırımcı olmak isteyenlere düşük maliyet sunabilecek alanlar haritası sunulmuştur.

Sanchez-Lozano vd. (2013) AHP ile uygun alanları seçmiş, TOPSIS ile de seçtiği uygun alanları en iyiden en kötüye sıralayarak çalışma alanında güneş tarlaları için yerleşime en uygun alanı tespit etmiştir. Kriterler; çevresel (tarımsal kapasite), jeomorfoloji (eğim, bakı, alan), konum (yollara, iletim hatlarına, yerleşim alanlarına, trafolara uzaklık) ve iklim (güneş radyasyonu ve ortalama sıcaklık) olarak belirlenmiştir. En yüksek kriter ağırlığı iletim hatları (%32) ve güneş radyasyonu (%23) kriterlerine aittir. Çalışma alanının %13,85'i güneş tarlaları için yerleşilebilir alan çıkmıştır.

Bu çalışma kapsamında yazılan lisansüstü tezleri arasında çalışma aşamaları ile örtüşen birkaç çalışmaya da değinilmek istenmektedir. Örneğin, Ekinci (2022) tarafından yapılan çalışmada İzmir ilinde uygun tarım alanları CBS ile belirlenmiş ve mevcut arazi kullanımı ile karşılaştırılmıştır. İki aşamada yapılan çalışmada önce çevreye, toprağa ve ekonomiye yönelik kriterler belirlenmiş ve ağırlıksız çakıştırma işlemi yapılmıştır. İkinci aşamada kriterler için AHP ile ağırlık değerleri belirlenmiş ve bu değerler ile çakıştırma işlemi uygulanmıştır. Büyük toprak grupları (%26,34), toprak derinliği (%16,79), eğim (%14,36), arazi kullanım kabiliyeti (%10,28), bakı (%8,52), yükseklik (%6,60), yağış (%4,43), sıcaklık (%3,96), barajlara ve göllere mesafe (%3,07), nehirlerle mesafe (%2,97), yerleşime mesafe (%1,52) ve ana yollara mesafe (%1,16) olmak üzere kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Ağırlıksız harita ile çoğunlukla uygun ve uygun alan sınıfının kapladığı alan %21,78 iken; AHP ağırlıkları ile elde edilen haritada %20,4 olarak bulunmuştur. En büyük fark uygun olmayan ve az uygun olan alanlar arasındaki fark olmuştur. Ağırlıksız haritada çalışma alanının %19,01'i az uygun ve uygun değil sınıflarına ait iken; ağırlıklı haritada aynı sınıfların oranı %74 olarak çıkmıştır. Son olarak elde edilen iki harita Büyük Ova Koruma Alanları, 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı ve 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu çerçevesinde değerlendirilmiştir. Bu çalışmada uygun tarım alanı seçerken yerleşim ve sanayi alanlarından uzak yer seçimi yapılması gerektiği, sadece toprak verimine değil diğer kriterlerin de değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Spektral indekslerin kullanımına örnek olarak, Mohammad (2023) tarafından Erbil ili (Kuzey Irak) arazi kullanımı/arazi örtüsü özellikleri farklı indeksler ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Landsat, MODIS, Sentinel 2 uydu görüntüleri 30 yıllık periyotta incelenmiş ve değişim analiz edilmiştir. NDVI, Yeşil Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Green Normalized Difference Vegetation Index, GNDVI), NDWI ve Arazi Yüzey Sıcaklığı (Land Surface Temperature, LST) spektral indeksleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda kentsel alanlarda artış, tarımsal arazi örtüsünde ise azalış olduğu gözlemlenmiştir. Landsat 8 ve Sentinel 2 görüntülerinin, MODIS görüntülerine göre kentsel alanlardaki gelişmeleri tespit etmede daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışma ile tarım ve çevre üzerindeki etkilerin azaltılmasına yönelik politikalar önerilmiştir.

Aydın (2020) tarafından iklim değişikliğinin güneş enerjisi üzerine olan etkilerinin incelenmesi ve elde edilen sonuçların arazi örtüsü ile peyzaj alanları arasındaki ilişkisinin araştırılması amacıyla bir çalışma hazırlanmıştır. Bunun için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüsü Güneş Enerji Santrali'ne ait veriler, Van bölge

meteoroloji istasyonundan elde edilen iklim parametreleri verileri ve CORINE arazi örtüsü verileri kullanılmıştır. Santralden elde edilen veriler Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (Güneş Enerji Potansiyeli Atlası), Meteoroloji Genel Müdürlüğü (HELIOSAT Model), Dünya Bankası (Doğrudan Normal Işınlanma Haritası) ve ArcGIS Solar Radyasyon Analiz yöntemleri ile incelenmiştir. İklim parametreleri; günlük ortalama sıcaklık, günlük ortalama radyasyon, günlük ortalama güneşlenme süresi, güneşlenme şiddeti, günlük ortalama nem ve bulutluluk verileri üzerinden analiz edilmiştir. Yapılan analizde NDVI verileri ile iklim parametreleri arasında dolaylı bir etkileşim bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca CORINE ile NDVI arasındaki ilişki incelenmiş ve güneş enerji potansiyel haritası ile CORINE haritası karşılaştırılarak arazi örtüsü ile aralarındaki ilişki incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre orman ve yarı doğal alanların güncellenmiş haritalarda yerleşim ve tarım alanı olarak sınıflarının değiştiği gözlemlenmiştir. Çalışmada kıraç alanların güneş enerji potansiyellerinin yüksek olduğu ve bu alanlarda kurulum yapılması önerilmiştir. Ayrıca yerleşim alanlarında da güneş enerji potansiyelinin yüksek çıkması sebebiyle bu alanların verimlilik açısından değerlendirilmesi gerektiği ve imar planlarına dahil edilmeleri gerektiği görüşü paylaşılmıştır.

Farklı yöntemleri karşılaştırarak yer seçimi yapan çalışmalar arasında Açık (2019) tarafından, uygun arıcılık yerlerinin seçilmesi üzerine yapılan çalışma dikkat çekmektedir. Konya, Karaman, Aksaray ve Niğde illerini kapsayan bu çalışmada AHP ve TOPSIS yöntemleri karşılaştırılarak kullanılmıştır. AHP ile ağırlıklandırılan kriterler, yeniden sınıflandırılarak haritalandırılmıştır. TOPSIS yönteminde AHP ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak, çalışma alanına 10000 rastgele nokta atanmış ve yeniden sınıflandırılmış haritadaki değerler bu noktalara atanarak enterpolasyon uygulanmıştır. Bu sayede elde edilen TOPSIS uygunluk haritası ile AHP uygunluk haritası karşılaştırılmıştır. Haritalar incelendiğinde mevcut arıcılık noktaları için AHP haritasında %39, TOPSIS haritasında ise %43 oranında doğru yer seçildiği tespit edilmiştir. Orman, mera, doğal bitki örtüsü, tarımsal araziler ve yerleşim yerleri olarak belirlenen sınıflar arasından ise en çok tarımsal arazilerinde yer seçimi yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

2.4. İlgili Yasa ve Yönetmelikler

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik ilk çıkarılan kanun 18/5/2005 tarih ve 5346 numaralı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun'dur. Bu kanun ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik alanların korunması, bu alanlardan üretilen elektrik enerjisinin kayıt altına alınması ve bu kaynakların kullanımına yönelik usul ve esaslar yer almaktadır. Bu kanun ile kaynaklardan elektrik üretiminin yaygın hale getirilmesini, ekonomik açıdan kazanç sağlamasını, çevrenin korunması ve iklim değişikliğine yönelik olarak da sera gazı kullanımının azaltılmasını ve elektrik enerjisi üretimi alanında kullanılacak malzemelerinin imalatına yönelik sektörün geliştirilmesi hedeflenmektedir.

5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile yenilenebilir enerji kaynaklarından enerjinin üretilmesi, iletilmesi, dağıtılması ve tüketilmesinde enerji verimliliğini

destekleyerek, enerji verimliliğine yönelik toplum bilincinin artırılmasını ve maliyetlerin düşürülmesini hedeflenmektedir. 6094 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile yenilenebilir enerjiye yönelik çeşitli teşvikler ile elektrik üretimini desteklemek amaçlanmaktadır. 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile kullanıcıların elektriğe kolay, düşük maliyetli ve sürekli şekilde ulaşabilmesine yönelik elektrik piyasasının oluşturulması, düzenlemelerinin ve denetimlerinin yapılması amaçlanmaktadır.

5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'nda toprağa yönelik koruma, geliştirme, sınıflandırmaya yönelik usul ve esaslar belirtilmektedir. Çevre öncelikli sürdürülebilir kalkınmaya yönelik belirlenen bu usul ve esaslar arasında Madde 13'te tarım alanlarının farklı amaçlarla kullanımı hakkında kısıtlayıcılar yer almaktadır. 13. maddenin f bendine göre; yenilenebilir enerji kaynak alanlarının kullanımına yönelik sulu tarım alanlarına tesis yapılamayacağı ancak Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun talebi ve Bakanlık tarafından izin verilmesi durumunda tarım arazilerine tesis kurma izni verilebildiği belirtilmektedir.

3194 sayılı İmar Kanunu'na göre enerji tesislerine ve iletim hatlarına yönelik farklı ölçeklerdeki planların hazırlanmasında plan, etüt, harita, arazi ve arsa düzenlemelerinin yapılması ve onaylanması gerektiği yer almaktadır.

6831 sayılı Orman Kanunu'nda Madde 17'ye göre, enerji tesislerine yönelik kurulumların yapılabilmesi için kamu yararı gözetilmesi ve zorunlu tutulmalıdır. Ancak bu şartta Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından bedeli ödenmesi koşuluyla izin verileceği belirtilmektedir. Bu izin de süreye tabii tutulmuş ve 49 yıl ile sınırlandırılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretilmesi ile ilgili yönetmeliklerden ilki 28809 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan Elektrik Piyasası Yönetmeliği'dir. Bu yönetmelikte ön lisans ve lisans sahiplerinin hakları, yükümlülükleri, başvurulara yönelik süreçler, enerji ölçüm standardı, mali hükümler ve muafiyetler yer almaktadır. 31479 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği, elektrik depolama ünitelerinin, depolama tesislerinin kurulması, depolanan elektriğin iletim veya dağıtım sistemlerine bağlanmasına yönelik hazırlanmıştır. İlgili bir diğer yönetmelik de 30772 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'dir. Bu yönetmelikte de kendi ürettiği elektriği kullanmayı planlayan tüketicilerin arz güvenliğinin sağlanması, bu üreticilerin ülke ekonomisine kazandırılması ve üretilen enerjinin etkin bir şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Buna yönelik olarak lisans alarak elektrik üretimi yapabilecek gerçek ve tüzel kişilere yönelik usul ve esaslar yer almaktadır.

Bunlara ek olarak 4737 sayılı Endüstri Bölgeleri Kanunu, 2872 sayılı Çevre Kanunu, 2737 sayılı Kara Avcılığı Kanunu, 4232 sayılı Mera Kanunu, 3083 sayılı Sulama Alanlarında Arazi Düzenlemesine Dair Tarım Reformu Kanunu, 3573 sayılı Zeytinciliğin Islahı ve Yabanilerin Aşılattırılması Hakkında Kanun, 2863 sayılı Kültür

ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, 3621 sayılı Kıyı Kanunu, 2565 sayılı Askeri Yasak Bölgeler ve Güvenlik Bölgeleri Kanunu, 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu ve 2634 sayılı Turizmi Teşvik Kanunu da yenilenebilir enerji tesisleri kurulumu için mekânsal eşikler ve kurulum alanlarını etkileyen önemli kanunlar arasında yer almaktadırlar.

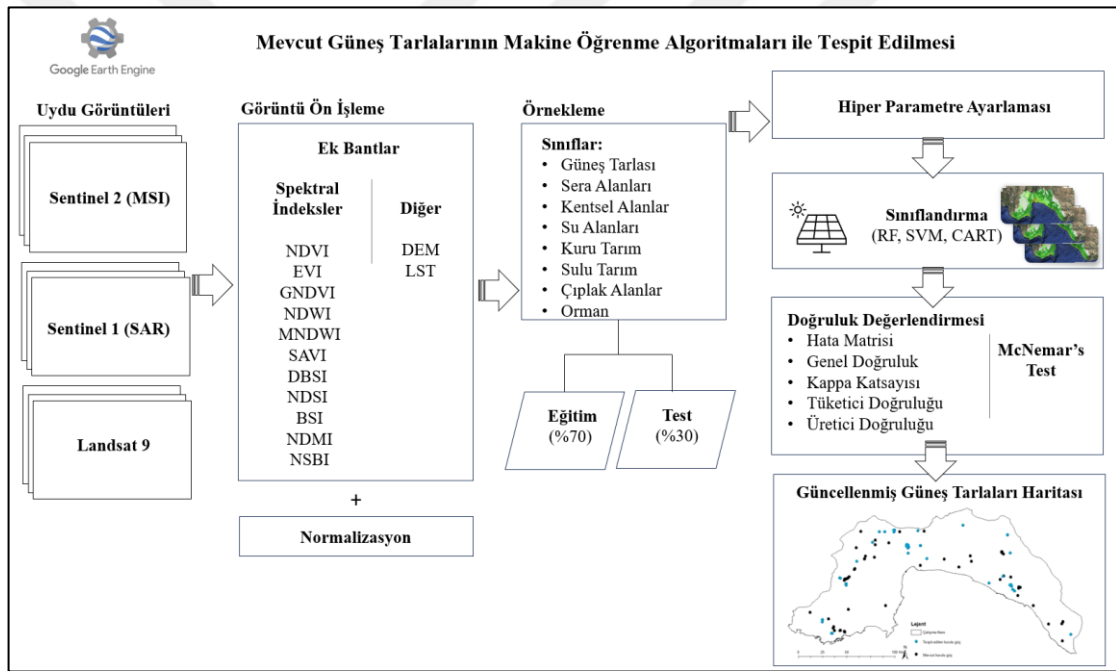


3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışmanın ilk aşamasında kullanılan; veri setleri, spektral indeksler, GEE, görüntü işleme ve sınıflandırma süreci, uydu görüntü ön işleme, görüntü zenginleştirme ve ek bantlar, eğitim ve test verileri, hiper parametre ayarlaması, sınıflandırma algoritmaları (RF, SVM ve CART) ve doğruluk değerlendirmesi (Hata Matrisi ve McNemar's Test) yer almaktadır.

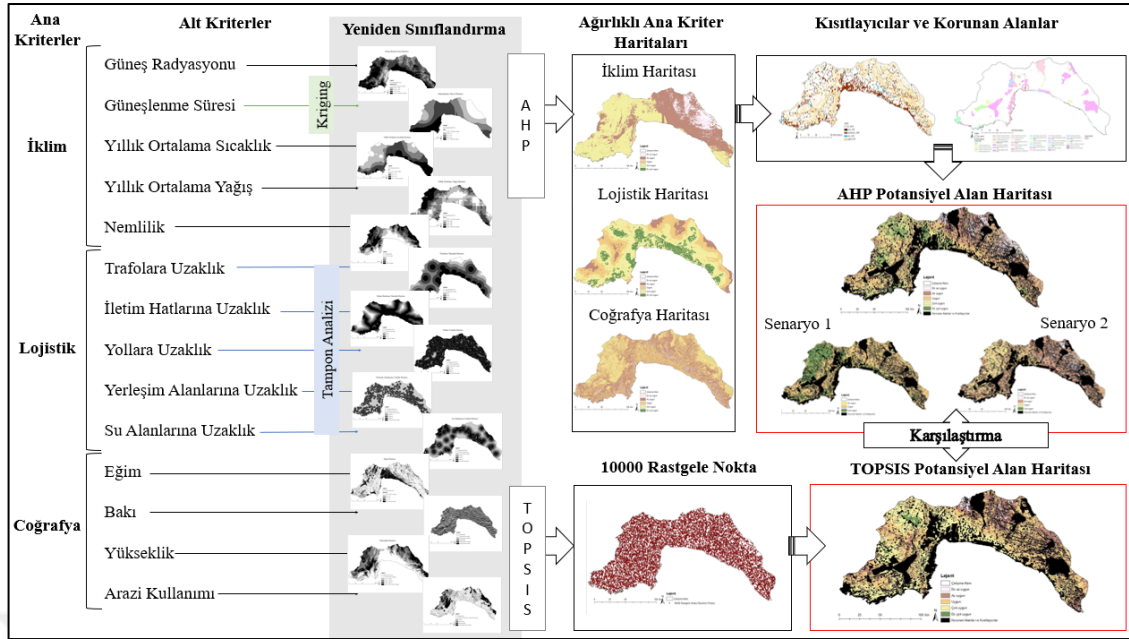
İkinci aşama için Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri paylaşılmaktadır. Ayrıca kriterlerin hangi çalışmalara göre seçildiği, kriterlerin yeniden sınıflandırılması sürecinde kullanılan değer aralıkları, korunan alanlar ve eşikler, GEE'de kullanılan veri setleri, oluşturulan kriter haritaları ve Duyarlılık Analizi yer almaktadır.

Çalışmanın ilk aşaması için hazırlanmış olan iş akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekilde mevcut güneş tarlalarının makine öğrenme algoritmaları ile tespit edilmesinde kullanılan veriler ve işlem adımları gösterilmiştir.



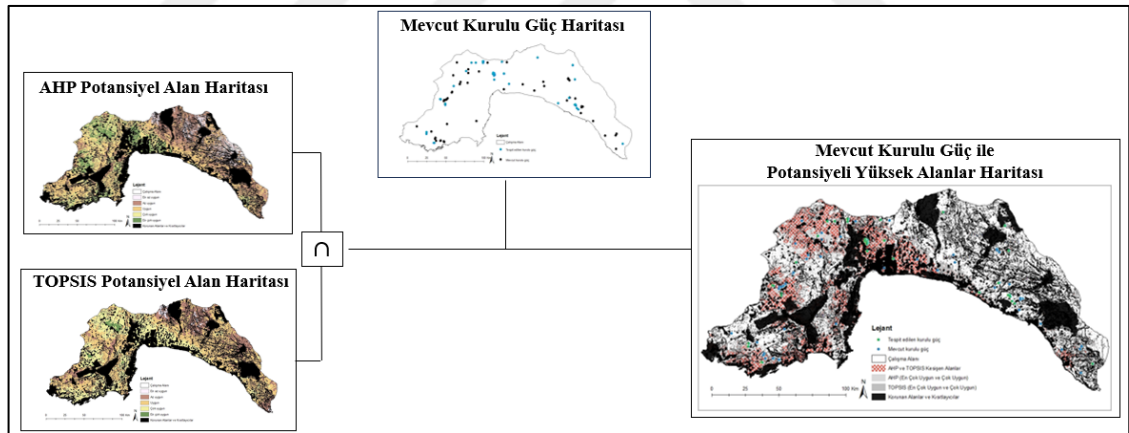
Şekil 3.1. Mevcut güneş tarlalarının makine öğrenme algoritmaları ile tespit edilmesi

İkinci aşamaya ait iş akış şeması Şekil 3.2'de verilmiştir. Bu şekilde, belirlenen ana kriterler, alt kriterler, uygulanan yöntemler ve elde edilen haritalar ile AHP ve TOPSIS haritalarının elde edilmesi ve çıkan sonuçların karşılaştırılması işlem adımları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. AHP ve TOPSIS ile potansiyel açıdan uygunluk haritalarının oluşturulması

Son akış şeması ise elde edilen haritaların kesişimlerinin alınmasından ve Mevcut Güneş Tarlası Kurulu Gücü ile birlikte değerlendirilmesi aşamalarını göstermektedir (Şekil 3.3).

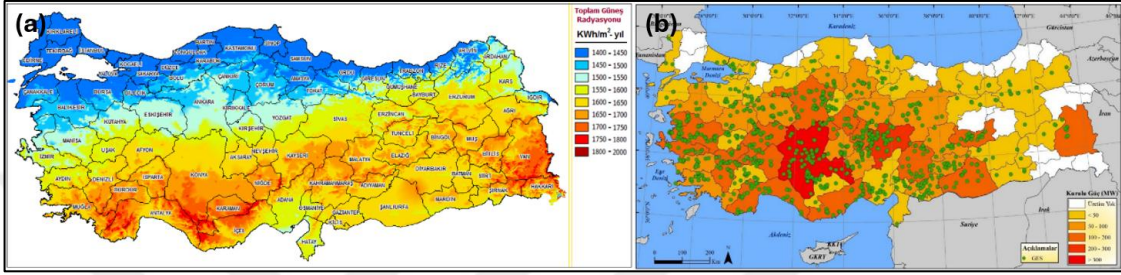


Şekil 3.3. Potansiyel alanlar ile mevcut kurulu güç haritalarının çakıştırılması

3.1. Çalışma Alanı

Ülkemiz sahip olduğu coğrafi konumunun avantajları sebebiyle başlıca güneş, rüzgâr ve jeotermal olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları açısından yüksek bir potansiyele sahiptir. 2025 yılı Mayıs ayı verilerine göre Türkiye'nin toplam elektrik kurulu gücü 119 bin 265 MW'tır. Bu gücün 72 bin 492 MW'ını (%60,8'ini) yenilenebilir enerji kurulu gücü oluşturmaktadır. Güneş Enerji Santrali sayısı ise 34 bin 10 adettir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2025). Buna ek olarak, yıllık toplam 2.741 saat güneşlenme süresi olan ülkemizde, ortalama güneş radyasyon değerinin 1.527,46 kWh/m² olduğu belirtilmektedir. En çok potansiyele sahip olan

bölgelerimiz ise Doğu Anadolu Bölgesi ile Batı Akdeniz Bölgesi'dir (Şekil 3.4a). Buradan yola çıkarak çalışma alanı olarak, güneş enerji potansiyeli açısından yüksek seviyeye sahip olan ve Batı Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Antalya ili seçilmiştir. Çalışma alanının belirlenmesinde bir diğer sebep de Pınar vd. (2020) tarafından yayınlanan makalede iller bazında yapılan mevcut kurulu güç sayıları incelendiğinde, potansiyeli yüksek olan Antalya ilinde güneş tarlası sayısının çok fazla olmamasıdır (Şekil 3.4b). Ek olarak Pınar vd. (2020) yaptıkları çalışmada, güneş tarlalarının Google Earth üzerinden gözlem yolu ile tespit edildiğini ve güneş tarlalarının konumlarına yönelik açık veriye erişilemediğini ifade etmişlerdir. Bu sebeple, bu çalışmada güneş tarlalarının konumları ve alanları uzaktan algılama görüntülerinden dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4. a) Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA 2022); **b)** Güneş enerji santrallerinin illere göre dağılım haritası (Pınar vd. 2020)

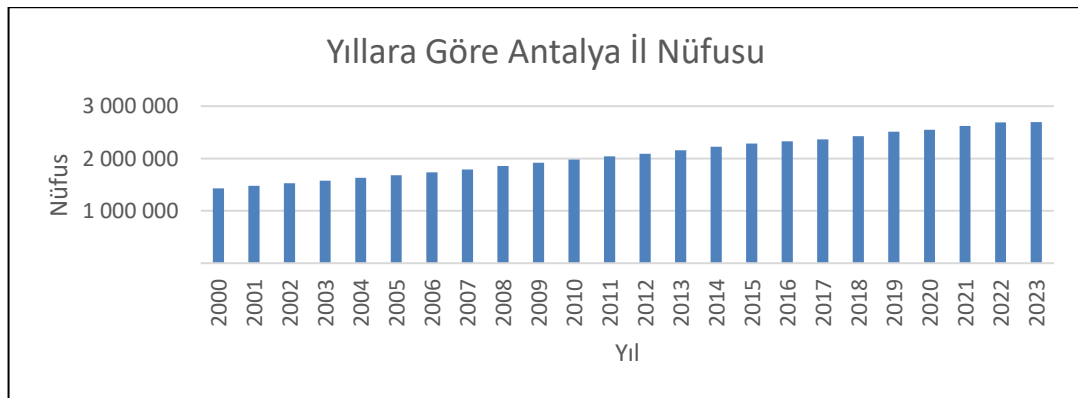
Antalya, Türkiye'nin nüfus büyüklüğü açısından en büyük 5. ilidir. 29°20'-32°35' doğu boylamları ile 36°07'- 37°29' kuzey enlemleri arasında konumlanmaktadır. Akdeniz'e kıyısı olup; Muğla, Burdur, Isparta, Konya, Karaman ve Mersin illeri ile komşudur ve Kaş, Demre, Finike, Kumluca, Elmalı, Kemer, Korkuteli, Merkez (Konyaaltı, Kepez, Muratpaşa, Döşemealtı, Aksu), Serik, Manavgat, İbradı, Akseki, Gündoğmuş, Alanya ve Gazipaşa olmak üzere 19 ilçesi bulunmaktadır. Akdeniz İklim tipi hakimdir. %77,8'i dağlık, %10,2'si ova, %12'si ise engebeli araziden oluşmaktadır (Şekil 3.5).

Çalışma alanı verisi GEE platformuna varlık (asset) olarak yüklenmiştir. Yüklenen veri ile Antalya ili sınırları içerisinde analizler yapılmıştır. Çalışma verisi İlgi Alanı (Region of Interest, ROI) ismi ile yüklenmiş olup çalışma alanının boyutu ve piksel sayısı bilgileri, özellikler (features) içerisinde yer almaktadır (Ek 2).



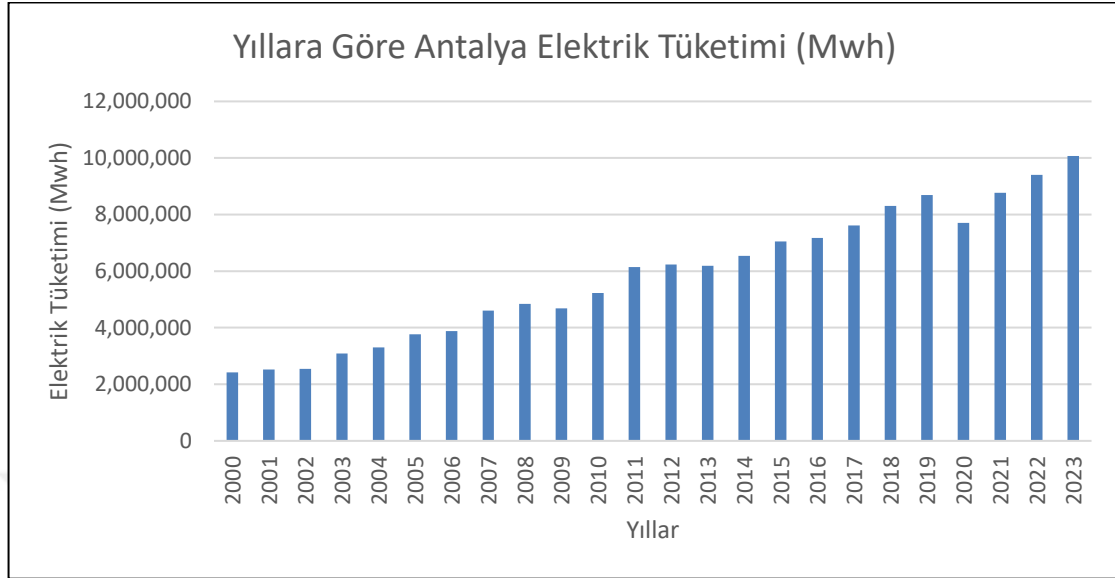
Şekil 3.5. Çalışma alanının Türkiye'deki konumu ve Google Earth görüntüsü üzerinde Antalya il sınırı

TÜİK (2024) verilerine göre, il nüfus değişimine bakıldığında nüfusun her yıl giderek arttığı görülmektedir (Şekil 3.6). Bu artış ile aynı zamanda yıllar içinde enerjiye olan ihtiyaçta da artış olmuştur (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Yıllara göre Antalya ili nüfus değişimi

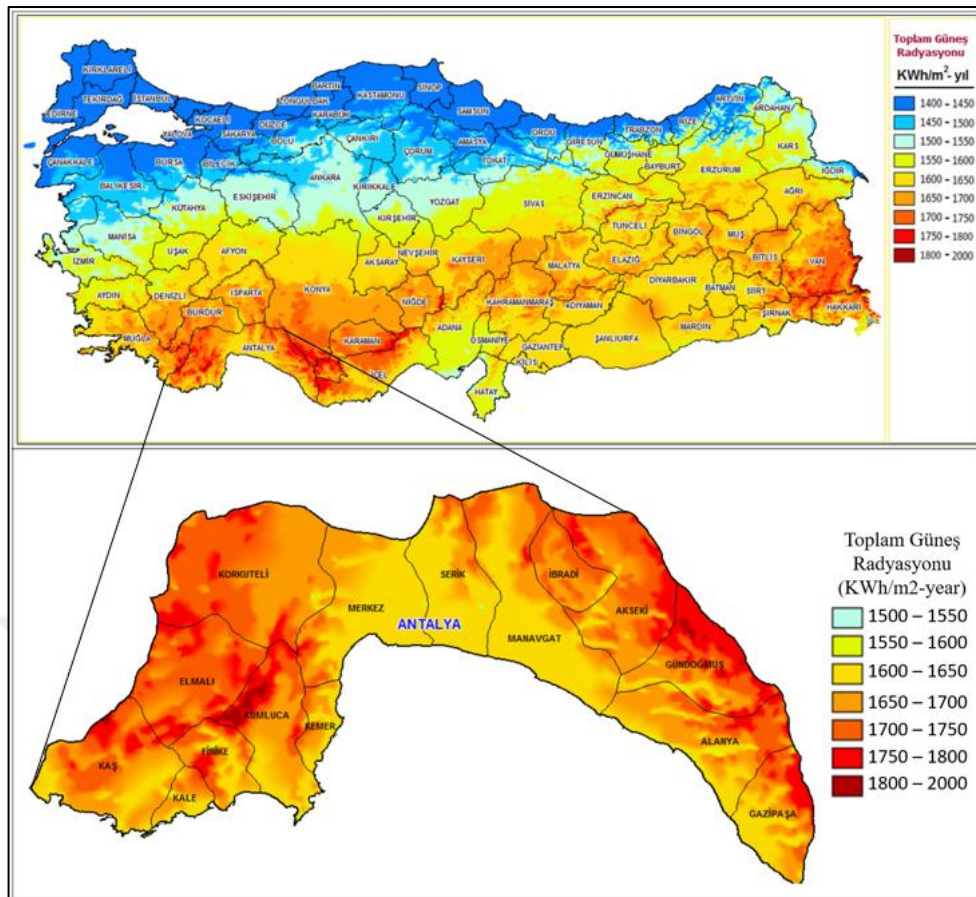
Elektrik tüketimi verisi TÜİK tarafından 2023 yılına kadar paylaşılmıştır. 2020 yılında yaşanan düşüşün, Covid-19 pandemisinde geçici olarak kapanan işletmeler sonucunda olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 3.7. Yıllara göre Antalya ili elektrik tüketimi değişimi

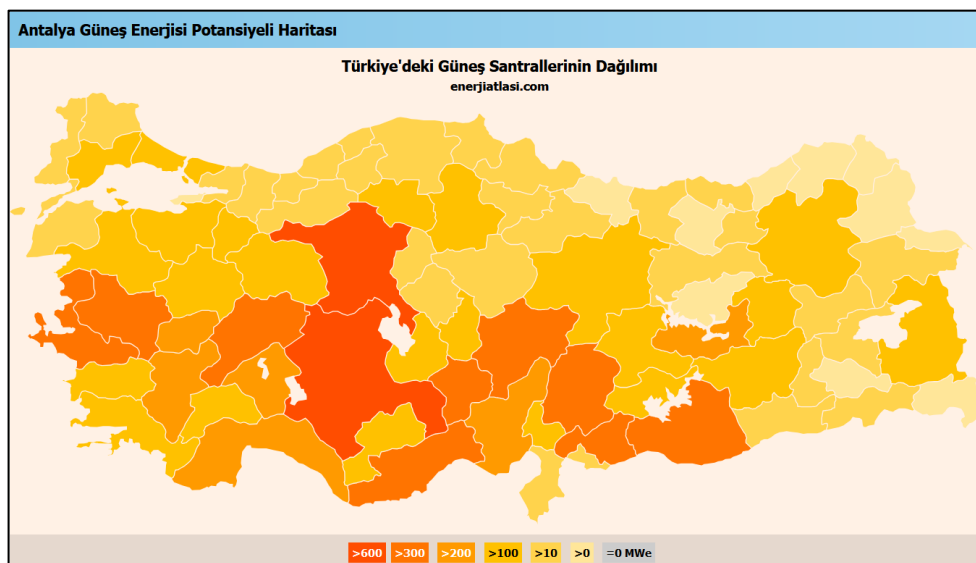
3.1.1. Güneş enerji potansiyeli

Antalya, güneş enerji potansiyeli bakımından yüksek potansiyele sahip illerden biridir. Yıllık en az 1500 en fazla 2000 kWh/m² yıl güneş radyasyonu almaktadır. En yüksek değerler Kumluca, Elmalı, Kaş ve Gündoğmuş ilçelerinde, en düşük değerler ise Merkez ve Serik ilçelerinde görülmektedir (Şekil 3.8). Antalya ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 18,7 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı 1081 mm'dir. Yılın ortalama 300 günü güneşli olarak geçmektedir. İlde nispi nem %64 civarındadır (ANTAB 2024). Kıyı kenti olması sebebiyle nem oranı yüksek olsa da topoğrafyasının avantajıyla güneş tarlası kurulumundan yüksek verim alınabilecek, 3053 metreye kadar çıkan yükseltiye sahiptir.



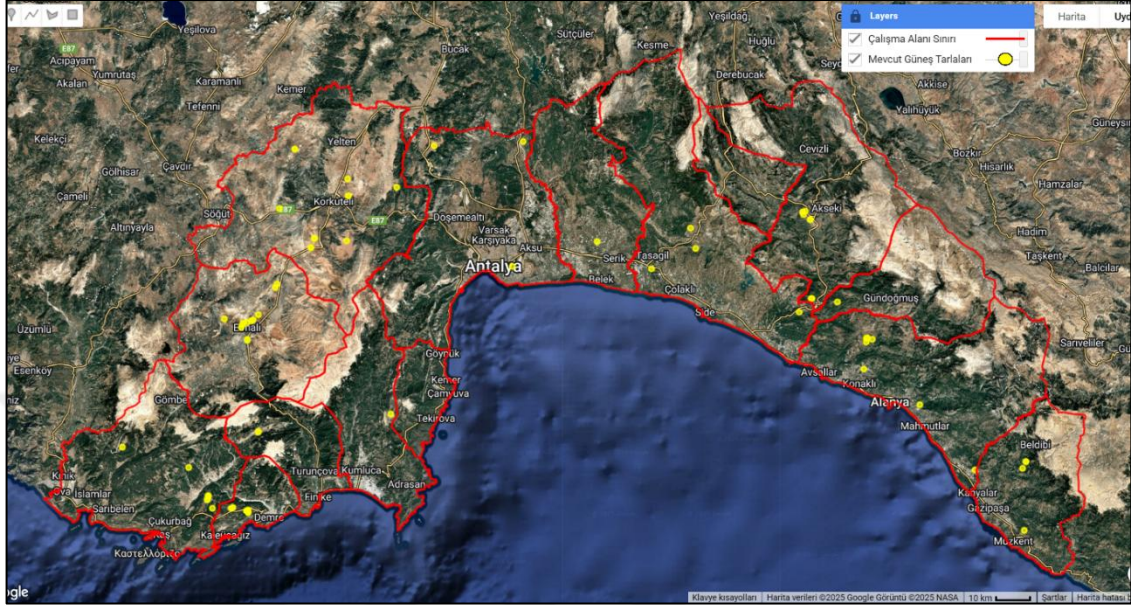
Şekil 3.8. Antalya'nın Güneş Enerji Potansiyeli (GEPA 2024)

Enerji Atlası verilerine göre kurulu santral gücü 45 santral, 290 MW'dır. Yapım aşamasında olan 12 MW üretecek olan 4 santral, ön lisans alan ise 1.060 MW'lık 18 adet santral yer almaktadır (Enerji Atlası 2024). Ancak Türkiye'deki diğer illerle karşılaştırıldığında, yüksek potansiyeline rağmen bu üretim az kalmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Türkiye’deki Güneş Santrallerinin Dağılımı (Enerji Atlası 2024)

Overpass Turbo aracılığıyla OpenStreetMap (2025) verilerinden alınan güneş tarlası verileri kullanılarak mevcut kurulu güç haritası Google Earth yazılımında sayısallaştırılmış ve Şekil 3.10’da verilmiştir. İbradı ilçesi, Kemer ilçesi, Merkezde yer alan Konyaaltı ve Kepez ilçeleri haricinde tüm ilçelerde güneş tarlası kurulu gücü olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10. Antalya’nın mevcut güneş tarlası kurulu gücü (OpenStreetMap 2025)

3.2. Veri Setleri ve Kullanılan Araçlar

Bu bölümde çalışmada kullanılan veriler ve uygulanan yöntemler paylaşılmıştır.

3.2.1. Sentinel 2 uydu görüntüsü

Güneş tarlaları, çalışma alanının yüzölçümüne kıyasla küçük alanlar kaplamaktadırlar. Tespit edilebilmeleri için yüksek çözünürlüklü bir uydu görüntüsüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple GEE platformunda açık erişim ile ücretsiz bir şekilde erişilebilen Sentinel 2 Multispektral Enstrüman (Multispectral Instrument, MSI) uydu görüntüsü tercih edilmiştir.

Sentinel 2, 23 Haziran 2015’te fırlatılmıştır. Geniş şerit (wide-swath) ve yüksek çözünürlüklü multispektral bir görüntü sunmaktadır. Bantları 10 metre ile 60 metre arasında mekânsal çözünürlüğe sahip olan uydu, 13 banttan oluşmaktadır (ESA 2025). Çizelge 3.1’de bantlara ait tanımlar, dalga boyları ve mekânsal çözünürlükleri yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Sentinel 2 bant değerleri (ESA 2025)

Bant	Tanım	Dalga Boyu (μm)	Mekansal Çözünürlük (m)
B1	Ultra Blue (Coastal and Aerosol)	443 nm	60 m
B2	Blue	490 nm	10 m
B3	Green	560 nm	10 m
B4	Red	665 nm	10 m
B5	Visible and Near Infrared (VNIR)	705 nm	20 m
B6	Visible and Near Infrared (VNIR)	740 nm	20 m
B7	Visible and Near Infrared (VNIR)	783 nm	20 m
B8	Visible and Near Infrared (VNIR)	842 nm	10 m
B8a	Visible and Near Infrared (VNIR)	865 nm	20 m
B9	Short Wave Infrared (SWIR)	940 nm	60 m
B10	Short Wave Infrared (SWIR)	1375 nm	60 m
B11	Short Wave Infrared (SWIR)	1610 nm	20 m
B12	Short Wave Infrared (SWIR)	2190 nm	20 m

Bu çalışmada 10, 20 ve 60 metre mekânsal çözünürlüğe sahip olan B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B11 ve B12 bantları kullanılmıştır. Görüntü kalitesinin yapılacak analizler için önemli olmasından dolayı açık bir hava tercih edildiği için Haziran-Ağustos 2024 görüntüleri kullanılmıştır. Bulutluluk oranı %20'nin altında olacak şekilde belirlenmiştir.

3.2.2. Sentinel 1 uydu görüntüsü

Güneş tarlalarının tespitini kolaylaştırmak için yatay ve dikey polarizasyon bant değerlerinden faydalanabilmek adına Sentinel 1 (Sentetik Açıklıklı Radar, SAR) uydu görüntüsü bu çalışmada ek bant olarak kullanılmıştır.

SAR her türlü hava koşulunda, gece ve gündüz veri sağlamaktadır. Anten ışın deseni (antenna beam pattern), SAR'dan gelen mikrodalga darbelerine sahiptir ve yer

hedefine geri saçılır ve enerji sensöre geri yansır (Vincent 2003). X bandı, C bandı ve L bandı olmak üzere 3 farklı banda sahiptir. Çalışmanın amacına göre bu bantlara olan ihtiyaç değişebilmektedir. X bandı 3,1 cm, C bandı 5,6 cm, L bandı ise 23,4 cm dalga boyuna sahiptir. Ayrıca SAR, Interferometric Wide (IW), Strip Map (SM) ve Extra-Wide Swath (EW) Mode gibi farklı görüntüleme modlarına sahiptir. Bu modlar farklı çözünürlük ve ölçeğe sahiptir. IW 10 m çözünürlüğe sahiptir ve 250 km'ye kadar bilgi verir, SM 80 km'ye kadar 5 m çözünürlüğe sahiptir ve EW 400 km'ye kadar 40 m çözünürlüğe sahiptir.

3.2.3. Dijital yükseklik modeli

Dijital Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model, DEM) verisi, GEE platformunda yer alan “NASADEM: NASA NASADEM Digital Elevation 30m” verisinden alınmıştır (NASA JPL 2020). Bu veri, SRTM verisinden üretilmiş ve ASTER GDEM, ICESat GLAS, PRISM veri setlerinin ek bant olarak kullanılmasıyla doğruluğu artırılmıştır.

Çalışmada kullanılmak üzere “Yükseklik (Elevation)” bandı seçilmiştir. Bu banda ait en küçük değer -512 metre, en büyük değer ise 8768 metredir.

3.2.4. Landsat 9 uydu görüntüsü

Arazi Yüzey Sıcaklığı (Land Surface Temperature, LST) ek bandının üretilmesi için Landsat 9 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Bu veri seti “LANDSAT/LC09/C02/T1_TOA” verisinden alınmıştır. Yüksek mevcut veri kalitesine sahip olan görüntüler Seviye 1'e yerleştirilmektedir. Seviye 1, yani iyi karakterize edilmiş ve radyometrik düzeltmeleri yapılmış olan görüntüler Seviye 1 Hassas Arazi (L1TP) verilerinden oluşmaktadır (USGS 2025). Genellikle zaman serisine yönelik analizlerde bu veri kullanılmaktadır.

Landsat 9 uydusu, 27 Eylül 2021'de fırlatılmıştır. İlk Işık (First Light) görüntüleri, 31 Ekim'de alınmaya başlamıştır. 9 tanesi spektral, 2 tanesi termal bant olmak üzere toplamda 11 adet bandı bulunmaktadır (USGS 2025). Dalga boyları ve mekânsal çözünürlüklerine ait bilgiler Çizelge 3.2'de yer almaktadır. B10 ve B11 Landsat 9 uydusunda 100 metre mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Ancak GEE platformunda sunulan “LANDSAT/LC09/C02/T1_TOA” verisinde yeniden örnekleme (resampled) yapılarak 30 metre çözünürlükle sunulmuştur.

3.2.5. MODIS uydu görüntüsü

Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS) 36 adet spektral banda sahiptir. Genellikle iklim çalışmalarında tercih edilmektedir (Jin vd. 2005; Broxton vd. 2014). Yeryüzündeki bulutluluk oranını vermektedir. GEE'de Su Buharı (Water Vapor) bandı bu çalışmanın

nemlilik haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır. 5 yıllık veri toplanmış ve ortalama (mean) değeri alınmıştır.

Çizelge 3.2. Landsat 9 Bant Değerleri (USGS 2025)

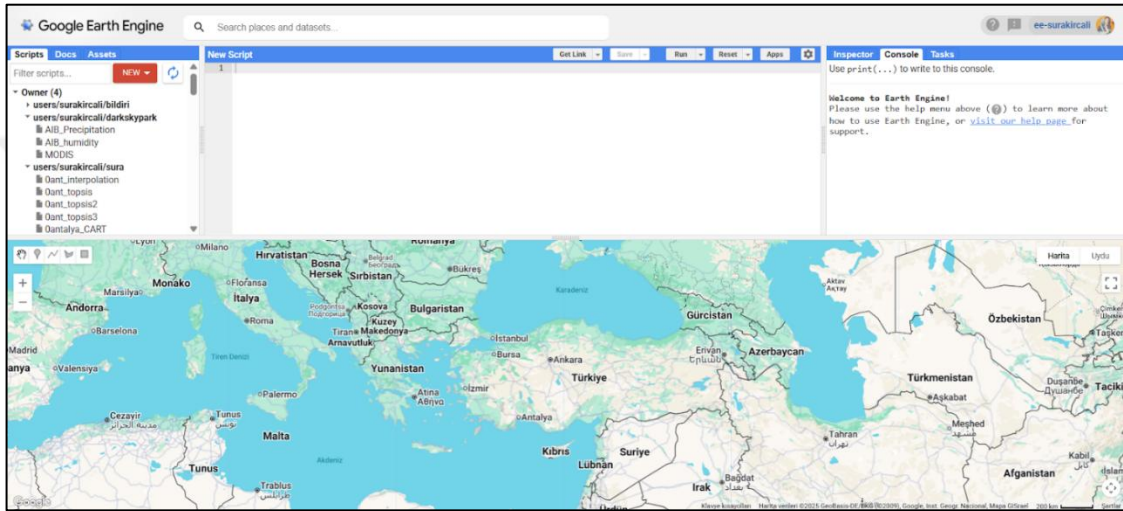
Bant	Tanım	Dalga Boyu (μm)	Mekânsal Çözünürlük (m)
B1	Visible Coastal Aerosol	0.43-0.45 nm	30 m
B2	Visible Blue	0.45-0.51 nm	30 m
B3	Visible Green	0.53-0.59 nm	30 m
B4	Red	0.64-0.67 nm	30 m
B5	Near Infrared	0.85-0.88 nm	30 m
B6	Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.57-1.65 nm	30 m
B7	Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.11-2.29 nm	30 m
B8	Panchromatic (PAN)	0.50-0.68 nm	15 m
B9	Cirrus	1.36-1.38 nm	30 m
B10	Thermal Infrared (TIRS) 1	10.6-11.19 nm	30 m (yeniden örneklendirilmiş)
B11	Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50-12.51 nm	30 m (yeniden örneklendirilmiş)

3.2.6. Google Earth Engine

Büyük ölçekli coğrafi veriler sunarak analizler ve görselleştirmeler yapılabilmesini sağlayan bulut tabanlı ve jeomekansal bir işlem platformudur (GEE 2025). Uydu görüntülerinin, indirmeye gerek kalmadan, kolayca erişilip hızlı şekilde işlenebilmesine olanak tanımaktadır. Optik uydu görüntüleri, radar verileri, iklimsel ve meteorolojik veriler, topografya verileri, spektral indeksler başta olmak üzere birçok veriye ücretsiz erişim sağlamaktadır. Sınıflandırma, değişim tespiti, regresyon, zaman serisi analizi gibi birçok analize imkân tanımaktadır. Google sunucularını kullandığı için yüksek işlem gücüne sahiptir. Javascript API (Application Programming Interface / Uygulama Programlama Arayüzü) ve Python API kodlama dilleri ile işlem yapılmaktadır. Büyük veri setleri ile çalışırken piksel sayısı açısından kısıtlayıcılara

sahiptir ve buna bağlı olarak hata verebilmekte veya haritaların yüklenmesi uzun sürebilmektedir.

Platformda yazılan kodların kaydedildiği, kullanılacak işlem türüne yönelik gereken açıklamalar ve içeriye aktarılan veriler arayüzün sol tarafında yer almaktadır. Orta kısım kodun yazıldığı kısımdır. Orta kısmın üstündeki satırda, yazılan kodun kaydedilmesine, temizlenmesine ve çalıştırılmasına yönelik butonlar bulunmaktadır. Sağ kısımda çıktılar gösterilmektedir. Üretilen haritada bir noktaya ait detaylı bilgi alınabilmekte, kod içerisinde histogram üretme veya veri setine yönelik sonuçları sayısal olarak alma vb. çıktıları görebilme ve haritayı dışarıya aktarma işlemlerinin sonuçları yer almaktadır. Üretilen harita ise alt kısımda oluşmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Google Earth Engine arayüzü

3.3. Görüntü İşleme ve Sınıflandırma Süreci

Bu çalışmada uydu görüntülerine ön işleme yapılmış, ardından görüntü zenginleştirme adımları ve ek bantlar hakkında bilgi verilmiştir. Eğitim ve test verilerinin oranları, hiper parametre ayarlaması ve sınıflandırma algoritmaları bu bölümde anlatılmaktadır. Doğruluk değerlendirme yöntemleri ile tamamlanmaktadır.

3.3.1. Uydu görüntü ön işleme

Sentinel 2 uydu görüntülerinin daha bulutsuz ve daha net olması için ön işleme aşaması uygulanmıştır. Bu nedenle yaz görüntüleri seçilmiş ve bulutluluk oranı filtresi kullanılmıştır. Bulutluluk oranı %20'den az olan görüntüler, 10 m ve 20 m mekânsal çözünürlüğe sahip olan bantlar seçilerek çalışma alanı sınırlarına göre görüntüler kırılmış ve medyan filtresi uygulanmıştır. Son olarak kompozit görüntüler elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin geometrik ve radyometrik düzeltmeleri GEE ile yapılmıştır.

Makine öğrenme algoritmaları, tüm değerler aynı aralıkta olduğunda daha iyi çalışmaktadır. Bu sebeple normalizasyon işlemi uygulanmış ve tüm piksel değerleri 0-1 aralığına getirilmiştir.

3.3.2. Görüntü zenginleştirme ve ek bantlar

Bu bölümde kullanılan ek bantlara ait tanımlar, öne çıkardıkları sınıflar ve formülleri yer almaktadır.

Bitki örtüsü indekleri olarak; Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi, Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi, Yeşil Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi ve Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi kullanılmıştır.

Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalised Difference Vegetation Index - NDVI), bitki örtüsünün yoğunluğunu ve sağlığını analiz etmede kullanılan bir indekstir (Rouse vd. 1973). NDVI -1 ile +1 arasında değerlere sahiptir. Eksi değerler sağlıklı bitki örtüsünü veya bitkinin olmadığı alanları gösterirken, pozitif değerler bitki örtüsünün sağlıklı veya bol olduğu anlamına gelir. NDVI hesaplamak için yakın kızılötesi ve kırmızı bantlar kullanılır (Rouse vd. 1973). Tucker (1979) tarafından da NDVI geliştirilerek farklı ekosistemlerdeki kullanılabilirliği artırılmıştır.

Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (Enhanced Vegetation Index - EVI) Landsat Yüzey Yansımından elde edilir ve bitki örtüsünü NDVI gibi ölçer ancak mavi spektral dalga boyları nedeniyle toprak ve atmosferik etkilere NDVI'dan daha az duyarlı olabilir (Waring vd. 2006). EVI değeri 0 ise bitki yok, 1'in üzerinde ise yoğun bitki var anlamına gelmektedir.

Yeşil Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Green Normalized Difference Vegetation Index - GNDVI) hesaplanmak için Yakın Kızılötesi ve Yeşil bantlara ihtiyaç duyar. NDVI ile karşılaştırıldığında, GNDVI, daha yüksek doygunluk noktası nedeniyle ürünlerdeki klorofil değişimlerinde NDVI'dan daha hassas sonuçlar verir. Bitki fotosentez durumunu ve klorofil yoğunluğunu değerlendirme amacıyla kullanılır (Pech-May vd. 2022). Değer 0 ise bitki örtüsü yok, 0.5'ten büyük ise yüksek klorofil değerine sahip demektir. Bitkinin sağlığına dair bilgiler bu indeks sayesinde öğrenilebilir.

Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI), yakın kızılötesi dalga boylarını kullanarak toprak parlaklığı etkilerini en aza indirmeyi vurgular ve Yaprak Alanı İndeksi, Oran Bitki Örtüsü İndeksi ve NDVI gibi farklı spektral indeksler kullanılır. Bitkinin büyüme sürecinde ve yoğun bitki örtüsünün bulunduğu alanlarda kullanılması daha iyidir. SAVI değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir. Değer 0'dan küçük ise bitki örtüsü yok veya su alanı şeklinde, 0 değeri bitki örtüsünün seyrek olduğu veya var olmadığı, 0.2 - 0.3 seyrek bitki örtüsü varlığı veya bitkide stres olduğu, 0.5'ten büyük değerlerde ise bitkilerin yoğun ve sağlıklı olduğu anlamına gelmektedir. Toprak Düzeltme Faktörü değeri L ile ifade edilmektedir.

Bitki örtüsüne gelen, topraktan yansıyan ışığın etkisini azaltmak için kullanılmaktadır (Huete 1988).

Su indeksleri olarak; Normalize Fark Su İndeksi ve Modifiye Normalize Fark Su İndeksi kullanılmıştır.

Normalize Fark Su İndeksi (Normalised Difference Water Index - NDWI), Yeşil bant (Green) ve Yakın Kızıl Ötesi Bant (Near Infra-Red Band) kullanılarak uzaktan algılanan görüntü üzerindeki açık su alanlarını tespit etmek için kullanılır. Bu indeks sayesinde su alanlarının varlığı daha görünür hale getirilir. Ayrıca bazı araştırmacılar tarafından sudaki bulanıklığın (turbidity) da bu indeks sayesinde tahmin edilebildiğini belirtmiştir (McFeeters 1996). Aynı isimde Gao (1996) tarafından da bir indeks geliştirilmiştir. Gao tarafından geliştirilen NDWI bitkilerdeki su içeriğini ölçmek için, kuraklık analizlerinde kullanılır. İkisinin kullanım alanları farklı olup uygun çalışmalarda tercih edilmelidirler. Bu tez çalışmasında McFeeters'in geliştirmiş olduğu indeks kullanılmıştır.

Modifiye Normalize Fark Su İndeksi (Modified Normalised Difference Water Index - MNDWI), NDWI' ye göre açık suyu (open water) gösterme açısından daha güçlüdür. Çünkü; yapılaşma, bitki örtüsü ve toprak gürültüsünü azaltır. Özellikle, yapılaşma alanları ve su özellikleri birbirine karışır ve yapılaşma alanlarının su özellikleri gibi görünmesine neden olur (Xu 2006).

Toprak indekslerinden; Kuru Çıplak Toprak İndeksi, Normalize Fark Kum İndeksi, Çıplak Toprak İndeksi ve Oran Normalize Fark Toprak İndeksi kullanılmıştır.

Kuru Çıplak Toprak İndeksi (Dry Bare Soil Index - DBSI) kurak ve yarı kurak bölgelerdeki çorak arazileri belirlemek için kullanılır. Kentsel alanları çıplak topraktan ayırmada başarılıdır. Değerler -2 ile +2 arasında değişmektedir. Negatif değerden pozitif değere doğru gidildikçe çoraklık, çıplak toprak artmaktadır (Supe vd. 2020).

Normalize Fark Kum İndeksi (Normalised Difference Sand Index - NDSI), çalışma bölgesindeki kum alanlarını vurgulamak için kullanılır ve bu amaçla kısa dalga kızılötesi ve kırmızı bant kullanılır (Fadhil 2013). Çöl alanlarının sahip olduğu karakteristik özellikleri arazi örtüsünden ayırarak kolayca tanımlayabilmektedir (Pan vd. 2018).

Çıplak Toprak İndeksi (Bare Soil Index - BSI), toprak alanlarının nerede olduğunu anlama şansı verir. Mavi, Kırmızı, Yakın Kızılötesi ve SWIR bantları ile hesaplanır. Değerler -1 ile +1 arasında değişmektedir. Pozitif değer, çıplak toprağın yüksek seviyedeki değişimini temsil eder (Diek vd. 2017). Bitki örtüsünün çalışma alanının yarısından az olduğu durumlarda bitki örtüsü indeks değerleri güvenilir olmayabilir, bu durumda kullanılabilecek indekslerden bir tanesi BSI' dir. Çıplak toprak ile bitki örtüsü arasındaki yüksek karşılığa (high reciprocity) dayanır. Orta kızılötesi bilgi (Medium Infrared) ile hesaplanır (Rikimaru vd. 2002).

Oran Normalize Fark Toprak İndeksi (Ratio Normalised Difference Soil Index - RNDSI), kum alanları ile geçirimsiz yüzeyleri ve bitki örtüsünü karakterize etmek ve ayırmak için kullanılır. Niceliksel ve niteliksel araştırmalar sonucunda arazi örtüsündeki gürültüleri azaltıp toprak alanlarının görünürlüğünü artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda toprak alanlarını bitki örtüsünden ayırabilmiştir ancak yine de buna dair bazı problemlerle karşılaşılabilir (Deng vd. 2015). Değerler 0 ile 3 arasında değişmektedir. 0'dan 3'e doğru gidildikçe kirlenme artar (Supe vd. 2020).

Nemlilik için Normalize Fark Nem İndeksi (Normalised Difference Moisture Index - NDMI) kullanılmıştır. NDMI, uydu görüntüleri sayesinde bitki örtüsü sıvı suyundan stres seviyelerini verir. Tarım alanları gibi büyük alanlarda bitkilerdeki su stresi, nem durumu, kuraklığı bu indeks sayesinde kolayca tespit edilebilir. NDWI temel alınarak geliştirilmiş bir indekstir. Değer aralığı -1 ile 1 arasında değişir. -1 çıplak toprak, kurak alan, çok düşük nem değerini gösterirken, +1 değerine doğru gidildikçe nem içeriğinde artış var anlamına gelmektedir. +1 ise yüksek su içeriğine sahip, yoğun bitki örtüsü var demektir. NIR ve SWIR bantlarını kullanır. NIR ve SWIR atmosferik saçılma etkilerine karşı NDVI'dan daha hassastır ve toprak arka plan yansıma etkisini (soil background reflectance effect) tamamen ortadan kaldırmaz (Gao 1996).

Kentsel alanlar için Normalize Fark Yapılaşmış-Alan İndeksi (Normalised Difference Built-Up Index - NDBI) kullanılmıştır. NDBI, yüksek doğruluk ile yapıli alanların tanımlanması için kullanılır. Bu spektral indeks ile Arazi Yüzey Sıcaklığı (Land Surface Temperature - LST) arasında iyi bir korelasyon vardır. Geçirimsiz alanlar, NDBI ve LST değerlerinde aynı şekilde ön plana çıkmaktadır. Fakat, mevsimlerin değişimi sebebiyle aralarındaki korelasyon değişebilmektedir. NDBI değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir (Alademomi vd. 2022).

Ek olarak, DEM ve LST görüntüleri ek bant olarak kullanılmıştır. DEM, Dünya veya diğer gök cisimlerinin nokta veya alan tabanlı, ızgara biçimindeki topografik yüzey yüksekliklerinin dijital bir temsili olarak tanımlanmaktadır (Guth vd. 2021). Eğim, baki ve yükseklik haritaları DEM verisinden oluşturulmaktadır.

LST, Dünya yüzeyinden yayılan toplam radyatif enerji dengesini belirlemek için temel bir girdidir. LST genellikle iklim değişikliği, kuraklık ve toprak nem çalışmalarında kullanılır (Hulley vd. 2019).

Çalışmada kullanılan bu ek bantlara ait formüller Çizelge 3.3'te paylaşılmıştır. İndeksler uydu görüntüsü, bitki örtüsü, su, toprak, nem, kent, sıcaklık ve yükseklik olarak amaçlarına göre gruplandırılmıştır.

Çizelge 3.3. Kullanılan Ek Bantlar

Ek Bantlar	İndeks/Görüntü	Formüller / Ek Bilgiler	Referanslar
Uydu Görüntüsü	Sentinel – 1	C Bandı, IW Modu, VV ve VH Polarizasyon Bantları (Azalan, Descending), tarih filtresi (06.01.2023-08.01.2023)	(Yılmaz 2022)
	Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$	(Kayman 2015; Pech-May vd. 2022; Zhang vd. 2023; Yao vd. 2022)
Bitki Örtüsü	Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI)	$EVI = G * ((NIR - RED) / (NIR + C_1 * RED - C_2 * BLUE + L))$ L = 0-1 aralığı G = 2.5 (Kazanç Faktörü) C ₁ = 6, C ₂ = 7.5 (Aerosol Düzeltme Katsayıları)	(Pech-May vd. 2022)
	Yeşil Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (GNDVI)	$GNDVI = (NIR - GREEN) / (NIR + GREEN)$	(Pech-May vd. 2022)
	Toprak Düzeltilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI)	$SAVI = ((NIR - RED) / (NIR + RED + L)) * (1+L)$ L = 0-1 aralığı	(Pech-May vd. 2022)
	Normalize Fark Su İndeksi (NDWI)	$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$	(Zhang vd. 2023; Pech-May vd. 2022)
Su	Modifiye Normalize Fark Su İndeksi (MNDWI)	$MNDWI = (GREEN - SWIR) / (GREEN + SWIR)$	(Xu 2006)

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.3'ün devamı

Toprak	Kuru Çıplak Toprak İndeksi (DBSI)	DBSI = (SWIR ₁ - NIR) / (SWIR ₁ + NIR) – NDVI (Supe vd. 2020) Burada, NDVI = (NIR – Red)/(NIR + Red)
	Normalize Fark Kum İndeksi (NDSI)	NDSI = (SWIR ₁ – Green) / (SWIR ₁ + Green) (Supe vd. 2020)
	Çıplak Toprak İndeksi (BSI)	((Red+SWIR) – (NIR+Blue)) / ((Red+SWIR) + (NIR+Blue)) (Diek vd. 2017)
Nem	Normalize Fark Nem İndeksi (NDMI)	NDMI = (NIR – SWIR ₁) / (NIR + SWIR ₁) (Pech-May vd. 2022)
Kent	Normalize Fark Yapılaşmış-Alan İndeksi (NDBI)	NDBI = (SWIR ₁ – NIR) / (SWIR ₁ + NIR) (Zhang vd. 2023; Zha vd. 2003)
Sıcaklık	Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST)	Landsat 9 Termal Bantları (band 10, mono-window) (Supe vd. 2020)
Yükseklik	Dijital Yükseklik Modeli (DEM)	NASADEM (Yılmaz 2022)

Ek olarak, model performansı üzerine etkisini incelemek için bantların Özellik Önemleri (Feature Importance) analiz edilmiştir. Bu analiz ile hangi bandın sonuç üzerinde daha etkili olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir. Bu sayede güneş tarlalarına yönelik yapılan bu çalışmada kompozit görüntü oluşturulurken hangi ek bant sınıfların tespitinde daha etkili olduğu sorusunun cevabına ulaşılabilmektedir.

3.3.3. Eğitim ve test verileri

Kompozit görüntü oluşturulduktan sonra GEE platformunda örneklemeler toplanmıştır. Güneş tarlaları, su ögeleri, sera alanları, kuru tarım, sulı tarım, çorak arazi, orman ve kentsel alan olmak üzere toplam 8 sınıf oluşturulmuştur (Ek-1). Güneş tarlası alanlarının kısıtlı olması, orman ve tarım alanlarının çok olması sebebiyle birbirine yakın örneklem sayısı toplanmaya çalışılmıştır. Oluşturulan bu arazi örtüsü / arazi kullanımı veri seti içerisinde rastgele seçilen %70 veri eğitim, kalan %30'luk kısım ise test verilerini oluşturmaktadır. 1130 piksel eğitim, 465 piksel test olmak üzere toplam 1595 adet örneklem bulunmaktadır. Sınıflandırmada kullanılan tüm makine öğrenme

algoritmalarında aynı veri seti kullanılmıştır.

3.3.4. Hiper parametre ayarlaması

Her sınıflandırma yöntemi için belirlenen parametrelere hiper parametre Ayarlaması (Hyperparameter Tuning) yapılmıştır. Birden fazla en uygun (optimum) parametre değeri hesaplanabilmesi için her bir sınıflandırma algoritması için ayrı fonksiyonlar oluşturulmuştur.

Rastgele Orman algoritması için Ağaç Sayısı (Number of Trees) ve Torbalama Oranı (Bagging Fraction) parametre optimizasyonları yapılmıştır. Ağaç Sayısı değerinin yüksek olması, genellikle daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak ağaç sayısı arttıkça hesaplama zamanı da artmaktadır. Torbalama (Bagging) ise aşırı uyum yaşanmasının önüne geçmektedir. Daha güvenilir sonuçlar vermektedir ve sınıflandırmanın performansını arttırmaktadır (Probst vd. 2019). Ağaç Sayısı parametresi için 10'dan 150'ye kadar 10'ar artacak şekilde en uygun değer araştırılmıştır. Torbalama Oranının Kullanımı (Bagging of Fraction) parametresi için 0.1 - 0.9 değer aralığında 0.1'lik artış gösterecek şekilde incelenmiştir. Bölme Başına Değişken Sayısı (Variables per Split), En Az Yaprak Popülasyonu (Minimum Leaf Population), En Fazla Düğüm (Maximum Nodes) ve Rastgelelik Tohum Değeri (Seed) değerleri varsayılan olarak kullanılmıştır.

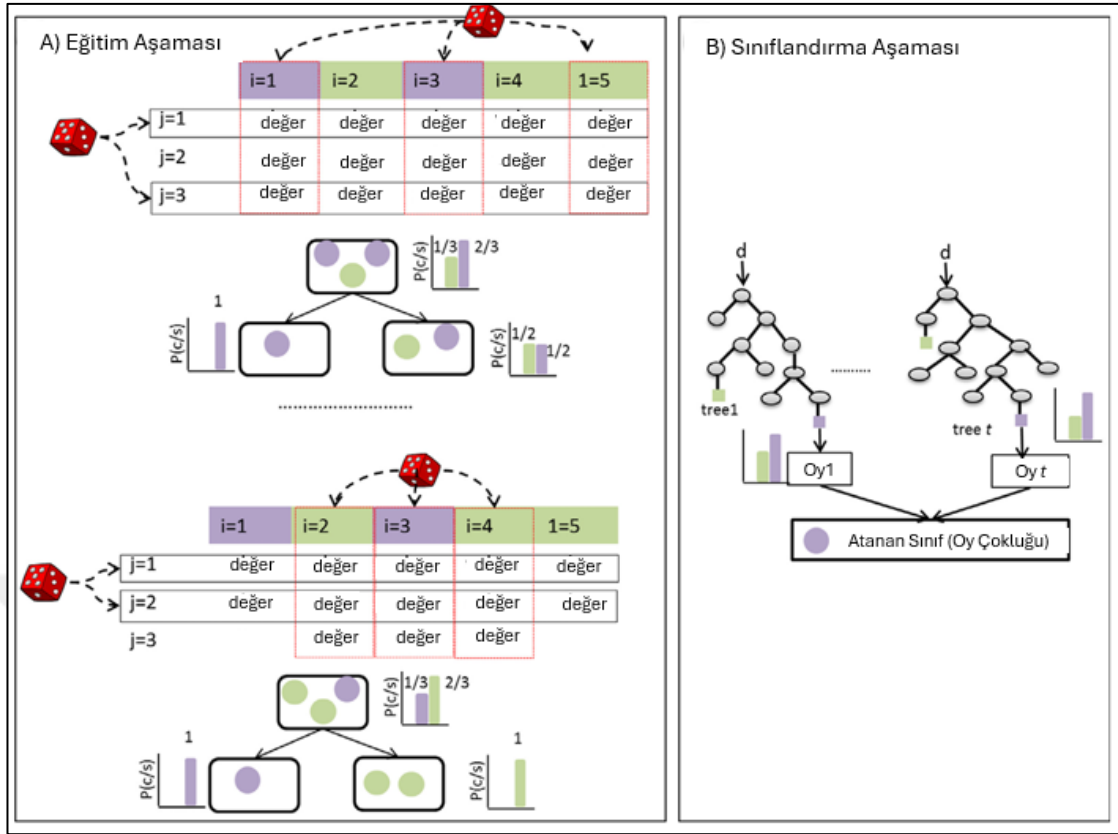
Destek Vektör Makineleri algoritması için Gamma ve Cost parametrelerinin optimum değerleri hesaplanmıştır. Gamma değeri için 0.1 – 0.9 değer aralığında 0.1'lik artışlarla optimum değer tespit edilmiştir. Cost değeri için ise 10 ile 1000 değer aralığında 10'ar değer artışıyla optimum değer araştırılmıştır. Kernel Tipi Radyal Temelli Fonksiyon (Radial Basis Function - RBF) olarak belirlenmiştir. Diğer parametreler varsayılan olarak kullanılmıştır.

Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları algoritması için En Fazla Düğüm (Maximum Nodes) ve En Az Yaprak (Minimum Leaf) parametreleri için en uygun değerler elde edilmiştir. Burada da En Fazla Düğüm için 10 – 1000 değer aralığında 10'luk artış ile en uygun değer aranmıştır. En az yaprak parametresi için de 10 – 50 değer aralığında 10'ar artışla en uygun değer elde edilmiştir.

3.3.5. Sınıflandırma algoritmaları

Bu çalışmada GEE platformunda bulunan Rastgele Orman (Random Forest - RF), Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines - SVM) ve Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (Classification and Regression Trees - CART) sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır. Bu bölümde algoritmaların çalışma prensipleri açıklanmaktadır.

RF, Breiman tarafından 2001 yılında geliştirilen, kolektif (ensemble) metotlarından biridir. Birden fazla karar ağacı modelinden oluşmaktadır (Breiman 2001). Şekil 3.12'de yer alan çalışma prensibinde de görüldüğü üzere, her ağaçta elde edilen sınıflandırma tahminleri birleştirilir ve en çok oyu alan sınıf nihai değerlendirme olarak atanır.



Şekil 3.12. Rastgele orman algoritması çalışma prensibi (Belgiu ve Dragut 2016)

RF algoritmasını diğer karar ağaçlarından ayıran en önemli özelliği rastgelelik barındırmasıdır. Rastgelelik ile her ağaçta farklı “bootstrap” örneklemeleri yer almaktadır. Her düğümde rastgele seçilen tahmin edicilerden en iyisi kullanılmaktadır. Ağaçlar “bootstrap” örnekleme ve her düğümdeki rastgele seçilen tahmin edicilerden oluşmaktadır. Bu sebeple aynı örneklem birçok kez seçilebilirken diğerleri hiç seçilmeyebilir.

Veri setinin yaklaşık 3’te 2’si eğitim için kalanı ise test, yani sınıflandırma doğruluğunun değerlendirilebilmesi için kullanılmaktadır. Bu hata tahmini Torba Dışı (Out of Bag - OOB) olarak adlandırılmaktadır. Kullanıcı tarafından tanımlanan parametreler sınıflandırma sonucu doğruluğunu artırabilmektedir. Bunlardan bir tanesi ağaç sayısı (Number of Trees) parametresidir ve diğer parametrelere göre daha hassastır. RF sınıflandırıcısı, hesaplama olarak etkili olduğu ve üst üste çakışmadığı için (overfit) ağaç sayısı mümkün olduğunca büyük sayı seçilebilir (Belgiu ve Dragut 2016).

Farklı uygulamalarda doğru tahminlerde bulunması, özelliklerinin öneminin ölçülebilmesi ve örnekler arasındaki yakınlığın algoritma sayesinde ölçülebilmesi önemli özelliklerindendir (Qi 2012). Ayrıca eğitilebilmesi ve tahmin yeteneğinin diğer yöntemlere kıyasla daha hızlı olması, birkaç parametre ile iyi sonuç verebilmesi, genelleme hatası tahmini yapabilmesi, eksik değer ispatı ve aykırı değer tespiti yapabilmesi gibi özelliklere ve avantajlara da sahiptir (Cutler vd. 2012). Bu çalışmada kullanılan optimum ağaç sayısı 120, torbalama oranının kullanımı ise 0,8 olarak elde edilmiştir.

Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines, SVM), Vapnik (1995) tarafından ortaya atılmıştır. Denetimli ve parametrik olmayan istatistiksel öğrenme metotlarından biridir. Küçük veri setleri ile yüksek doğruluk sağlayabilmektedir. İki sınıflı doğrusal verileri birbirinden en iyi şekilde ayıran bir hiper düzlem yaratılması mantığına dayanan algoritma, zamanla geliştirilerek çok sınıflı, doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılmasına da olanak tanımıştır.

Doğrusal ayrılan verilerde sınıflar arasında optimum ayrışmanın sağlanabilmesi için bir hiper düzlem oluşturma mantığına dayanmaktadır. Eğitim verilerinin k tane olduğu durumda; $\{x_i, y_i\}$, $i=1, \dots, k$ için optimum hiper düzlem için eşitsizliklere ait formül 3.1’de verilmiştir.

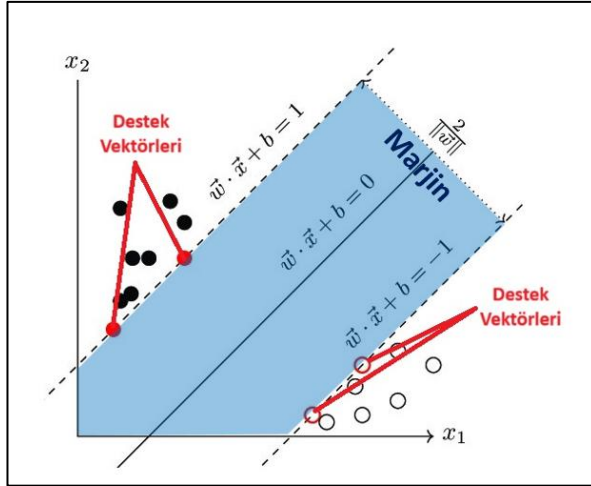
$$w \cdot x_i + b \geq +1, \text{ her } y = +1 \text{ için} \quad (3.1)$$

$$w \cdot x_i + b \leq -1, \text{ her } y = -1 \text{ için}$$

Tek formülle ifade edilmek istendiğinde bu 3.2’deki gibidir.

$$r_i (w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0 \quad (3.2)$$

Burada, “W” hiper düzlemin ağırlık vektörünü, “b” eğilim değerini göstermektedir. “X”, N boyutlu bir uzay değerini, $y \in \{-1, +1\}$ de sınıf etiketlerini göstermektedir. Pozitif ve Negatif örneklerin arasında bir doğru çizilmekte ve bu doğruya ± 1 uzaklıkta kalan alan Marjin (Margin) olarak tanımlanmaktadır. Marjine değen pozitif veya negatif sınıftaki örnekler de Destek Vektörleri (Support Vectors) ismini almaktadır. Şekil 3.13’te N=2 için örnek bir grafik yer almaktadır.



Şekil 3.13. Destek vektör makineleri (Yang vd. 2019)

$\|w\|$ ifadesi en küçük hale getirildiğinde hiper düzlem sınırı en yüksek değere çıkmaktadır. En uygun değer 3.3’teki formülle belirlenmektedir.

$$\min [1/2\|w\|^2] \quad (3.3)$$

Bu formül kullanılarak sınırlı optimizasyon çözümü sağlanabilir. Bu sınırlamalar ise 3.4'teki gibi ifade edilmektedir.

$$y_i(w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0 \text{ ve } y_i \in \{+1, -1\} \quad (3.4)$$

Lagrange denklemleri ile eğer optimizasyon problemi varsa çözülebilmektedir. Ardından 3.5'te yer alan denklem gelmektedir.

$$L(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^k \alpha_i y_i (w \cdot x_i + b) + \sum_{i=1}^k \alpha_i \quad (3.5)$$

Son olarak elde edilen formül ise 3.6'da verilmiştir.

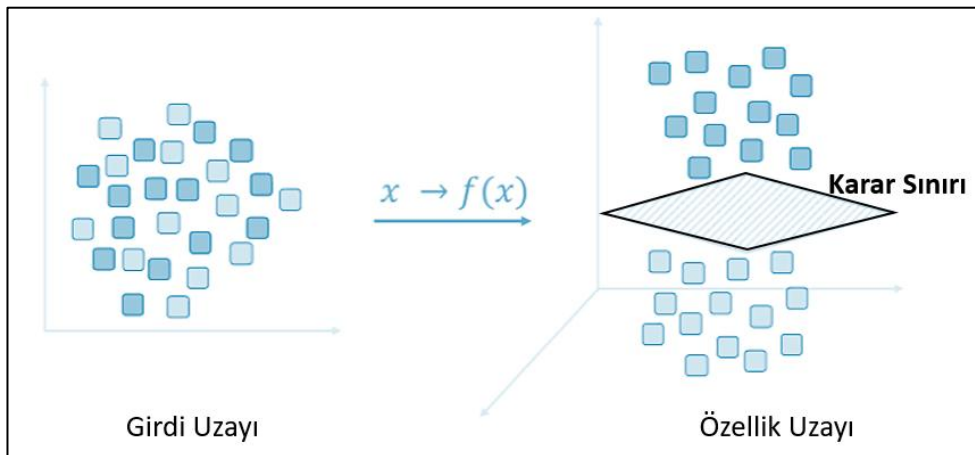
$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^k \lambda_i y_i (x \cdot x_i) + b \right) \quad (3.6)$$

Eğer üzerinde çalışılan veriler doğrusal ayrılmayan veriler ise pozitif bir yapay değişken (slack variable, ξ) tanımlanması gerekmektedir. Hata oranının en aza indirilmesi için C değeri yani düzenleme parametresi (penalty parameter) tanımlanabilir. C değeri, 0 ile sonsuz değer arasında verilebilmektedir. Doğrusal ayrılmayan verilerle yapay değişken ve düzenleme parametresi kullanılacak ise 3.7'deki formül ile optimizasyonu yapılır.

$$\min \left[\frac{\|w\|^2}{2} + C \cdot \sum_{i=1}^r \xi_i \right] \quad (3.7)$$

$$r_i (w \cdot x_i + b) \geq 1 - \xi_i$$

Burada $\xi \geq 0$ ve $i = 1, \dots, N$ 'dir. Şekil 3.14'te de görüldüğü üzere doğrusal ayrılmayan veriler girdi uzayından özellik uzayına geçildiğinde karar sınırı (hiper düzlem) ile birbirlerinden ayrılırlar.



Şekil 3.14. Doğrusal ayrılmayan veriler için SVM (Sheykhmousa vd. 2020)

SVM için yapılması gereken bir diğer önemli kısım da Kernel (Çekirdek) fonksiyonunun ve fonksiyon parametrelerinin belirlenmesidir. Farklı alanlardaki uygulamalar için farklı Kernel çeşitleri kullanılmaktadır. En yaygın kullanılanları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. SVM Kernel Fonksiyonları

Kernel Fonksiyonu	Matematiksel İfadesi	Parametreler
Doğrusal Çekirdek (Linear Kernel)	$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$	Ek parametre içermez
Polinom Çekirdek (Polynomial Kernel)	$K(x_i, x_j) = (\gamma x_i^T x_j + r)^d,$ $\gamma > 0$	Kernel boyutu (Gamma, γ), Bias (Sapma) terimi (r), Polinom derecesi (d)
Radyal Tabanlı Fonksiyon Çekirdeği (Radial Basis Function Kernel - RBF)	$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \ x_i - x_j\ ^2),$ $\gamma > 0$	Kernel boyutu (Gamma, γ)
Sigmoid Çekirdek (Sigmoid Kernel)	$K(x_i, x_j) = \tanh(\gamma x_i^T x_j + r)$	Sapma (Bias) terimi (r)

Bu çalışmada Radyal Tabanlı Fonksiyon Çekirdeği (Radial Basis Function - RBF) Kernel Fonksiyonu tercih edilmiştir. Yapılan hiper parametre ayarlaması sonucunda en uygun C değeri ve Gamma (γ) değeri tespit edilmiştir. Bu çalışma için C değeri 560, Gamma değeri ise 0,9 olarak belirlenmiştir.

Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (Classification and Regression Trees - CART) algoritması denetimli makine öğrenme yöntemlerinden biri olup Breiman (1984) tarafından geliştirilen kural tabanlı bir tekniktir. Sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılmaktadır. Parametrik olmayan yöntemlerdendir. Önemli değişkenleri kendisi tanımlama ve gereksiz değişkenleri ayrıştırabilme yeteneğine sahiptir (Timofeev 2004).

Öğrenme örneği (Learning Sample) olarak adlandırılan, önceden atanmış sınıflara sahip bir dizi geçmiş veri seti gözlemlerini kullanarak ardışık ikili bölünmelerle alt gruplara ayrılarak işlem yapar. Evet/Hayır cevabı ile çalışır. En uygun ayrımı bulana kadar işlem devam eder. Bu yöntemde amaç homojen bir cevap almaktır. Homojen cevabın alınabilmesi için her yaprak düğümde tek bir sınıfın olması, en fazla derinlik ve en az düğüm sayısı gibi belirlenen hiper parametre değerlerine ulaşılması veya bölme işleminin artık anlamlı bir ayrım yapamayana kadar devam etmesi gerekmektedir. Bu çalışmada optimum değer 140 olarak belirlenmiştir.

Üç temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi en fazla ağacın oluşturulmasıdır. İkincisi, uygun ağaç genişliğinin seçimidir. Üçüncüsü ise oluşturulan yeni ağaca dayanarak üretilen yeni verilerin sınıflandırılmasıdır. Hiper parametre değerleri En Fazla Düğüm (Maximum Nodes) ve En küçük Yaprak (Minimum Leaf)'tır. Veri seti eğitim ve test olarak ayrıldıktan sonra sınıflandırma adımı öncesinde yapılan Hiper Parametre Ayarlaması ile en uygun değerler belirlenebilir. Bu yöntem, geniş veri setleri için uygundur. Eğer kısıtlı bir veri seti ile çalışılacaksa Çapraz Geçerlilik (Cross Validation) testi uygulanır. Bu yöntemde de veri eşit oranlara ayrılır ve her aşama için alt grup oluştururken verinin %10'u test için ayrılır, kalan veriler ile model oluşturulur. Verinin parça sayısında (ayrıldığı oran) bu işlem tekrar edilir. İşlem tamamlandıktan sonra bütün alt gruplar birleştirilir, en düşük hata değerine sahip olan değer en uygun ağaç (optimal ağaç) olarak belirlenir (De' ath ve Fabricius 2000; Moisen 2008).

Saflığa (homojenliğe) karar verilebilmesi ve en iyi bölmenin belirlenebilmesi için genellikle Gini İndeksi kullanılmaktadır. Bir t düğümü için formül $g(t)$ ile ifade edilmiştir

$$g(t) = \sum_{j \neq i} p(j|t)p(i|t) \quad (3.8)$$

Bağımlı değişkenleri temsil eden i ve j hedef kategorilerini temsil etmektedir. 3.9'daki gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta i(t) = - \sum_{k=1}^K p^2(k|t_p) + P_l \sum_{k=1}^K p^2(k|t_l) + P_r \sum_{k=1}^K p^2(k|t_r) \quad (3.9)$$

İkili sınıflandırma problemlerinde ise bu indeks 3.10'daki şekilde ifade edilmektedir.

$$g(t) = 2p(1|t)p(2|t) \quad (3.10)$$

GEE, otomatik olarak Gini indeks uygulamakta, bu sebeple ek işlem gerektirmemektedir. Uygulanan son aşamayı Budama (Pruning) oluşturmaktadır. Bu aşama normalde uygun değerlerin elde edilmesi için uygulanmaktadır. Ancak GEE' de budama işlemi yapılamamaktadır. Bu sebeple hiper parametre ayarlaması ile uygun değerlerin elde edilmesi önem taşımaktadır. Bu sayede en küçük yaprak ve en büyük düğüm değerlerinde aşırı öğrenmenin önüne geçilmesi sağlanmaktadır.

3.3.6. Doğruluk değerlendirmesi

Uygulanan sınıflandırma yöntemlerinin doğruluklarının değerlendirilebilmesi için Hata Matrisi (Error Matrix) yöntemi uygulanmıştır. Ardından elde edilen sınıflandırma yöntemleri arasında karşılaştırma yapabilmek için McNemar's Test uygulanmıştır.

Hata matrisinde, modelin sınıflandırma performansını değerlendirmek için bir tablo oluşturulur. Önceden test verisi olarak ayrılan veriler bu tabloda kullanılmaktadır. Dört temel bileşeni vardır: Doğru Pozitif (True Positive - TP), Yanlış Pozitif (False Positive - FP), Doğru Negatif (True Negative - TN) ve Yanlış Negatif (False Negative - FN). Bu değerler gerçek sınıflandırma ile tahmin edilen sınıflandırma sonucundan elde edilir.

Şekil 3.15'te oluşturulması gereken tablo ile Kesinlik, Duyarlılık ve Doğruluk değerlerinin elde edilebilmesi için gereken işlemler verilmiştir.

		Gerçek Değer		
		+	-	
Tahmin Edilen Değer	+	TP	FP	Kesinlik= $TP / (TP + FP)$
	-	FN	TN	
		Duyarlılık= $TP / (TP + FN)$		Doğruluk= $(TP + TN) / (TP + FP + TN + FN)$

Şekil 3.15. Hata Matrisi (Jeppesen 2019)

Üretici Doğruluğu, belirli bir alanın sınıflarının ne kadar iyi haritalandığını gösterir. Tüketici Doğruluğu ise sınıflandırma sonucunun güvenilirliğini gösterir. Tematik haritalama çalışmalarında elde edilen sınıflandırma sonuçlarında %80 ve üzeri alınan sonuç, iyi bir sınıflandırma sonucu olarak kabul görmektedir (Jensen 2005).

Elde edilen RF, SVM ve CART sınıflandırma sonuçlarının ikili karşılaştırmalar yapılarak tutarlı olup olmadıklarını görebilmek için McNemar's Test uygulanmıştır. Test, ki-kare tabanlı bir hipotez testidir. Bu test sınıflandırma haritalarının doğruluk değerleri arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını test eder.

Bir Hata Matrisi (2*2) oluşturulur. Oluşturulan Matriste iki model tarafından doğru ve yanlış sınıflandırılan piksel sayıları (piksel tabanlı sınıflandırma için) yer almaktadır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. McNemar's Test

	I. Model (Doğru)	I. Model (Yanlış)
II. Model (Doğru)	a	b
II. Model (Yanlış)	c	d

Burada a, her iki model tarafından doğru tahmin edilenleri; b, I. Modelin yanlış, II. Modelin doğru tahmin ettiklerini; c, I. Modelin doğru, II. Modelin yanlış tahmin ettiklerini; d ise her iki modelin yanlış tahmin ettiklerini vermektedir. McNemar's Test için b ve c değerlerine bakılır. Elde edilen değer X^2 'yi vermektedir (3.11).

$$X^2 = (b-c)^2 / (b+c) \quad (3.11)$$

Eğer $(b + c) / 2 > 10$ ise test iyi çalışıyor demektir (Leeuw vd. 2007). Ayrıca, istatistiksel anlamlılık düzeyi 0,05 ise, bu %95 güven düzeyi anlamına gelir.

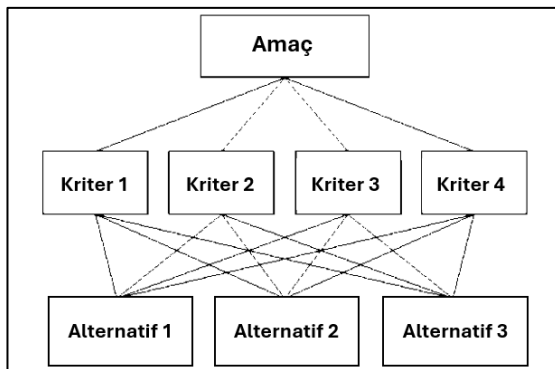
3.4. Çok Kriterli Karar Verme Süreci

Bu bölümde çalışmada kullanılan AHP ve TOPSIS yöntemleri yer almaktadır. Formülleri, tanımları ve işlem adımları hakkında bilgi verilmiştir.

3.4.1. Analitik hiyerarşi süreci

Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process, AHP), Saaty tarafından 1977 yılında bulunmuştur. Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olup, birden fazla kriterin bulunduğu durumlarda alternatif kriterler arasından en iyi olan kriteri seçmek için kullanılan bir yöntemdir.

Hiyerarşinin yapısı Şekil 3.16'da görüldüğü üzere; bir amaç, amaca bağlı belirlenen kriterler ve bu kriterlerin birbiri ile karşılaştırılması sonucu elde edilen alternatifler şeklindedir.

**Şekil 3.16.** Analitik hiyerarşi yapısı

İlk aşamada bir problemin/amacın belirlenmesi gerekmektedir. Ardından bu ana amaca bağlı ana kriterler belirlenmeli daha sonra da her ana kritere bağlı alt kriterler belirlenmelidir. Belirlenen ana ve alt kriterler bir sonraki aşamada birlikte değerlendirilecektir.

Bu yöntem temelde kriterlerin ikili karşılaştırılması mantığına dayanmaktadır. Bunun için öncelikle ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ ifadesi i ve j kriterleri için hazırlanan n kriterli satır ve n kriterli sütunlardan oluşturulan matrisi ifade etmektedir. A ise ikili karşılaştırma matrisini ifade etmektedir.

Kriterler karşılıklı özelliklere sahiptir. Bir kriter a_{ij} değerine sahipse, diğer sütundaki karşılığı $1/a_{ij}$ olmalıdır. Örneğin soldan birinci sütun ikinci satırda yer alan a_{21} ifadesi, soldan ikinci sütun birinci satırda a_{12} şeklinde olmalıdır.

Belirlenen ana ve alt kriterler birbirleri ile Saaty tarafından belirlenen önem derecelerine göre değerlendirilir (Çizelge 3.6). Bu değerlendirme alanında uzman kişilerce yapılmalıdır. Bu değerlendirme sonuçlarının subjektif olmaması için en az 3 uzman seçilmelidir. Problemin karmaşıklığına göre bu sayı arttırılabilir.

Çizelge 3.6. Kriterlerin önem dereceleri (Saaty 1980)

Önem Dereceleri	Açıklaması
1	Kriterler birbirine eşit derece öneme sahip
3	Birinci kriter diğer kritere göre biraz daha önemli
5	Birinci kriter diğer kritere göre fazla önemli
7	Birinci kriter diğer kritere göre daha fazla önemli
9	Birinci kriter diğer kritere göre aşırı önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Uzmanların görüşleri doğrultusunda tamamlanan ikili karşılaştırma matrisi sonrası ikinci aşamaya geçilir. Bu aşamada Normalize matris oluşturulur. Bunun için ikili karşılaştırma matrisindeki değerler kullanılır. Her sütunda yer alan değer, sütun sonunda yer alan toplam değere sırası ile bölünür. Elde edilen değerler ile Normalize matris oluşturulmuş olur. Burada dikkat edilmesi gereken kural, Normalize matriste her sütun sonunda yer alan toplam değerlerinin 1 olması gerektiğidir. Bu aşama için gereken formül 3.12’de yer almaktadır.

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3.12)$$

Burada, J değeri 1'den n değerine kadar olan sayıları ifade etmektedir. Bir sonraki aşama kriter ağırlıklarının elde edilmesidir. Bunun için Normalize matriste yer alan her satırın aritmetik ortalaması alınır. Elde edilen değerler kriterlerin ağırlık değerlerini verir. Ağırlık değerlerinin toplam değeri 1 olmalıdır. Ağırlığın hesaplanabilmesi için 3.13'te yer alan formül uygulanır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^*}{n} \quad (3.13)$$

Burada, i değeri 1 ile n arasındaki sayı değerlerini ifade etmektedir. Bir sonraki aşama vektörlerin hesaplanmasıdır. İki vektör değerin (V1 ve V2) elde edilmesi gerekmektedir. İlk vektör için (V1), ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri kullanılır. İlk satırda yer alan ağırlık değeri ilk satırdaki matris değerleri ile sırası ile çarpılır, elde edilen değerler kendi arasında toplanır. Her satırdaki ağırlık değeri için bu işlem bir sonraki satır değerleri kullanılarak tekrarlanır ve V1 değerleri elde edilir. İkinci vektör değeri için (V2), V1 değeri ağırlık değerine bölünür. Her satır için bu işlem tekrarlanır.

Son aşamada ise Maksimum Özdeğer ($\lambda_{\max}$), Tutarlılık Göstergesi ve Tutarlılık Oranı hesaplanır. Maksimum Özdeğer, V2 değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanır. Tutarlılık Göstergesi (TG) için Saaty tarafından geliştirilen formül kullanılır (3.14). Daha sonra da elde edilen değer Rassallık Göstergesine (RG) bölünerek Tutarlılık Oranı (TO) hesaplanır (3.15).

$$TG = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.14)$$

$$TO = \frac{TG}{RG} \quad (3.15)$$

Burada n değeri kriter sayısını ifade etmektedir. Ardından TO'nun hesaplaması için gereken değer RG'dir. Saaty tarafından kriter sayısına göre bu değerler tanımlanmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Rassallık Göstergesi değerleri (Saaty 1980)

Kriter Sayısı (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rassallık Göstergesi	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tutarlılık Oranı son adımdır. Elde edilen Tutarlılık İndeksi değeri Saaty tarafından belirlenen Rassallık Göstergesi tablosunda karşılık geldiği değere bölünür. Elde edilen değerin 0.1'den küçük olması gerekmektedir. Küçükse analiz tutarlı demektir, değilse uzman görüşü tekrar alınmalı ve tüm aşamalar tekrar uygulanmalıdır. Eğer belirli bir uzmanın görüşü diğer uzmanların görüşünden belirgin bir şekilde sapma gösteriyorsa sebebi araştırılmalıdır. Alana hâkim biri ise yeniden değerlendirme istenebilir, değilse farklı bir uzman görüşü alınabilir.

3.4.2. AHP için belirlenen kriterler ve veri temini

AHP analizi için belirlenen kriterler çalışma alanının iklimsel, coğrafi ve lojistik özellikleri düşünülerek alınan uzman görüşleri ve literatür taraması ile seçilmişlerdir. Bu kriterleri kullanan çalışmalar çizelgede verilmiştir (Çizelge 3.8). Çizelgede yer alan tüm kriterler bu çalışmada kullanılan kriterlerdir. Güneş enerji potansiyeli, üretilen elektrik iletimi ve kurulum yapılacak arazinin yapısına yönelik seçilmişlerdir.

Çizelge 3.8. AHP için belirlenen kriterler

Belirlenen Kriter	Referans Çalışmalar
Güneş Radyasyonu	Carrion vs. 2008; Sanchez-Lozano vd. 2013; Tahri vd. 2015; Garni ve Awatshi 2017; Günen 2021
Güneşlenme Süresi	Carrion vs. 2008; Sanchez-Lozano vd. 2013; Tahri vd. 2015; Garni ve Awatshi 2017
Yıllık Ortalama Sıcaklık	Garni ve Awatshi 2017; Zoghi vd. 2017; Tercan 2021; Günen 2021
Yıllık Ortalama Yağış	Zoghi vd. 2017; Tercan 2021; Günen 2021
Nemlilik Oranı	Noorollahi vd. 2016; Zoghi vd. 2017; Tercan 2021; Günen 2021
Trafolara Uzaklık	Sanchez-Lozano vd. 2013; Castillo vd. 2016; Garni ve Awatshi 2017; Colak vd. 2020

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.8'in devamı

İletim Hattına Uzaklık	Uyan 2013; Colak vd. 2020; Günen 2021
Yerleşim Alanlarına Uzaklık	Uyan 2013; Tahri vd. 2015; Garni ve Awatshi 2017; Colak vd. 2020; Günen 2021
Yollara Uzaklık	Uyan 2013; Tahri vd. 2015; Castillo vd. 2016; Garni ve Awatshi 2017; Colak vd. 2020; Günen 2021
Su Alanlarına Uzaklık	Zoghi vd. 2017; Colak vd. 2020; Günen 2021
Eğim	Uyan 2013; Sanchez-Lozano vd. 2013; Tahri vd. 2015; Sanchez-Lozano vd. 2013; Colak vd. 2020; Günen 2021
Bakı	Sanchez-Lozano vd. 2013; Tahri vd. 2015; Castillo vd. 2016; Colak vd. 2020; Günen 2021
Yükseklik	Castillo vd. 2016; Noorollahi vd. 2016; Zoghi vd. 2017; Tercan 2021
Arazi Kullanımı	Uyan 2013; Castillo vd. 2016; Noorollahi vd. 2016; Zoghi vd. 2017; Colak vd. 2020; Günen 2021

Çalışma kapsamında 3 ana kriter ve 14 alt kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterlere En Çok Uygun, Çok Uygun, Uygun, Az Uygun ve En Az Uygun sınıflarının oluşturulabilmesi için değer aralıkları tanımlanmıştır (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. AHP için belirlenen kriterlerin değer aralıkları ve sınıfları

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Değerler	Sınıflar
İklim	Güneş Radyasyonu (kWh/m ² yıl)	1,831-1922	En çok uygun
		1,775-1,831	Çok uygun
		1,708-1,775	Uygun
		1,601-1,708	Az uygun
		910-1,601	En az uygun
	Güneşlenme Süresi (Sa)	8,25-8,40	En çok uygun
		8,13-8,25	Çok uygun
		8,00-8,13	Uygun
		7,83-8,00	Az uygun
		7,64-7,83	En az uygun
	Yıllık Ortalama Sıcaklık (°C)	<15	En çok uygun
		15,1-17	Çok uygun
		17,1-19	Uygun
		19,1-21	Az uygun
		21,1<	En az uygun
	Yıllık Ortalama Yağış (mm)	450-472	En çok uygun
		400-450	Çok uygun
		350-400	Uygun
		300-350	Az uygun
		274-300	En az uygun
	Nemlilik Oranı (cm)	474 – 757	En çok uygun
		758 - 1041	Çok uygun
		1042 - 1325	Uygun
		1326 - 1609	Az uygun
		1610 - 1892	En az uygun

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.9'un devamı

Lojistik	Trafolarla Uzaklık (m)	10000 m	En çok uygun
		10001 – 20000 m	Çok uygun
		20001 – 30000 m	Uygun
		30001 – 40000 m	Az uygun
		>40000 m	En az uygun
	İletim hatlarına uzaklık (m)	0 - 5000 m	En çok uygun
		5001– 10000 m	Çok uygun
		10001 – 15000 m	Uygun
		15001– 20000 m	Az uygun
		>20000 m	En az uygun
	Yerleşim Alanlarına Uzaklık (m)	500 m	Eşik / Yerleşilemez
		0-1500 m	En çok uygun
		1501 – 2500 m	Çok uygun
		2501 – 3500 m	Uygun
		3501 – 4500 m	Az uygun
		>4500 m	En az uygun
	Yollara Uzaklık (m)	100 m	Eşik / Yerleşilemez
		0 - 2000 m	En çok uygun
		2001– 4000 m	Çok uygun
		4001 – 6000 m	Uygun
		6001– 8000 m	Az uygun
		>8000 m	En az uygun
	Su Alanlarına Uzaklık (m)	100 m	Eşik / Yerleşilemez
		0 - 4000 m	En çok uygun
		4001– 8000 m	Çok uygun
		8001 – 12000 m	Uygun
		12001– 16000 m	Az uygun
		>16000 m	En az uygun

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.9'un devamı

Coğrafya	Eğim (%)	0-6	En çok uygun
		7-13	Çok uygun
		14-21	Uygun
		22-30	Az uygun
		31-72	En az uygun
	Bakı	Güney	En çok uygun
		Doğu – Batı	Çok uygun
		Kuzeydoğu - Kuzeybatı	Uygun
		Kuzey	Az uygun
		Düz	En az uygun
	Yükseklik (m)	2441 – 3051 m	En çok uygun
		1831 – 2440 m	Çok uygun
		1221 – 1830 m	Uygun
		611 – 1220 m	Az uygun
		0 – 610 m	En az uygun
	Arazi kullanımı	Çıplak alan	En çok uygun
		-	Çok uygun
		Güneş tarlaları	Uygun
		Kuru tarım	Az uygun
		Sera	En az uygun

Güneş radyasyonu, güneş tarlası kurulumu için gereken en temel kriterlerden birisidir. Yüksek ışıınım değerleri, üretilecek elektrik miktarı sebebiyle kurulum yapılacak bölgenin güneş enerji potansiyelini belirlemektedir. Bu sayede panellerin kurulumda maliyet açısından alınacak geri dönüş süresi kısalmaktadır. Bu sebeple yüksek güneş radyasyonuna sahip bölgeler öncelikli olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca güneş radyasyonu enlem, boylam, nemlilik, buharlaşma, sıcaklık, güneşin geliş açısı gibi faktörleri kapsadığı için oldukça önemlidir (Zoghi vd. 2017).

Güneşlenme süresi, fotovoltaiik paneller açısından önemli bir kriterdir. Güneş aldıkça paneller kesintisiz enerji üretmektedir. Bu sebeple çalışma alanının güneşlenme

süresi yüksek olan bölgelerde yer seçmesi enerji üretimi açısından önemlidir. Bu parametre bulutsuzluk ve enlem ile doğrudan ilişkilidir, havadaki toz miktarı ile ise ters bir ilişkisi vardır (Bartoszek vd. 2020).

Yıllık ortalama sıcaklık, panel verimliliği açısından bir diğer önemli bir kriterdir. Çöle sahip bölgelerde aşırı yüksek sıcaklıklar panelleri olumsuz etkilemekte ve alınacak verimin düşmesine sebep olmaktadır (Günen 2021). Bunun yanı sıra panel ömrünü de kısaltmaktadır.

Yıllık ortalama yağış, yağmur veya kar yağışlarının fazla olması, güneşlenme süresinin az olması anlamına gelmektedir. Yağışlı hava kısa dalga kızıl ötesi dalga boyu radyasyonunu absorbe etmektedir. Bu da enerji üretiminde düşüşe sebep olmaktadır (Günen 2021).

Nemlilik, atmosferdeki güneş enerjisini en çok absorbe eden faktördür. Ayrıca panellerde iletim aksamına zarar vermesi ve havanın berrak olmadığı durumlarda alınan ışınlam miktarının azalması sebebiyle yer seçimi kriterlerinde bulunması gereken bir parametredir (Zoghi vd. 2017). Ek olarak fazla nem elektrik aksamında da korozyon riski yaratabilmektedir. Yükseklik kriteri de nemlilik açısından önem taşımaktadır

Trafoların uzaklık, kurulum maliyeti ve elektrik iletim kaybı açısından önemli bir kriterdir. Bu sebeple, trafoya yakın olması önerilmektedir (Colak vd. 2020). Ancak yönetmeliğe göre kurulum yapmak isteyen yatırımcılar trafo da dikişmektedir. Ayrıca, trafolardaki kapasite doluluğu da önemlidir. Yakın bir konumda uygun yer çıksa bile eğer trafo doluysa bağlantı sağlanamamaktadır. Bu sebeple bu kriter ayrıma sebep olmaktadır.

İletim hatlarına uzaklık, kurulumdan elde edilecek enerjinin iletilmesi için iletim hattı döşenmesi gerekliliği sebebiyle iletim hattı mesafesi arttıkça maliyet ve elektriğin taşınması açısından olumsuz bir durum oluşmaktadır. Bu sebeple iletim hatlarına yakın olunmasına dikkat edilmelidir (Colak vd. 2020).

Yerleşim alanlarına uzaklık kriteri açısından değerlendirildiğinde, merkezi bir konumda arazi maliyeti yüksek olacağı için bu alanlarda güneş tarlası kurulumu tercih edilmez. Görsel açıdan da kullanım açısından da doğrudan güneş tarlası kurulumu yerleşim alanlarında konumlanmaz. Diğer kentsel kullanımlar açısından değerlendirildiğinde güneş tarlası yerine konut, ticaret, kentsel yeşil alan gibi kullanımlar kent bütünlüğü açısından çok daha fazla önemlidir. Bu sebeple yerleşim alanlarına güneş tarlası kurulumu tercih edilmez. Sadece bina çatılarında veya futbol sahalarının çatılarında vb. yerlerde küçük ölçekli kurulum yapılabilir. Güneş tarlasının kurulabilmesi için büyük alanlara ihtiyaç vardır. Yine de kente yakın bir alanda kurulum yapılması, üretilecek elektriğin kentsel elektrik ihtiyacını karşılamada kullanılması sebebiyle önemlidir. Kente ne kadar yakın yer seçilirse, elektriğin verimli şekilde iletilmesi ve iletim hattının daha az döşenmesi açısından o kadar iyidir. Bunların yanı sıra sosyal kabul de öne çıkan bir başka konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü büyük kurulumlar estetik açıdan eleştirilebilmektedir. Bu sebeple kent bütünlüğünü olumsuz etkileyen konulardan birisi olarak görülebilmektedir.

Yollara uzaklık, inşaat ve maliyet açısından önemli bir kriterdir (Demir vd. 2023). Altyapının olması ve erişilebilir olması hem fotovoltaiik panellerin kontrollerinin hem

temizliğinin hem de enerjinin iletilmesi açısından önemlidir. Bu sebeple, yollara yakın yer seçilmesi gerekmektedir.

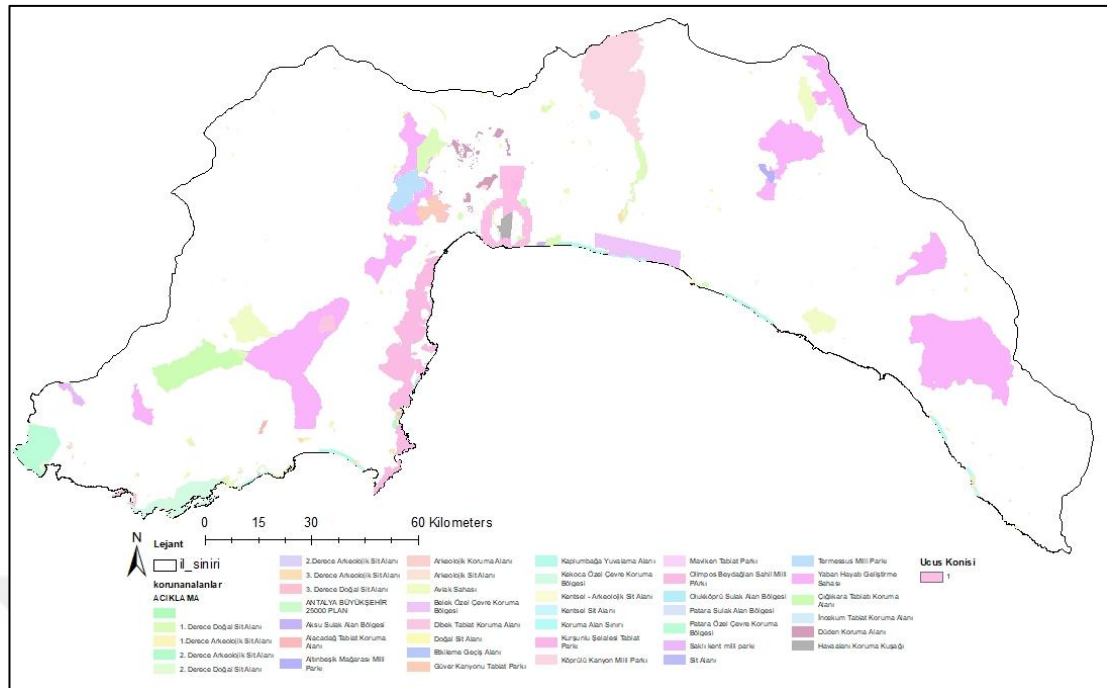
Su alanlarına uzaklık, taşkın alan riski olan alanlarda zarar yaratabilir. Ayrıca, nem oranının yüksek olması da bir risk olarak değerlendirilebilir. Alınan uzman görüşleri doğrultusunda arazi tipi panel kurulumu yapılacağı öngörülerek su alanlarına çok yakın yer seçilmemesi önerilmektedir. Ancak panellerin temizliği için riskli alanın dışında yer seçilmesi bazı çalışmalara göre önemli görülmektedir (Merrouni vd. 2018; Günen 2021).

Eğim, üretim verimliliği açısından kritik parametrelerden birisidir. Düz veya az eğimli alanlarda kurulum kolaydır. Farklı panel çeşitleri ile her türlü arazide kurulum yapılma imkânı olsa da bu çalışmada sabit kanatlı fotovoltaik panellerden oluşan bir güneş tarlası üzerinden gidilmektedir. Bu sebeple 20°'nin üzerindeki eğimli alanlar önerilmemektedir (Colak vd. 2020).

Bakı, arazinin güneş ışığını alma açısı önemli bir kriterdir. Çalışma alanında güney yönü panelden alınan verimi artırmaktadır. Kuzey yönü daha az güneş ışığı alması sebebiyle tercih edilmemektedir (Günen 2021). Eğimli ve yüksek bir topoğrafyaya sahip Antalya'da bu sebeple bakı kriteri de analize dahil edilmelidir.

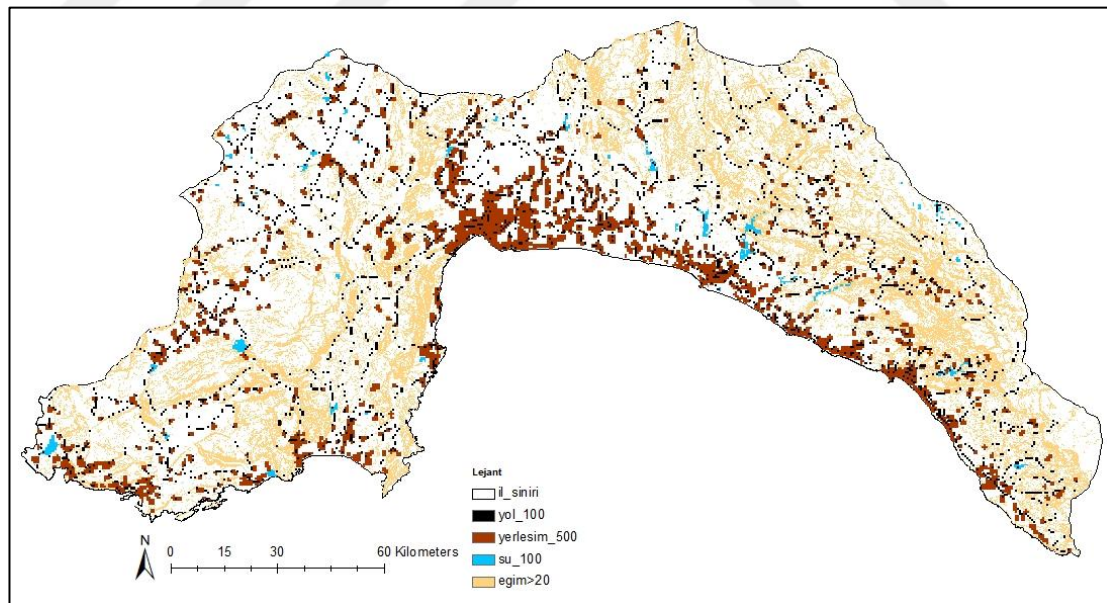
Arazi kullanımı, bu çalışmanın ilk kısmı olan arazi kullanımının sınıflandırılması kısmında belirlenen arazi kullanım sınıfları doğrultusunda değerlendirilmiştir. Çıplak alanlar ve mevcut güneş tarlası alanları (mevcut kurulumların genişletilmesi açısından) farklı uygunluk seviyelerinde yerleşime uygun alanlar olarak tanımlanmıştır. Kuru tarım, sulu tarım, sera alanları ve su ögeleri (su üstü kurulum), yerleşim alanları ve orman alanları yönetmelik ve kurulum açısından yerleşim yapılmak istenen ancak kısıtlayıcılara sahip alanlar olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu çalışmada çevrenin korunması ve sürdürülebilirliğin sağlanması için yerleşilemez veya az uygun olarak değerlendirilmişlerdir.

Tüm kriterlere ek olarak bir de Korunan Alanlar ve yerleşilemeyen alanlar/eşikler kullanılmaktadır. Bu alanlar sit alanları, özel çevre koruma bölgesi, kesin korunacak alanlar ve askeri alanlar olarak sınıflanmaktadır. Sit alanları olarak Arkeolojik Sit Alanları, Doğal Sit Alanları, Doğal ve Arkeolojik Sit Alanları, Doğal ve Tarihi Sit Alanları, Kentsel Sit Alanları, Kentsel ve Arkeolojik Sit Alanları, Kentsel ve Doğal Sit Alanları, Tarihi Sit Alanı yer almaktadır. Özel Çevre Koruma Bölgesi; Milli Parklar, Tabiat Parkları, Tabiatı Koruma Alanlarından oluşmaktadır. Kesin korunacak alanlar; Akdeniz Foku Yaşam Alanı, Avlak Sınırı, Doğal ve Ekolojik Niteliği Korunacak Alanlar, Kaplumbağa Yuvalama Alanı, Ramsar Sınırı, Sulak Alan Bölgesi, Sulak Alan Ekolojik Etkilenme Bölgesi, Sulak Alan Mutlak Koruma Bölgesi, Yaban Hayatı Koruma ve Geliştirme Alanı, Önemli Bitki Alanı, Önemli Doğa Alanı ve Önemli Kuş Alanı sınıflarından oluşmaktadır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Korunan alanlar haritası

Ayrıca yerleşime 500 m, su alanlarına ve yollara 100 m ve eğimi 20 dereceden fazla olan alanlar da kaynak taramasından yola çıkılarak eşikler olarak tanımlanmıştır. Eşik Analizi Şekil 3.18’de yer almaktadır.



Şekil 3.18. Eşik analizi

3.4.3. GEE platformunda AHP

GEE platformunda AHP uygulanabilmesi için doğrudan bir işlem bulunmamaktadır. Bu sebeple tüm süreç kodlama ile yapılmıştır. İlk olarak belirlenen kriterler için uygun görüntüler GEE kataloğunda varsa indirilmiş, yoksa dışarıdan platforma yükleme yapılmıştır. Kullanılan verilere yönelik kaynaklar Çizelge 3.10’da yer almaktadır.

Çizelge 3.10. Haritalar oluşturulurken kullanılan veriler

Ana Kriter	Alt Kriterler	Kullanılan Veri
İklim	Güneş Radyasyonu	“MODIS/061/MCD18A1”
	Güneşlenme Süresi	Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan resmi istatistiklerden üretildi.
	Yıllık Ortalama Sıcaklık	LST analizi kullanılmıştır.
	Yıllık Ortalama Yağış	“UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY”
	Nemlilik	"MODIS/061/MCD19A2_GRANULES"
Lojistik	Trafoları Uzaklık	OpenStreetMap verisi kullanılmıştır.
	İletim Hatlarına Uzaklık	OpenStreetMap verisi kullanılmıştır.
	Yerleşim Alanlarına Uzaklık	SVM ile elde edilen sınıflandırma sonucu haritası kullanıldı. Yerleşim alanlarına uzaklık haritası, SVM haritasından kentsel alanlar ayrıştırılarak elde edilmiştir.
	Yollara Uzaklık	OpenStreetMap verisi kullanılmıştır.
	Su Alanlarına Uzaklık	SVM ile elde edilen sınıflandırma sonucu haritası kullanıldı. Su öğeleri haritası, SVM haritasından su alanları ayrıştırılarak elde edilmiştir.

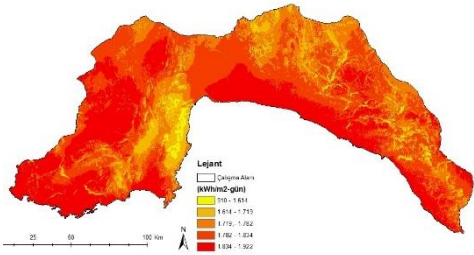
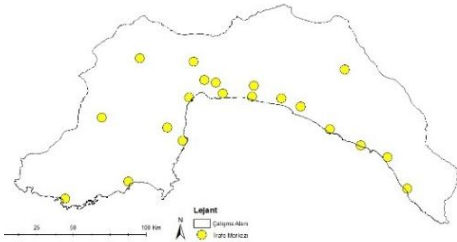
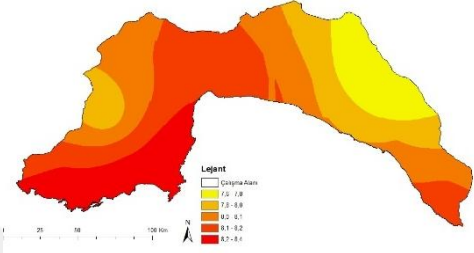
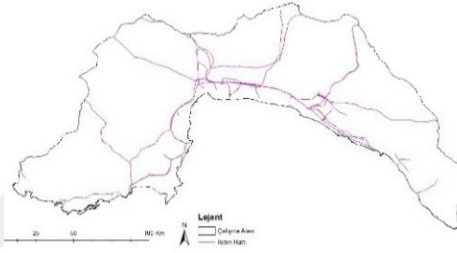
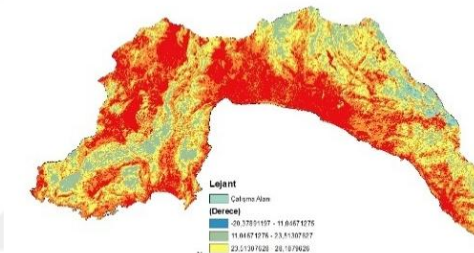
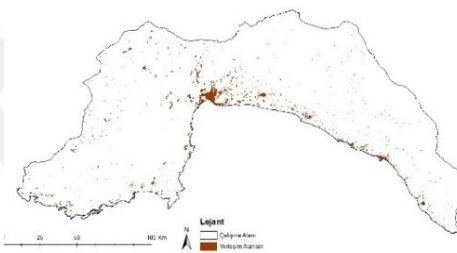
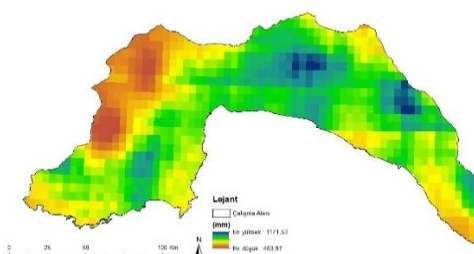
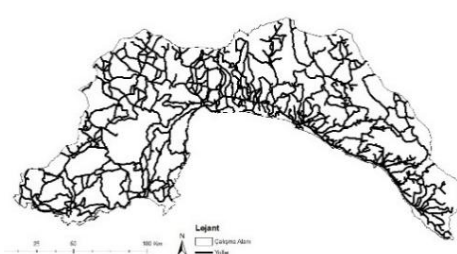
(Devamı Arkada)

Çizelge 3.10'un devamı

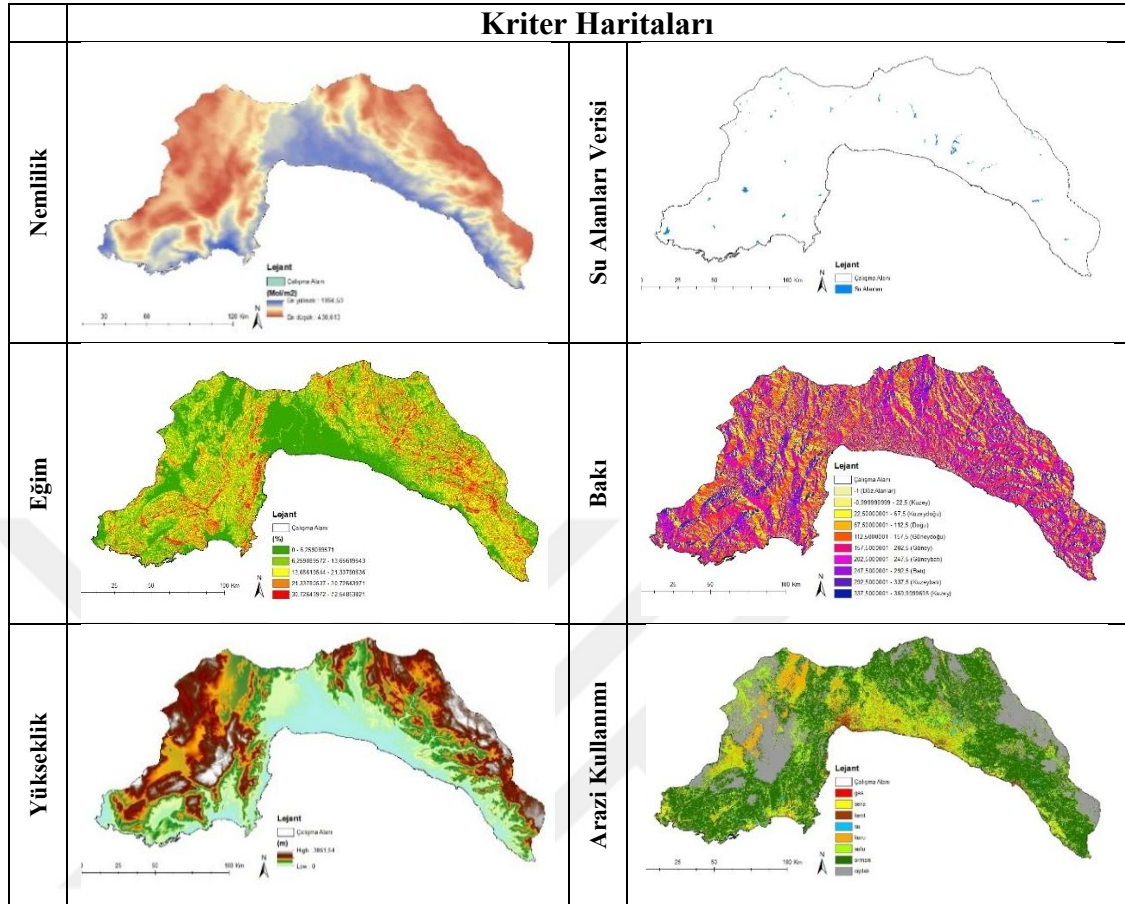
Coğraf ya	Eğim	DEM verisinden oluşturuldu: “NASA/NASADEM_HGT/001”
	Bakı	DEM verisinden oluşturuldu: “NASA/NASADEM_HGT/001”
	Yükseklik	DEM verisinden oluşturuldu: “NASA/NASADEM_HGT/001”
	Arazi Kullanımı	SVM ile elde edilen sınıflandırma sonucu haritası kullanıldı.

Toplanan veriler ile GEE platformunda oluşturulan haritalar Çizelge 3.11’de yer almaktadır.

Çizelge 3.11. Belirlenen kriterler doğrultusunda oluşturulan haritalar

Kriter Haritaları			
Güneş Radyasyonu		Trafo Verisi	
Güneşlenme Süresi		İletim Hatları Verisi	
Yıllık Ortalama Sıcaklık		Yerleşim Alanları Verisi	
Yıllık Ortalama Yağış		Yol Verisi	

Çizelge 3.11'in devamı



3.4.4. AHP duyarlılık analizi

Duyarlılık analizi (sensitivity analysis) ağırlıklar, öncelikler ve karşılaştırmalar düzeyinde yapılabilmektedir. Karar verme sürecinin sonucunda, duyarlılık analizi ile girdi veriler üzerinde değişiklik yapılarak sonuç üzerindeki etkilerini gözlemlemek için yapılmaktadır. Karar kriterlerinin uygunluğuna ilişkin içgörü sunmaktadır. Genellikle 2 senaryo belirlenerek belirlenen kriterlerin duyarlılığı sonuçlar karşısında kanıtlanmaktadır (Watson ve Hudson 2015; Al Garni ve Awasthi 2017).

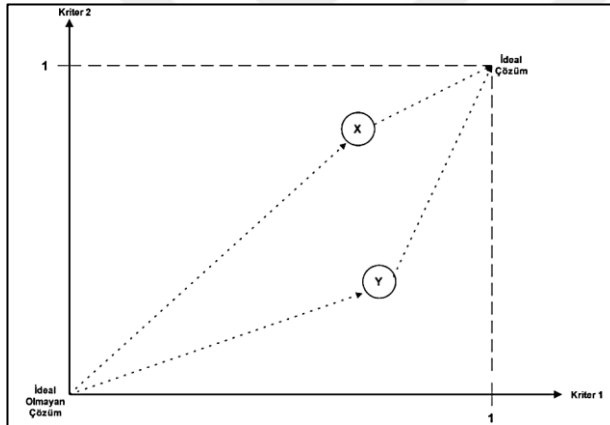
Bu çalışmada AHP için lojistik ana kriteri duyarlılık analizi ile incelenmiştir. Bu doğrultuda elde edilen sonuç haritasında potansiyel olarak uygun olan alanlar haritasına duyarlılık analizi uygulanmıştır. Bunun için Watson ve Hudson (2015) ile Al Garni ve Awasthi (2017) çalışmalarından yola çıkılarak 2 senaryo belirlenmiş ve sonuçlar üzerindeki değişim incelenmiştir (Çizelge 3.12). Senaryo 1 için trafo kriterinin ağırlığı diğer kriterlerle eşit olacak şekilde paylaştırılmıştır.

Çizelge 3.12. Haritalar oluşturulurken kullanılan veriler

Senaryo	Tanımı
Senaryo 1	Lojistik kriterine sıfır ağırlık verilmesi ve diğer kriterlere AHP ağırlık değerlerinin uygulanması
Senaryo 2	Lojistik kriterine sıfır ağırlık verilmesi ve diğer kriterlere eşit ağırlık değerlerinin verilmesi

3.4.5. TOPSIS yönteminin uygulanması

İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) yöntemi, Hwang ve Yoon tarafından 1981’de geliştirilmiştir. İki temel kavramdan oluşmaktadır. Bunlar; pozitif ideale yakınlık ve negatif ideale uzaklıktır. Bir kriter negatif ideale ne kadar uzaksa, pozitif ideale o kadar yakındır. Bu iki kavram üzerinden kriterler kendi arasında sıralanmaktadır (Şekil 3.19).

**Şekil 3.19.** TOPSIS kriter değerlendirme

Yöntem temelde 6 adımdan oluşmaktadır. İlk olarak karar matrisinin oluşturulması yer almaktadır. i (alternatifler) ve j (kriterler) olmak üzere $i*j$ boyutunda X matrisi oluşturulur. Ardından normalizasyon matrisi (Y) oluşturulur. Bunun için; y_{ij} ($i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J$) olmak üzere 3.16’da yer alan formül uygulanır. Bu çalışmada oluşturulan karar matrisi Ek-16’da, normalizasyon matrisi de Ek-17’de verilmiştir.

$$y_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^I x_{ij}^2} \quad (3.16)$$

Elde edilen matris 3.17'deki gibi görünmektedir.

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1J} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{I1} & y_{I2} & \cdots & y_{IJ} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Ardından V ile ifade edilen Ağırlıklandırılmış Normalizasyon Matrisi oluşturulur. Burada, her kriterin önem derecesini veren ağırlıklar w_j ile oluşturulur (3.18).

$$v_{ij} = W_j * y_{ij}; (i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J) \quad (3.18)$$

Oluşturulan matris 3.19'daki gibi görünecektir.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1J} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2J} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ v_{I1} & v_{I2} & \cdots & v_{IJ} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Daha sonra, pozitif ve negatif ideal çözümler bulunur. Her kriter için en iyi (A^*) ve en kötü (A^-) değerler belirlenir (3.20). Bu çalışmada elde edilen en iyi ve en kötü değerler Ek-18'de yer almaktadır.

$$A^* = [v_1^*, v_2^*, \dots, v_J^*] \quad (3.20)$$

$$A^- = [v_1^-, v_2^-, \dots, v_J^-]$$

Burada, pozitif ideal çözüm faydası (benefit) en yüksek, 'cost' ise en düşük olan değerleri vermektedir. Negatif ideal çözümde ise fayda en düşük, 'cost' açısından yüksek olan değerleri vermektedir (3.21).

$$\begin{aligned} v_j^+ &= \max(w_{ij}) \text{ (eğer } j \text{ fayda kriteri ise)} \\ v_j^+ &= \min(w_{ij}) \text{ (eğer } j \text{ 'cost' kriteri ise)} \\ v_j^- &= \min(w_{ij}) \text{ (eğer } j \text{ fayda kriteri ise)} \\ v_j^- &= \max(w_{ij}) \text{ (eğer } j \text{ 'cost' kriteri ise)} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Bir sonraki adım alternatiflerin pozitif (S_i^*) ve negatif (S_i^-) ideal çözüme olan uzaklıklarının hesaplanmasıdır (3.22). Bu çalışmada elde edilen S_i değerleri Ek-19'da verilmiştir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^J (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

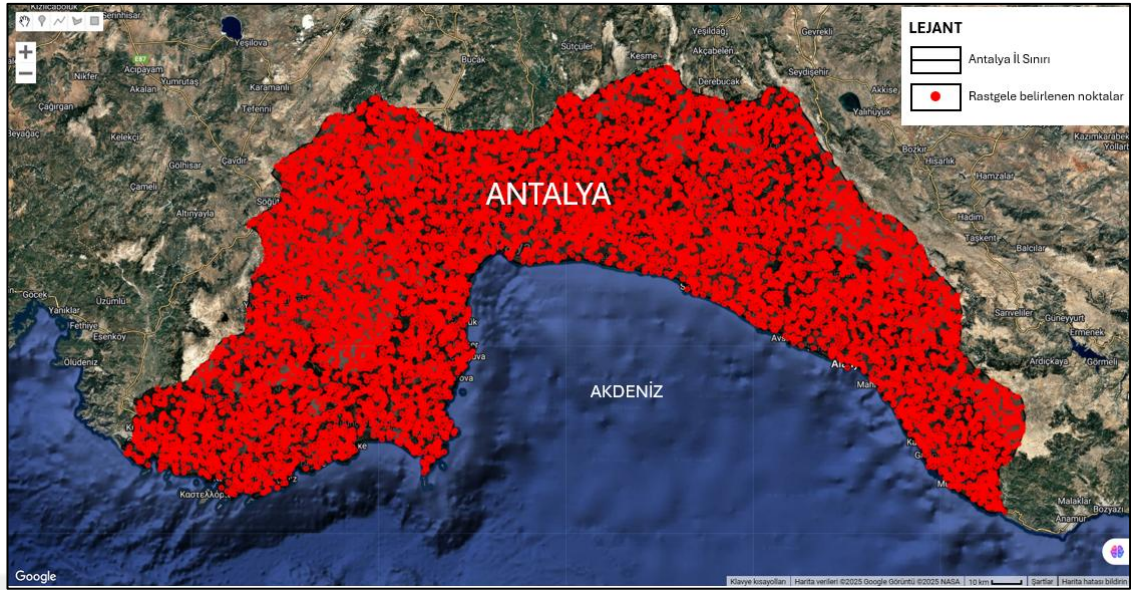
$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^J (v_{ij} - v_j^-)^2}$$
(3.22)

Burada, $i = 1, 2, \dots, m$ 'dir. Karar sayısı kadar pozitif ve negatif ideal çözüm bulunmalıdır. Son adımda ise göreceli yakınlık veya diğer bir ifadeyle tercih skoru (Overall Preference Score) hesaplanır (3.23). Öklidyen Uzaklık (Euclidian Distance) kullanılmaktadır.

$$V_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$$
(3.23)

V_i değeri ne kadar büyükse alternatif o kadar iyi demektir. En yüksek V_i değerine sahip olan alternatif ise en iyi seçim olarak tanımlanmaktadır. Elde edilen sonucun $0 \leq V_i \leq 1$ aralığında olması gerekmektedir. 1 değerine yaklaştıkça ideal çözüme yakınlığı, 0 değerine yaklaştıkça ideal çözüme uzaklığını ifade etmektedir.

Bu çalışmada, matris değerleri için kriter değerleri sütun değeri olarak, satır değeri olarak ise karar noktaları yer almaktadır. Çalışma özelinde 10000 rastgele nokta (random points) oluşturulmuştur. Bu noktalar alternatifleri, belirlenen kriterler de sütunları oluşturmaktadır. Yeniden sınıflandırma (reclassify) işlemi yapılan haritalarda bu noktalara karşılık gelen 1-5 ve 1-3 arası değerler ile de tablo oluşmaktadır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. TOPSIS analizi için tanımlanan rastgele dağılmış 10000 nokta

Standart karar matrisi oluşturulduktan sonra elde edilen değerler ile kriter ağırlıkları çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulmaktadır. Çalışmada, AHP ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Ardından ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilmiştir. Elde edilen matris üzerinde her sütundaki en küçük ve en büyük değerler hesaplanmaktadır. Elde edilen en küçük değer Negatif İdeal değerini, en büyük değer ise Pozitif İdeal değerlerini oluşturmaktadır. Öklidyen uzaklık yaklaşımından yararlanılarak Pozitif ve Negatif ideal sapmaları hesaplanmıştır. Son aşamada ise göreceli yakınlık değeri hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, 10.000 nokta için analiz yapılmıştır. Elde edilen V_i değerleri nokta değerleri ile birleştirilmiştir. Ardından enterpolasyon uygulanmıştır. Bunun için Ters Ağırlıklı Mesafe (Inverse Distance Weighted, IDW) enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır.

Enterpolasyon yöntemlerinde birbirlerine yakın olan noktalarda daha fazla benzerlik ve korelasyon bulunmaktadır. IDW yönteminde komşular arasındaki bu benzerlik ve korelasyon, aralarındaki mesafe ile ters orantılıdır. Komşuluk yarıçapının tanımlanması ve üstel (mesafenin ters fonksiyonuna uygulanan) değerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu yöntem, noktalar arası mesafenin tersinin alınarak ağırlıklandırılması mantığına dayanmaktadır. Bir diğer önemli parametre de güç parametresi olan “p” değeridir. Bu değer arttıkça, uzak noktaların etkisi azalır. Veri setinin büyüklüğü sonuçların doğruluğuyla doğrudan ilişkilidir. Z_0 , 3.24’teki formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N z_i \cdot d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}} \quad (3.24)$$

“ Z_0 ”, noktadaki z değişkeninin değer tahminini; “ z_i ”, noktanın örnek değerini; “ d_i ” tahmin edilen nokta için aynı noktanın mesafesini, “ N ” mesafeye dayanan ağırlığı tanımlayan katsayıyı (coefficient), “ n ” ise her geçerleme durumu için tahminlerin toplam sayısını ifade etmektedir.

4. BULGULAR

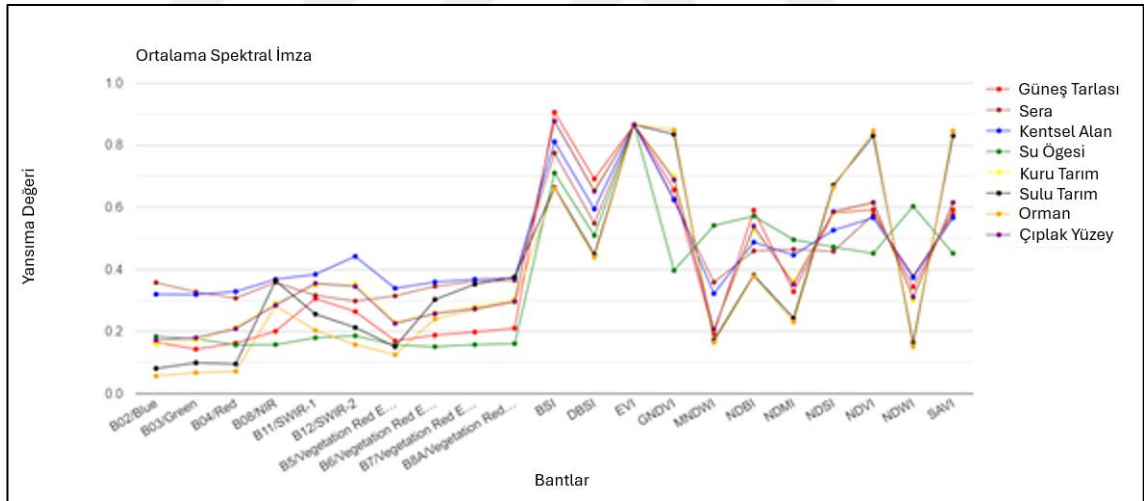
Bu bölümde iki aşamadan oluşan çalışmanın ilk bölümünde yer alan ek bantlar ile görüntü zenginleştirme, elde edilen görüntü üzerinden uygulanan sınıflandırma modelleri sonuçlarının karşılaştırılması, doğruluk değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması ile ikinci aşamayı oluşturan yer seçimine yönelik uygulanan AHP ve Duyarlılık Analizi sonuçları ve TOPSIS değerlerine uygulanan enterpolasyon yer almaktadır. Sonrasında ise AHP ve TOPSIS yöntemlerinden elde edilen kesişim alanlarına yönelik sonuçlar paylaşılmaktadır.

4.1. Görüntü Zenginleştirme Sonuçları

Bu bölümde, oluşturulan kompozit görüntüye eklenen bantlara ait spektral imza değerlerinden elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Ayrıca “özellik önemi” analizinden elde edilen sonuçlar paylaşılmaktadır. Son olarak bu bantların doğruluğa etkileri incelenmiştir.

4.1.1. Bantlara ait Spektral İmza değerleri

İlk olarak Sentinel 2 görüntüsü üzerine eklenen ek bantların yansıma değerlerinin sınıflar üzerindeki sonuçları incelenmiştir. Bunun için spektral imza değerlerinin yer aldığı bir grafik oluşturulmuştur (Şekil 4.1). Her sınıfın bantlar üzerindeki yansıma değerleri analiz edilmiştir.



Şekil 4.1. Bantlara ait ortalama spektral imza yansıma değerleri

Güneş tarlası sınıfı incelendiğinde, uydu görüntüsüne ait bantlarda en yüksek değeri B11 (SWIR-1) ve B12 (SWIR-2) bantlarında verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ek bantlarda ise daha yüksek yansıma değerlerine sahiptir. Özellikle BSI bandı en yüksek yansıma değerini veren banttır. BSI bandını sırasıyla EVI, DBSI, GNDVI, NDBI, NDVI, SAVI, NDMI ve NDWI bantları takip etmektedir. Ek bantlar arasında en düşük yansıma değeri ise MNDWI bandında görülmektedir.

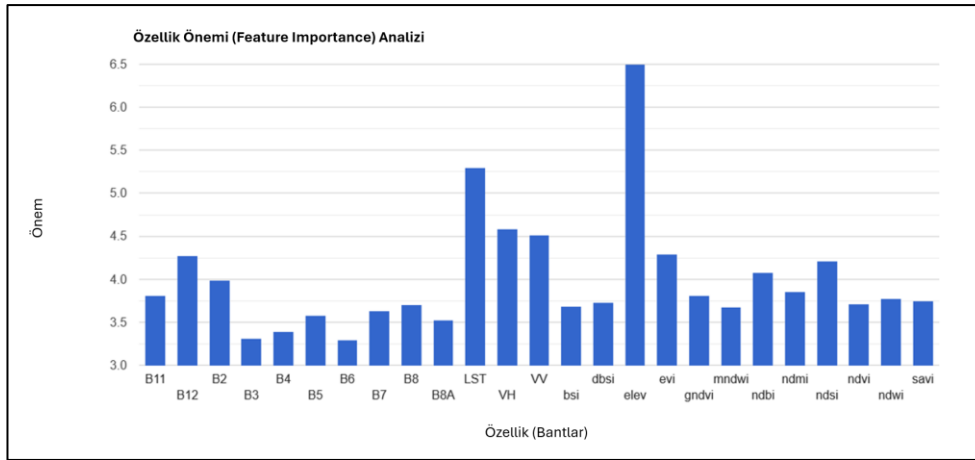
Diğer arazi örtüsü sınıflarında ise ek bantlar yüksek değerlere sahip olarak görülmektedir. BSI, EVI ve GNDVI bantları tüm sınıflarda yüksek değerlere sahiptir.

Orman ve sulu tarım sınıflarının benzer yansımaya değerleri gösterdiği; NDVI, SAVI, GNDVI, EVI bantlarında ortak yüksek değerlere sahip oldukları görülmektedir. En düşük değerin, ek bantlar arasında NDWI bantında, uydu görüntüsünde ise B2 (Mavi), B3 (Yeşil) ve B4 (Kırmızı) bantlarında sahip oldukları görülmektedir. Kentsel alan sınıfında da uydu görüntüsünde en yüksek yansımaya değerini B12 (SWIR-2) bantının verdiği; ek bantlarda da genel olarak yüksek değerlere sahip olsa da BSI, EVI, DBSI ve GNDVI bantlarında yüksek yansımaya değerine sahip olduğu görülmektedir.

4.1.2. Bantların Özellik Önemi değerlerinin incelenmesi

GEE platformunda elde edilen kompozit görüntüye Özellik Önemi (Feature Importance) analizi yapılmıştır (Şekil 4.2). Elde edilen sonuçlara göre Sentinel 2 uydu görüntüsüne ait bantlarda en yüksek önem B12 (SWIR-2) bandı olarak çıkmıştır. Bu bandı uydu görüntüsüne ait diğer bantlar arasından B2 (Mavi) ve B11 (SWIR-1) bantları takip etmektedir. En düşük değeri ise B6 (Bitki örtüsü Kırmızı Kenar) bandı vermiştir.

Şekilde görüldüğü üzere LST bandından itibaren yer alan tüm bantlar ek bantlardır. En yüksek değeri Yükseklik (Elevation, “elev”) bandının verdiği görülmektedir. Bu da yükseklik verisinin bu çalışmada kullanılan kompozit görüntüye en çok etki eden bandın yükseklik olduğu anlamına gelmektedir. Bu bandı yine öne çıkan önem değerleri arasında sırasıyla LST, VH, VV takip etmektedir. LST, Arazi Yüzey Sıcaklığı değerini vermektedir. VH ve VV ise Sentinel-1 radar uydu görüntüsüne ait bantlardır. Bu doğrultuda güneş tarlalarının tespit edilmesine yönelik oluşturulan arazi kullanımı sınıflandırma haritalarında ek bantların mutlaka kullanılması gerektiği, bu sayede sınıfların tespit edilebilmesini önemli derecede etkiledikleri söylenebilmektedir. Bu bantlara ek olarak EVI, NDBI ve NDSI bantları da ek bantlar arasında önem değerleri nispeten yüksek olan bantlar olarak çıkmışlardır. EVI ile bitki örtüsü, NDBI ile yapı/kentsel alan, NDSI ile de çorak alanlar daha kolay tespit edilebilmişlerdir. Geriye kalan bantlar ise bu bantlara oranla daha az önemde çıkmış olsalar da uydu görüntüsüne ait bantlardan görece yüksek değere sahiptir.



Şekil 4.2. Kompozit görüntüden elde edilen özellik önemi değerleri

Özellik önemi analizi sonucunda, ek bantların model performansı üzerinde olumlu etki ettiği ve sınıflandırma sürecinde ayırt edici bilgiler sağladığı görülmüştür.

4.1.3. Ek bantların doğruluğa etkisinin incelenmesi

Sentinel 2 uydu görüntüsünün üzerine tüm ek bantlar tek tek sırasıyla eklenerek doğruluğa olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre NDMI'nın RF algoritması üzerinde negatif, SVM algoritmasında nötr, CART üzerinde ise pozitif etkiye sahip olduğu görülmektedir. DBSI, RF üzerinde nötr bir etkiye sahip olmasına rağmen, SVM ve CART algoritmaları üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir. SAVI, DVM üzerinde negatif bir etkiye sahipken, RF ve CART üzerinde pozitif bir etkiye sahiptir. Diğer ek bantların hepsinde eklendikleri andan itibaren doğruluğu artırdıkları tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Ek bantların doğruluk üzerine etkisinin incelenmesi

Bantlar	RF	SVM	CART
Sentinel 2 (S2)			
B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B11, B12 bantları (Mekansal çözünürlükleri: 10, 20 ve 60 metre)	0,70	0,73	0,59
S2 + Sentinel 1 (VV, VH bantları)	0,77	0,81	0,65
S2 + NDVI	0,75	0,74	0,64
S2 + NDBI	0,71	0,76	0,64
S2+MNDWI	0,73	0,78	0,62
S2+NDMI	0,69	0,73	0,62
S2+GNDVI	0,74	0,77	0,61
S2+NDWI	0,73	0,75	0,64
S2+NDSI	0,74	0,77	0,66
S2+BSI	0,72	0,75	0,60
S2+EVI	0,74	0,75	0,63
S2+DBSI	0,70	0,78	0,62
S2+SAVI	0,71	0,72	0,61
S2+DEM	0,79	0,81	0,70
S2+LST	0,77	0,82	0,63
Genel Doğruluk (Tüm bantlar)	0,86	0,89	0,72

Doğruluğun artırılmasına etki etmeyen bantlar çıkarılmak istenmiştir. Ancak RF, SVM ve CART sınıflandırma algoritmalarının üçünde de pozitif etki göstermeyen NDMI, DBSI ve SAVI bantları çıkartıldıklarında doğruluğun düştüğü gözlemlenmiştir. Örneğin, NDMI bandı çıkartıldığında doğruluk RF için 0,86'dan 0,82'ye düşmüştür. SVM doğruluğu da 0,89'dan 0,87'ye düşmüştür. DBSI, RF algoritması üzerinde nötr etkiye sahip çıkmış olsa da SVM ve CART üzerinde pozitif bir etkiye sahip olarak çıkmıştır. SAVI ise sadece SVM üzerinde negatif, diğer algoritmalar üzerinde pozitif etki göstermiştir. Bu sebeple her ek bandın etkisi ayrı ayrı değerlendirildiğinde sınıflandırma algoritmaları üzerinde anlamlı katkı sağlamış oldukları söylenebilmektedir. Ancak NDMI, DBSI ve SAVI özelinde üç algoritma üzerinde de negatif etki göstermedikleri için çalışmada kullanılmaya devam edilmişlerdir.

4.2. Makine Öğrenme Algoritmaları Sınıflandırma Sonuçları ve Doğruluk Değerlendirmesi

Bu bölümde en uygun hiper parametre ayarlaması sonuçları ile elde edilen RF, SVM ve CART sınıflandırma haritaları incelenmekte ve güneş tarlası sınıfı detayında bulgular paylaşılmaktadır. Ardından Doğruluk Değerlendirmesi için hesaplanan Hata Matrisi ve McNemar's Test sonuçları karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir. Elde edilen sonuçlara göre doğruluk değerlendirme sıralaması; SVM (0.89), RF (0.86) ve CART (0.72) şeklindedir.

4.2.1. Hiper parametre ayarlaması sonuçları

Elde edilen sonuçlara göre SVM için Kernel tipi RBF seçilmiş ve buna bağlı olarak Gamma değeri 0,9, ve Cost değeri 560 en yüksek doğruluğu veren parametre değerleri olarak tespit edilmiştir. RF için en uygun değerler Ağaç Sayısı 120, Torbalama Değeri 0,8 olarak tespit edilmiştir. Son olarak CART için de En Fazla Düğüm sayısı 50, En Az Yaprak Popülasyonu ise 10 olarak tespit edilmiştir. Ardından bu değerler ile sınıflandırmalara Doğruluk Değerlendirmesi uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre SVM en yüksek doğruluk değerini vermiştir. SVM'den sonra RF algoritması yüksek doğruluk değeri vermiştir. En düşük doğruluk değerini ise CART vermiştir.

Çizelge 4.2'de hiper parametre ayarlamasından önceki ve uygulandıktan sonraki doğruluk değerleri ve Kappa değerleri verilmiştir. Buna göre aynı veri seti ile yapılan sınıflandırmalarda SVM ve RF'nin iyi sonuçlar verdiği söylenebilmektedir. Ayrıca SVM'de hiper parametre ayarlamasının sınıflandırma sonucuna etkisi de dikkat çekmektedir.

Çizelge 4.2. Hiper parametre ayarlamasının sınıflandırma sonuçları üzerindeki etkisi

	Genel Doğruluk		Kappa Değeri	
	Önce	Sonra	Önce	Sonra
SVM	0,64	0,89	0,58	0,87
RF	0,81	0,86	0,78	0,84
CART	0,71	0,72	0,67	0,68

4.2.2. Makine Öğrenme Algoritmaları ile sınıflandırma haritaları

RF, SVM ve CART için elde edilen haritalar Şekil 4.3'te verilmiştir. Elde edilen sonuç haritaları görsel olarak incelendiğinde 3 sınıflandırma yöntemi sonucunda da oldukça iyi sonuçlar elde edildiği ve genel olarak sınıfların birbirinden ayrılabilirdiği gözlemlenmiştir. Kent bütününde ormanlık alan ve çıplak alanların yoğunluk gösterdiği görülmektedir. Bunun yanı sıra Antalya kent bütününde kuru ve sulu tarım sınıflarına bakılarak verimli topraklara sahip olduğu ve tarım alanlarının fazla olduğu söylenebilmektedir. Yerleşim alanları genellikle kıyı kesimlerinde yoğunlaşmıştır. Ormanlık alanlar da aynı şekilde kıyı kesimlerinde yoğun olarak yer almaktadır. Kentin Güney Batısında yer alan Kumluca ilçesinde sera alanlarının yoğun olarak yer aldığı görülmektedir. Güneş tarlaları ise küçük alan kapladıkları için bu ölçekte belirgin şekilde ayırt edilememektedir.

RF algoritmasında kentsel alanlar fazla alan kaplıyormuş gibi görünmektedir. Kentsel alan olarak görülen alanların tarım veya sera sınıfı ile karıştığı tespit edilmiştir. Ormanlık alan olarak sınıflanması gereken bazı alanlar da çıplak alan veya sulu tarım alanı olarak sınıflandırmıştır. Ancak yine de bu alanlar büyük farklar oluşturmamakta ve genel olarak iyi bir sınıflandırma sonucu vermektedir.

Bu çalışmada SVM algoritması en iyi sonucu veren sınıflandırma tekniğidir. Burada kentsel alanlar, sera alanları, orman ve tarım alanları iyi şekilde belirlenmiştir. Güneş tarlası alanları ise nispeten kentin batısında, Elmalı ve Demre ilçelerinde yoğunlaşmıştır. Ancak il bütününe bakıldığında çok küçük alanlar kapladığından görüntülere yaklaşıldığında görülmektedir.

CART algoritmasında güneş tarlaları ayırt edilebilseler de yanlış sınıflandırılan alanlar olduğu da tespit edilmiştir. Bu alanlarda çıplak alan veya tarım alanı ile karışmış olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde CART algoritması kullanıldığında kentsel alan sınıfının da iyi şekilde ayırt edilemediği görülmektedir. Kent merkezinde, kentsel alanların tarım alanları ile karıştığı görülmektedir.

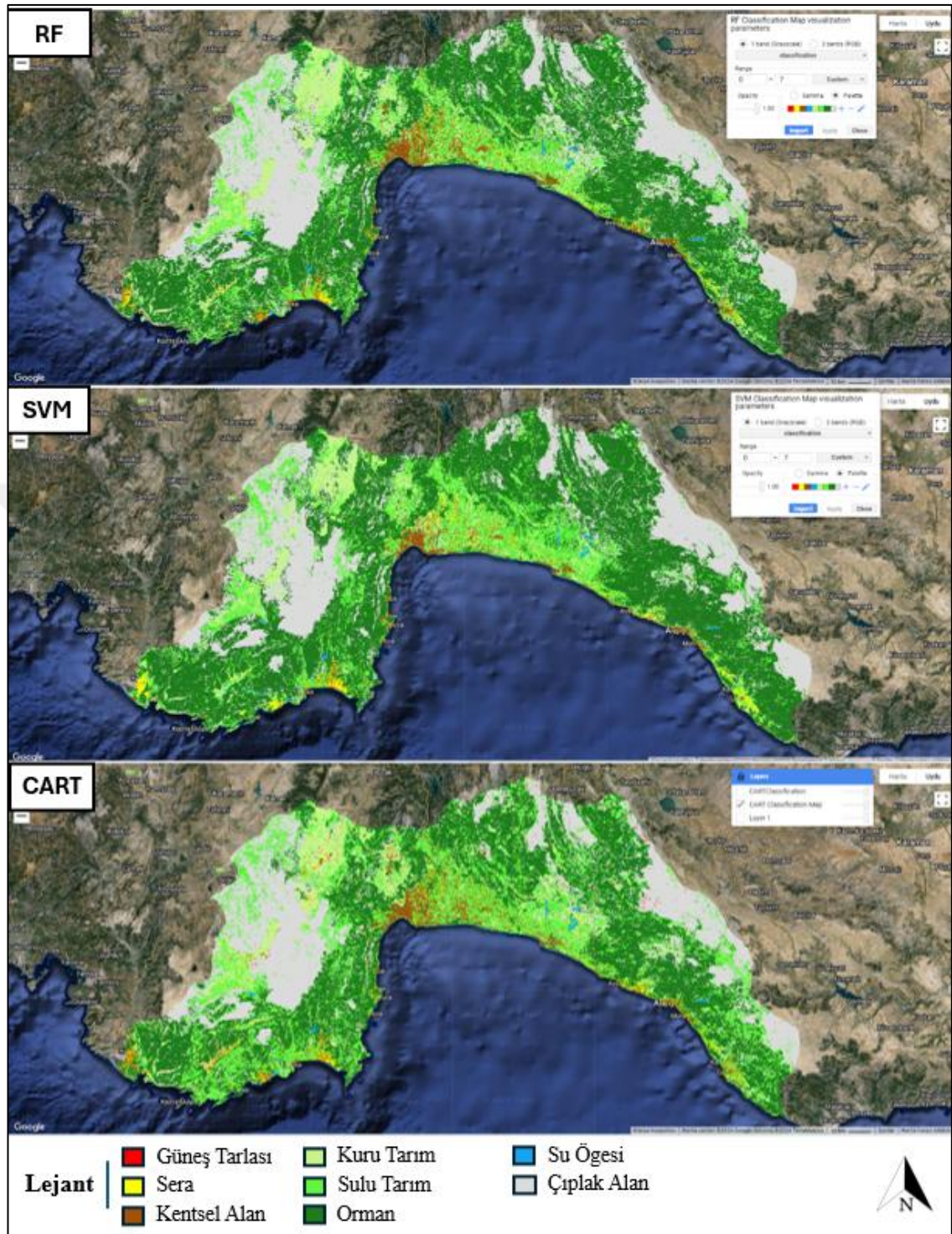
Sınıflandırma haritalarında güneş tarlalarına odaklanarak detaylı örnek incelemeler yapılmıştır (Şekil 4.4). Güneş tarlası sınıfı özelinde incelendiğinde genel doğruluk değerlerinin aksine RF algoritmasının oldukça iyi sonuç verdiği

gözlemlenmiştir. Bu gözlem paneller arasındaki ince yolların görüntülenebilmesinden çıkarılabilmektedir (Şekil 4.4c). SVM algoritmasında ise komşu pikseller birleşmekte ve tek bir alan şeklinde görülmektedir. CART algoritmasında doğru tespit yapılmış olsa bile tüm alan net bir şekilde çıkarılamamakta, diğer sınıflarla karışmaktadır. Bu sınıfların ise kuru tarım, su ögesi ve çıplak alan oldukları tespit edilmiştir.

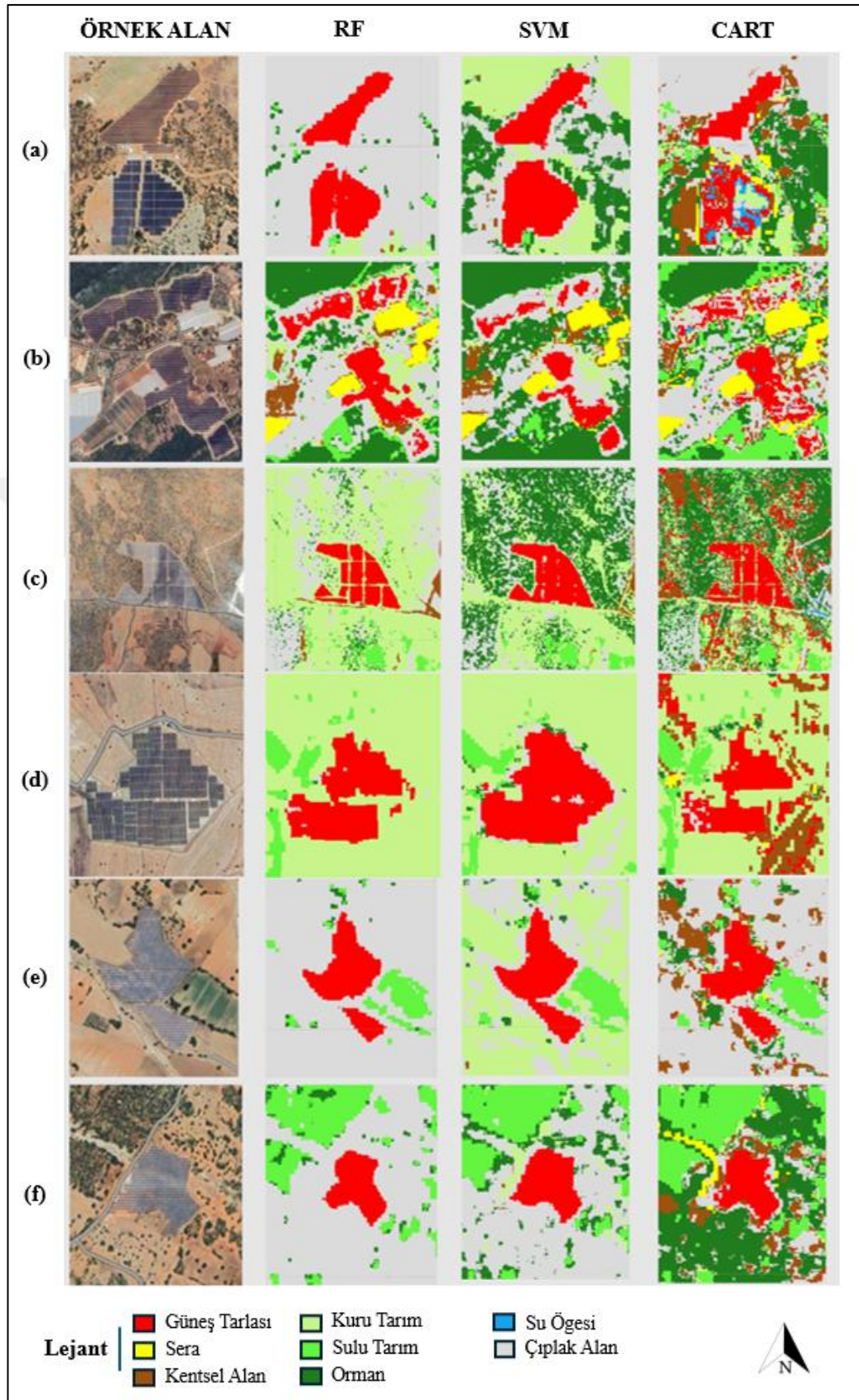
En yüksek doğruluğu veren SVM algoritması sonucunda her sınıfın piksel sayısı, çalışma alanına oranı (%) ve yaklaşık kaç km² alan kapladığı Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. SVM sınıflandırma sonucuna göre sınıfların kapladığı alanlar

Arazi Kullanım Sınıfı	Çalışma Alanında Kapladığı Alan (Piksel Adedi)	Çalışma Alanında Kapladığı Alan (%)	Çalışma Alanında Kapladığı Alan (km ²)
Güneş Tarlası	15952	%0,06	11 km ²
Sera Alanları	428748	%1,53	308 km ²
Kentsel Alanlar	750464	%2,67	540 km ²
Su Ögeleri	144427	%0,51	104 km ²
Kuru Tarım	2369214	%8,44	1704 km ²
Sulu Tarım	4297983	%15,31	3091 km ²
Orman	12188438	%43,44	8766 km ²
Çıplak Alanlar	7865877	%28.03	5657 km ²
Toplam	28064617	%100	20181 km²



Şekil 4.3. Makine öğrenme algoritmaları ile elde edilen sınıflandırma sonuçları



Şekil 4.4. Güneş tarlaları odaklı sınıflandırma sonuçları

4.2.3. Doğruluk değerlendirmesi sonuçları

RF, SVM ve CART makine öğrenme algoritmaları uygulandıktan sonra Hata Matrisi (Error Matrix) ile Doğruluk Değerlendirmesi yapılmıştır. Tüketici Doğruluğu (Consumer's Accuracy, CA) ve Üretici Doğruluğu (Producer's Accuracy, PA) değerleri elde edilmiştir. En yüksek genel doğruluk değerini SVM algoritması vermiştir. SVM'yi sırasıyla RF ve CART takip etmektedir. SVM ve RF sonuçları yüksek doğruluk değerine sahip olmaları sebebiyle iyi sınıflandırma yapıldığını göstermektedir. CART ise genellikle sınıflandırma çalışmalarında kabul edilen, %80 üzeri doğruluk sonucunun iyi sınıflandırılmış olduğu, görüşünü sağlamamaktadır. Kısaca hata matrisi ile elde edilen sonuçlar sırasıyla SVM>RF>CART şeklinde çıkmıştır.

Güneş Tarlası sınıfı için doğruluk değerleri detaylı incelendiğinde, en yüksek CA ve PA değerlerinin SVM sınıflandırıcısının sahip olduğu görülmektedir.

Algoritmaların sınıfları doğru tanımlayıp tanımlamadığı incelendiğinde; RF algoritmasının sera alanları hariç tüm sınıflarda 0,80'in üzerinde değerler aldığı görülmüştür. Sera alanlarında ise CA ve PA değerleri 0,76 olarak elde edilmiştir. SVM algoritmasında tüm sınıflar için yüksek değerler elde edildiği gözlenmiştir. CART algoritmasında ise Orman sınıfı sonucunda yüksek değerler elde edildiği, sera alanlarında ise en düşük CA değerlerinin elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 4.4.). Üç algoritma sonucunda da en yüksek doğruluk değeri veren sınıf Orman sınıfıdır.

Çizelge 4.4. Sınıflandırma algoritmaları doğruluk değerlendirmesi sonuçları

	RF		SVM		CART	
Sınıflar	CA	PA	CA	PA	CA	PA
Güneş Tarlası	0,90	0,85	0,93	0,97	0,72	0,61
Sera Alanları	0,76	0,76	0,84	0,82	0,57	0,76
Kentsel Alanlar	0,81	0,82	0,94	0,89	0,64	0,70
Su Ögeleri	0,91	0,87	0,84	0,89	0,73	0,79
Kuru Tarım	0,84	0,88	0,84	0,91	0,72	0,70
Sulu Tarım	0,85	0,91	0,84	0,88	0,75	0,87
Orman	0,93	0,87	0,98	0,88	0,91	0,71
Çıplak Alan	0,88	0,88	0,87	0,84	0,71	0,64
Genel Doğruluk	0,86		0,89		0,72	
Kappa Katsayısı	0,84		0,87		0,68	

Ek olarak McNemar's Test sonuçları analiz edilmiştir. Çizelge 4.5'te de görüldüğü üzere SVM ile RF, SVM ile CART, RF ile CART sınıflandırma sonuçları ikili şekilde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.5. Sınıflandırma sonuçlarının McNemar's Test ile karşılaştırılma sonuçları

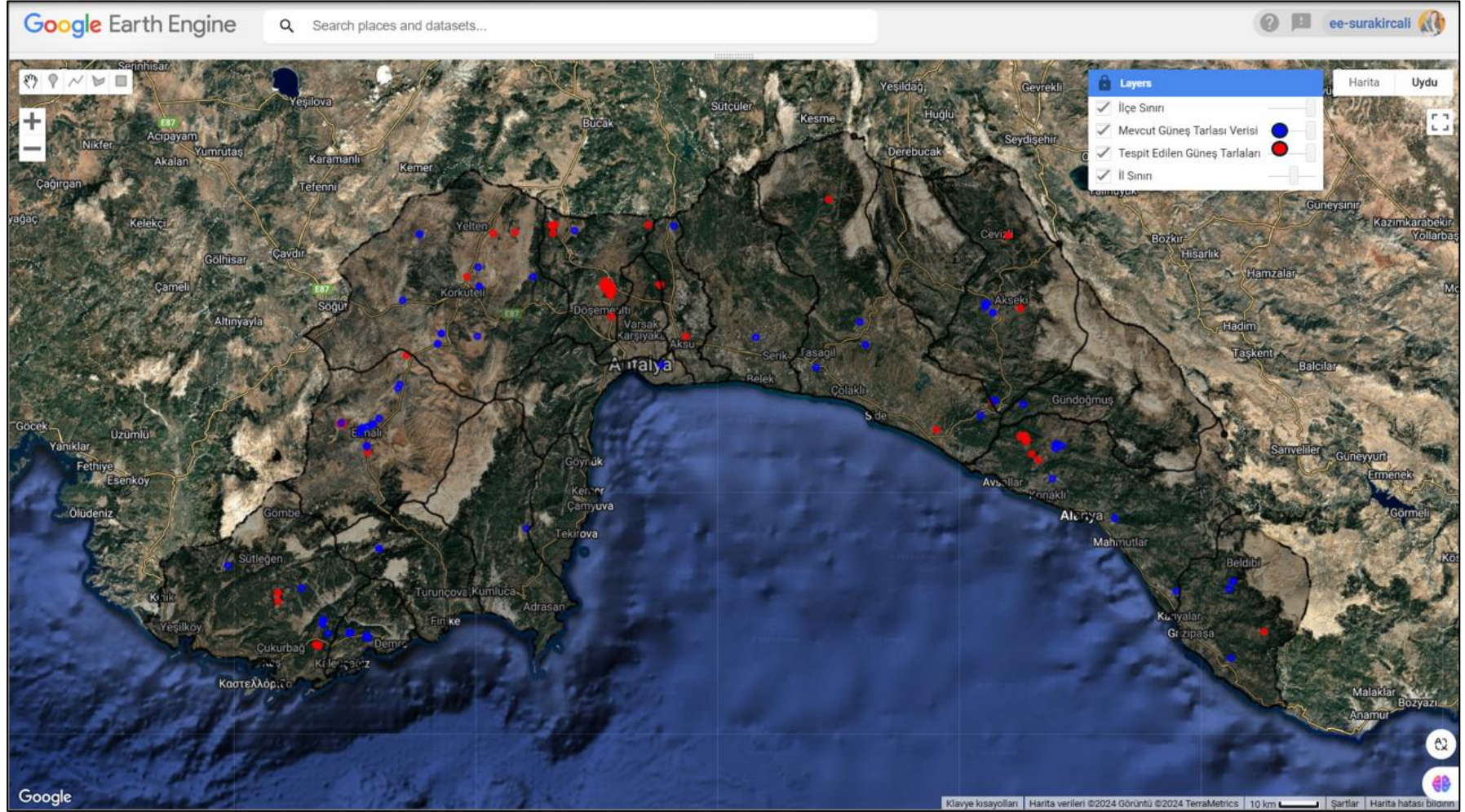
Sınıflandırma Karşılaştırması	F11	F12	F21	F22	X ² Değeri
SVM ile RF	222911	2118	145	3285	1718
SVM ile CART	195263	362	2182	2590	1300
RF ile CART	157991	45	603	3193	478

Sonuçlar incelendiğinde SVM'nin RF ve CART algoritmalarına göre çok daha fazla pikseli doğru sınıflandırdığı görülmektedir. RF algoritması da CART'a göre daha fazla pikseli doğru sınıflandırmıştır. Yani test sonuçlarına göre sınıflandırma haritalarının doğruluğu sırasıyla SVM>RF>CART şeklinde çıkmıştır. X² değerlerine bakıldığında da sınıflandırma sonuçları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir.

McNemar's Test ile elde edilen sonuçlar, Hata Matrisi ile elde edilen sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu kanıtlamıştır. Bu tutarlılık, hem elde edilen sınıflandırma sonuçlarının güvenilirliğini hem de karşılaştırma yöntemlerinin doğru bir şekilde uygulandığını ortaya koymaktadır.

4.2.4. Güncellenmiş güneş tarlaları haritası

Güneş tarlalarının tespit edilmesi bölümüne yönelik son olarak, erişilebilen mevcut güneş tarlaları ile tespit edilen güneş tarlaları tek bir haritada toplanmıştır. "OpenStreetMap" üzerinden erişilebilen mevcut güneş tarlası verisi eski ve yetersiz kalmaktadır. Yapılan sınıflandırma çalışması ile güncel güneş tarlası alanları şekilde tespit edilmiştir. Mevcut ve güncel verilerin yer aldığı, Antalya ilinde yer alan arazi tipi fotovoltaiik güneş tarlaları ve genellikle fabrika çatılarında yer alan fotovoltaiik paneller tespit edilmiş ve yapılan çalışma ile haritalandırılarak güncel veri oluşturulmuştur (Şekil 4.5). Arazi tipi ve çatılarda yer alan panellerinin hepsini kapsayacak şekilde toplam 138 adet alan tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Kurulu Güç (Güncellenmiş) Güneş Tarlası Haritası

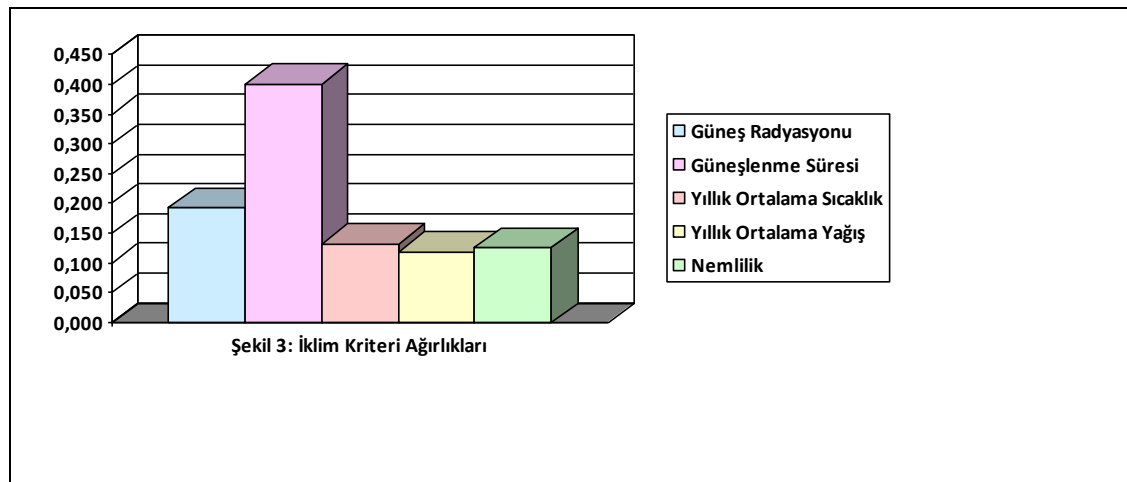
4.3. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde AHP ile elde edilen kriter ağırlıklarının paylaşıldığı uzman görüşleri, değer aralıklarına göre yeniden sınıflandırılan kriter haritaları, bu haritaların kriter ağırlıklarına göre ana ve alt kriterler arasında karşılaştırılması, AHP ve TOPSIS ile elde edilen sonuç haritaları paylaşılmaktadır. Son olarak, iki sonuç haritasında da elde edilen potansiyel açıdan çok uygun alanların kesişimlerini veren ve bu alanlar ile çalışmanın ilk aşamasında oluşturulan güncellenmiş güneş tarlası haritasını karşılaştıran yerleşime en uygun alanların paylaşıldığı sonuç haritası yer almaktadır.

4.3.1. AHP uzman görüşü sonuçları

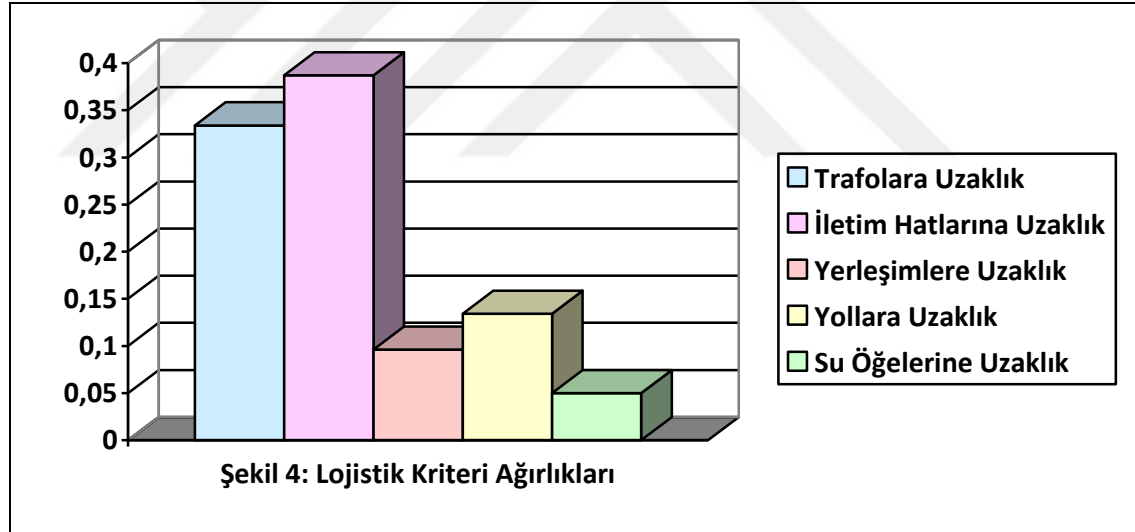
Kriterlere göre uygun yer seçimine yönelik uzman görüşleri alınması için uzmanlara Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) anketi uygulanmıştır. Uygulanan AHP matrisleri sonuçları ekler kısmında (Ek 2 – Ek 15) yer almaktadır. Uzmanlar Alanya’da Güneş Tarlası kurulumundan, bakımından, sürecin yönetilmesinden ve planlama işlemlerinden sorumlu kişiler olup; Çevre Mühendisi, Enerji Sistemleri Mühendisi, Şehir Plancısı, Harita Mühendisi, Coğrafi Bilgi Sistemleri Uzmanı ve Harita Teknikerliği mesleklerine sahip kişilerden seçilmiştir. Uygulanan ankette alınan görüşlere göre her bir kriter için ağırlık değerleri elde edilmiştir.

Uzman görüşlerinden elde edilen iklim kriterleri değerlendirildiğinde (Şekil 4.6); en önemli kriterin güneşlenme süresi (0,401) olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ardından güneş radyasyonu (ışınım miktarı) kriteri (0,193) gelmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık değeri (0,132) değerlendirildiğinde, fazla sıcaklığın panellere zarar vermesi ve bunun da alınan verimi düşürmesinin yanı sıra panellerin ömrünü kısalttığı belirtilmiştir. Yıllık ortalama yağış (0,119) kriteri de yağmur veya kar yağışlarının güneşlenme süresinin azalması anlamına gelmesi sebebiyle düşük ağırlığa sahip olarak çıkmıştır. Nemlilik (0,125); panellerde iletim aksamına zarar vermesi ve havanın berrak olmadığı durumlarda alınan ışıınım miktarının azalması sebebiyle önemli bulunmuştur.



Şekil 4.6. İklim kriterleri için elde edilen değerler

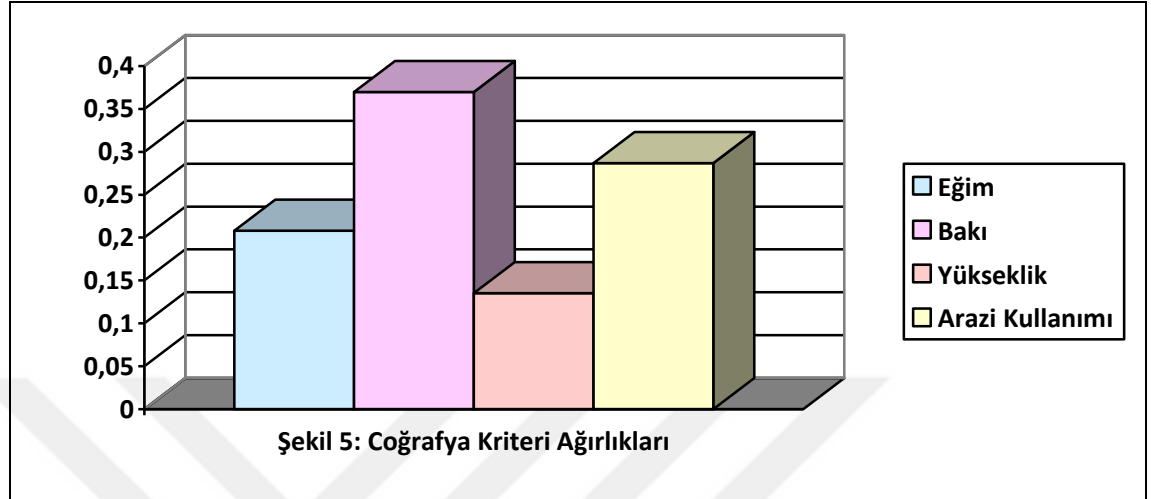
Lojistik Kriterleri sonuçlarına göre (Şekil 4.7); en önemli kriter iletim hatlarına uzaklık (0,387) olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi; kurulumdan elde edilecek enerjinin iletilebilmesi için iletim hattı döşenmesi gerekliliği sebebiyle iletim hattı mesafesi arttıkça maliyet açısından olumsuz bir durum oluşturacak olmasıdır. Buna ek olarak, iletim hattı uzadıkça yaşanan enerji kaybı da bir diğer etkindir. Ardından trafolarla uzaklık (0,334) kriteri gelmektedir. Güneş tarlası kurulumunda yanında bir trafonun da dikilmesi gerekmektedir. Ancak kurulacak olan trafolardaki enerjinin ana trafolarla iletilmesi durumu söz konusudur. Burada da ana trafolardaki kapasite önemli bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı o yıl için yenilenebilir enerji üretimlerinden güneş enerjisine yönelik ayırdığı Gigawatt (GW) sınırını belirlemektedir. Belirlenen bu sınır içerinden güneş enerjisine yönelik kurulum imkânı tanınabilmekte, dolayısıyla trafo kapasitesinin dolu olduğu durumda kurulum yapılamamaktadır. Bu sebeple bu iki kriter öne çıkmıştır. Ardından yollara uzaklık (0,134) kriteri gelmektedir. Bu kriter de yine altyapı hizmetlerine yönelik olması sebebiyle diğer kriterlere hizmet etmektedir. Yerleşime uzaklık (0,096) kriteri sadece erişilebilirlik ve güvenlik açısından değerlendirilmiştir. Su öğelerine uzaklık (0,050) kriteri ise sel, taşkın, oksitlenme vb. durumlara yönelik değerlendirilmiş ve diğer kriterlere göre daha az önemli kalmıştır.



Şekil 4.7. Lojistik kriterleri için elde edilen değerler

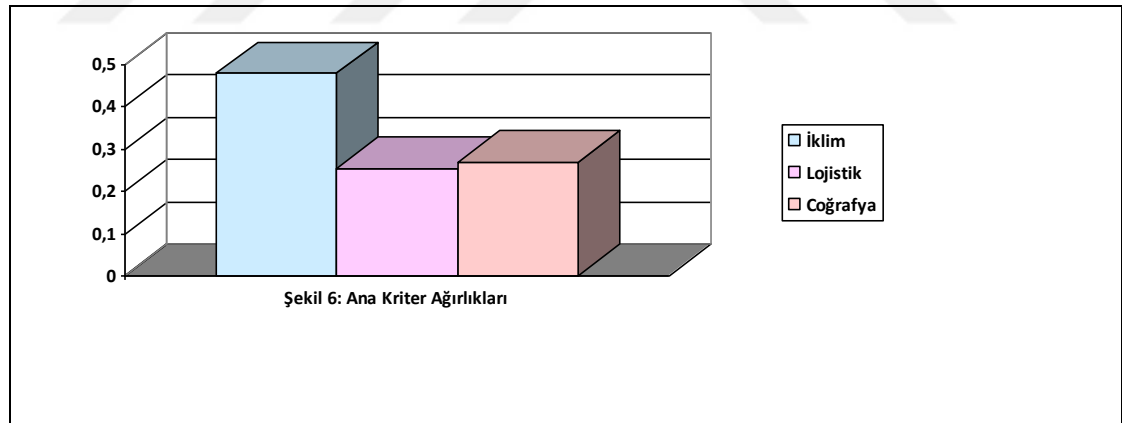
Coğrafya kriterleri sonuçlarına göre (Şekil 4.8); en önemli kriter bakı (0,370) olarak çıkmıştır. Çalışma alanının konumu sebebiyle güney cephesine bakması verimin yüksek alınabilmesi sebebiyle oldukça önemlidir. Ayrıca genel olarak kurulum yapılacak alandan alınacak en yüksek verimin, çalışma alanının coğrafi konumuna göre bulunduğu meridyenin 10° altı olduğu durumda en iyi güneşlenme açısına sahip olacağı da ifade edilmiştir. Eğim kriteri (0,208), farklı panel kurulum tasarımları olmasına rağmen maliyet açısından tek açılı sabit kurulum tercih edilmesi temel alınarak, önemli kriterler arasındadır. Ardından arazi kullanımı (0,287) kriteri gelmektedir. Bu kriter kurulumu uygun alanların tanımlanabilmesi sebebiyle önemlidir. En düşük kriter yükseklik (0,135)

olarak çıkmıştır. Ancak bu kriter kurulum yapılacak alanla ilgilenen mühendislerin görüşüne göre yüksek önemdedir. Çünkü yükselti arttıkça nem azalmakta ve hava berraklaşmaktadır. Bu sebeple önemli bir kriter olsa da diğer uzman görüşleri ile birlikte değerlendirildiğinde daha az önemde çıkmıştır.



Şekil 4.8. Coğrafya kriterleri için elde edilen değerler

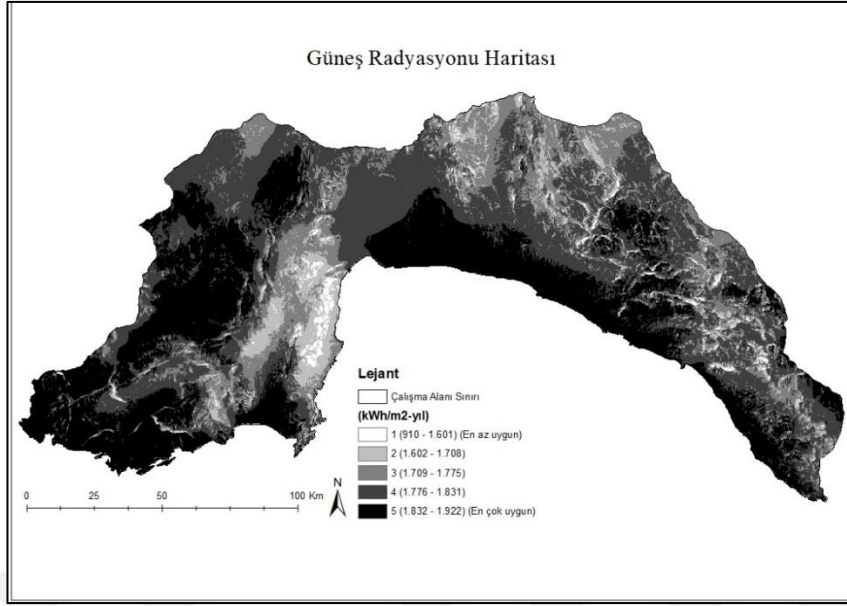
Ana kriterler değerlendirildiğinde ise (Şekil 4.9); en yüksek öneme sahip kriter iklim kriteri (0,479) olarak çıkmıştır. İklim kriterini lojistik kriteri (0,253) takip etmekte, ardından da coğrafya kriteri (0,268) gelmektedir.



Şekil 4.9. Ana kriterler için elde edilen değerler

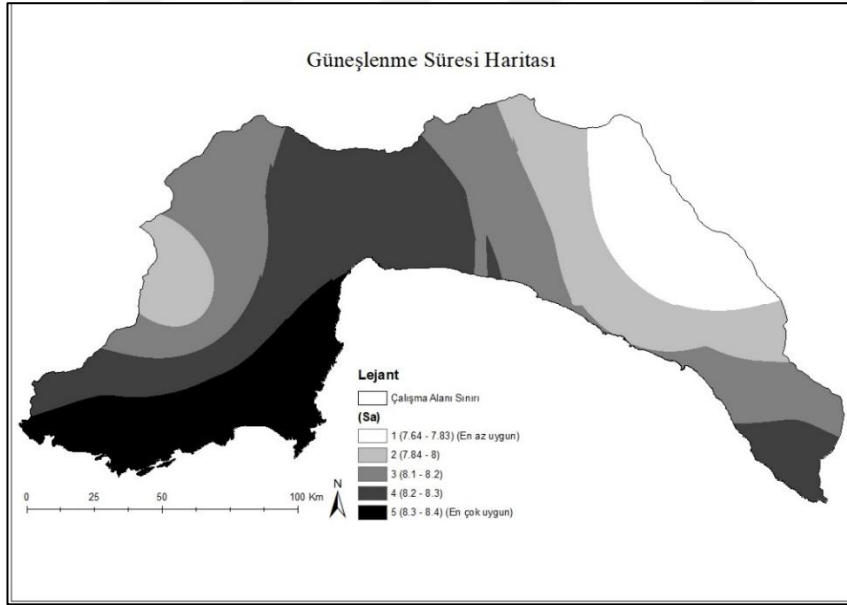
4.3.2. Kriterlerin haritalandırılması

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinden sonra, kriterler GEE platformunda haritalanmıştır. Ardından değer aralıklarına göre yeni değerler atanarak yeniden sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Şekilde 4.10'da Güneş radyasyonu haritası yer almaktadır. Kentin kıyı kesimlerinde (güney) ve batı taraflarında güneş tarlaları için en uygun alanlar bulunmaktadır. Kuzey'e doğru gidildikçe ışıınım değerleri azalmaktadır.



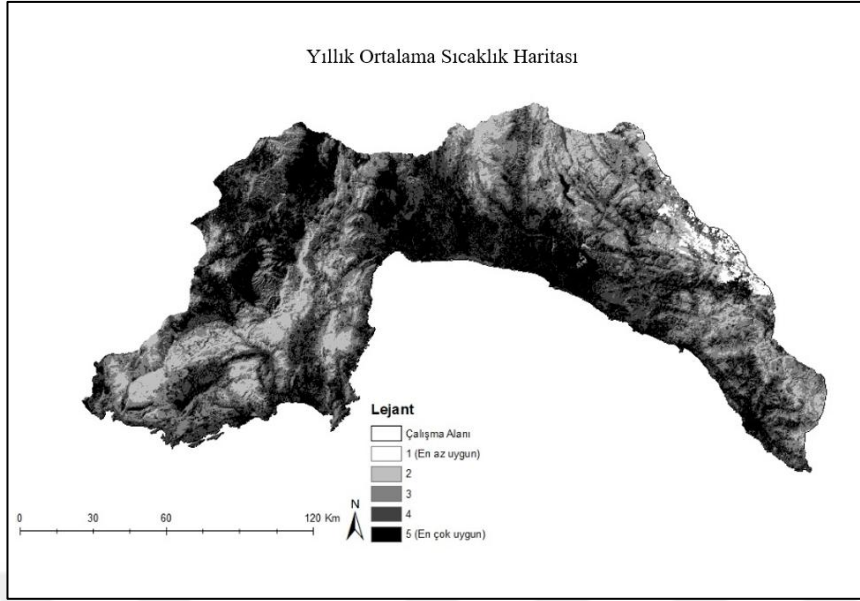
Şekil 4.10. Güneş radyasyonu haritası

Şekilde 4.11’de güneşlenme süresi haritası yer almaktadır. Güneybatı kıyısında en yüksek değere (8,4 saat) sahip olduğu görülmektedir. Doğusunda ise en az uygun sınıfına ait alanlar yer almaktadır. Bu sınıfta yıllık ortalama güneşlenme süresi 7,6 saate düşmektedir.



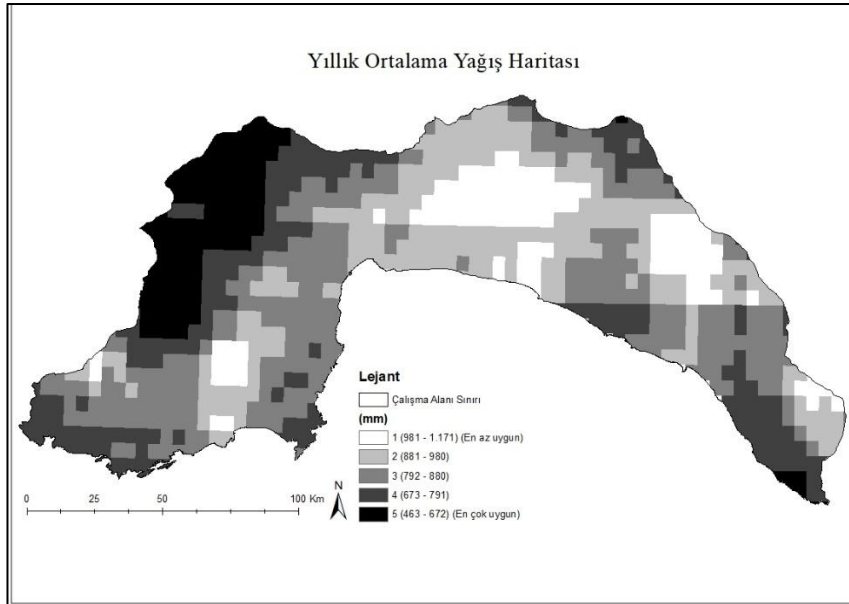
Şekil 4.11. Güneşlenme süresi haritası

Şekil 4.12’de yıllık ortalama sıcaklık haritası yer almaktadır. Kıyı kesimlerde ve kentin doğusunda yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Kuzey ve doğu bölgelerinde ise en az değere sahip alanlar yer almaktadır.



Şekil 4.12. Yıllık ortalama sıcaklık haritası

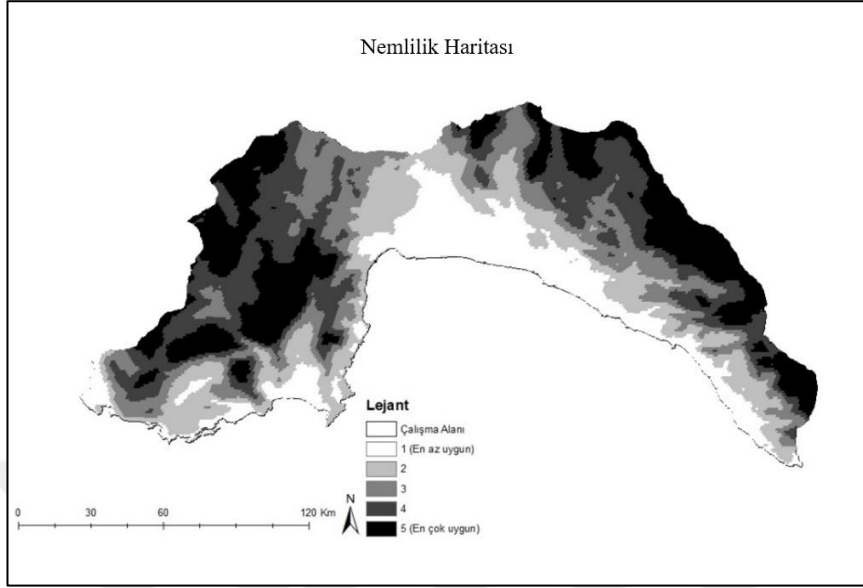
Şekil 4.13'te yıllık ortalama yağış haritası verilmiştir. Harita incelendiğinde kentin batısının güneş tarlası için en çok uygun alanlara sahip olduğu görülmektedir. İç kesimler, kıyı ve doğu taraflarında ise en az uygun sınıfa ait alanların yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4.13. Yıllık ortalama yağış haritası

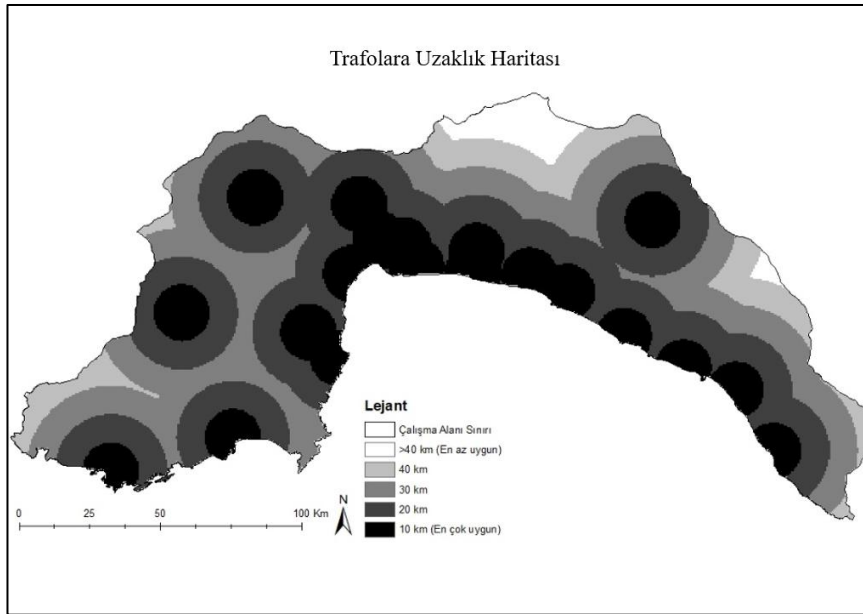
Şekil 4.14'te nemlilik haritası yer almaktadır. İç kesimler ve kıyı kesimlerinde nemlilik en az uygun şeklinde çıkmıştır. Kentin doğu ve batısında yer alan dağlar

denizden gelen havayı iç kesimlere hapsedmekte bu sebeple kıyı ve iç kesimlerde yine güneş tarlası yer seçimi açısından daha az uygun alanların çıkmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.14. Nemlilik haritası

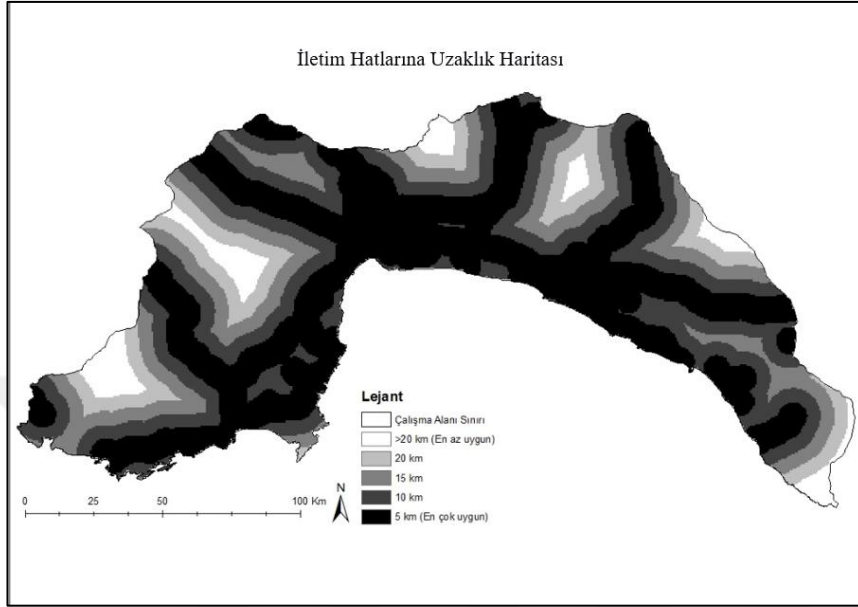
Şekil 4.15’te trafolarla uzaklık haritası yer almaktadır. Trafonun olduğu alanlardan tampon analizi ile oluşturulan haritaya göre trafolardan uzaklaştıkça güneş tarlası için uygunluk azalmaktadır.



Şekil 4.15. Trafolarla uzaklık haritası

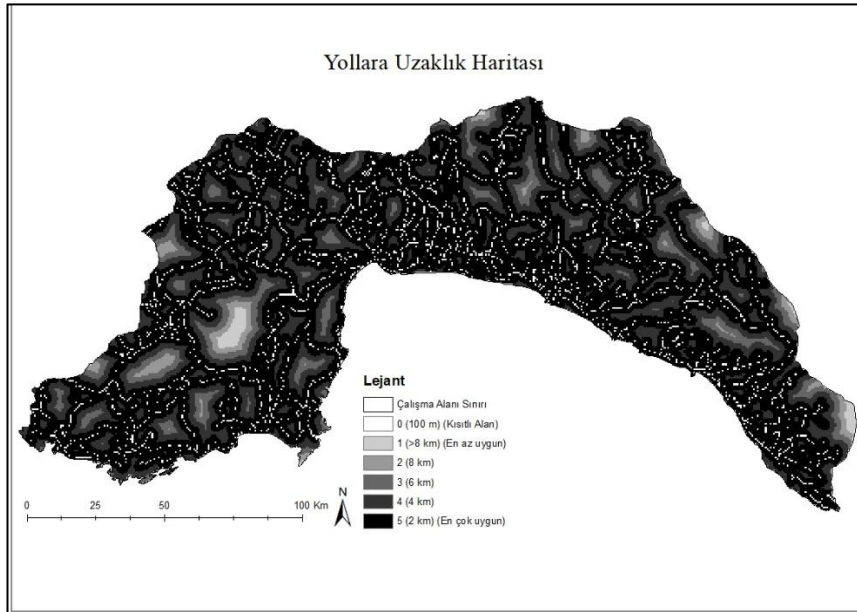
Şekil 4.16’da iletim hatlarına uzaklık haritası yer almaktadır. Haritaya göre iletim hatlarının geçtiği alanlar güneş tarlaları yer seçimi için en uygun alanlardır. Uzaklaştıkça

hem iletim maliyeti artmakta hem de enerji kaybı yaşanmaktadır. Yerleşim alanlarının kıyılarda yoğunlaşması ve altyapı sağlanması sebebiyle kıyı kesimlerinde iletim hatları daha çok bulunmaktadır. Bu sebeple analiz sonucunda da güneş tarlaları açısından potansiyel daha yüksek çıkmaktadır.



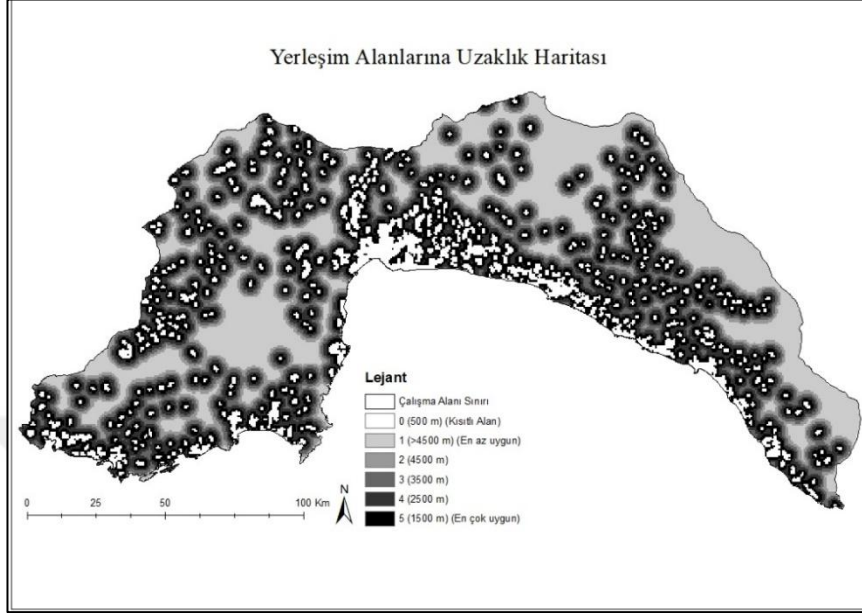
Şekil 4.16. İletim hatlarına uzaklık haritası

Şekil 4.17’de yollara uzaklık haritası bulunmaktadır. Yollara ne kadar yakınsa güneş tarlası için yerleşilebilirlik o kadar fazladır. Uzaklaştıkça daha az uygun sınıfına geçmektedir.



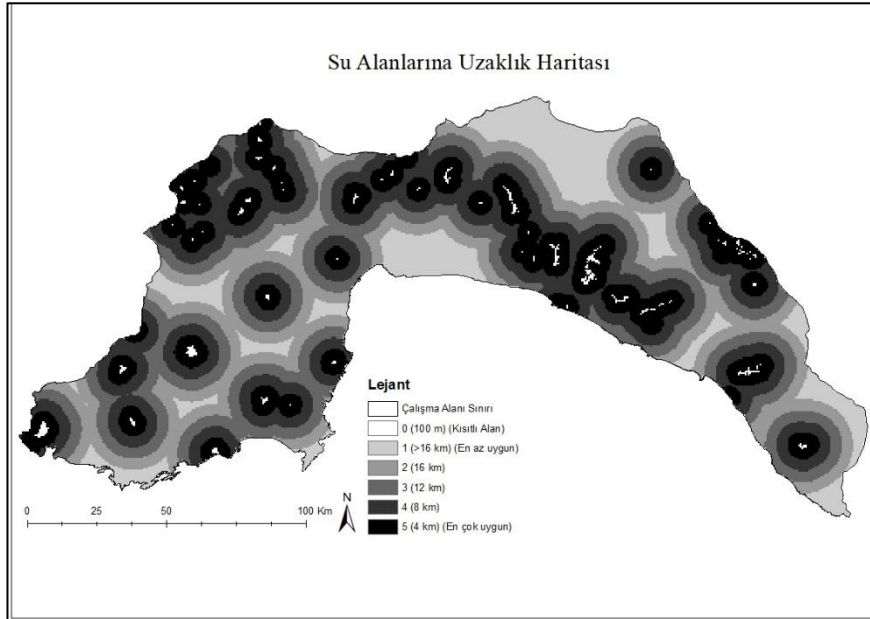
Şekil 4.17. Yollara uzaklık haritası

Şekil 4.18’de yerleşim alanlarına uzaklık haritası verilmiştir. Yerleşim alanlarında 500 m eşik bulunmaktadır. Bu alanın dışında kalan alanlarda ise yerleşimden uzaklaştıkça güneş tarlası için uygunluk azalmaktadır.



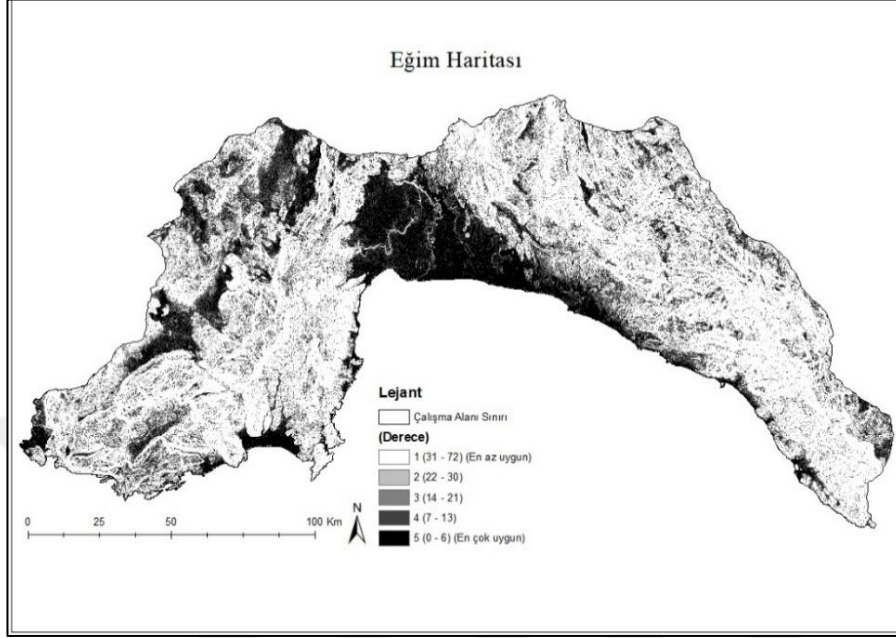
Şekil 4.18. Yerleşim alanlarına uzaklık haritası

Şekil 4.19’da su alanlarına uzaklık haritası verilmiştir. Su alanlarında 100 metrelik eşik bulunmaktadır. Bu sınırdan itibaren su alanlarına ne kadar yakınsa güneş tarlası için o kadar uygundur.



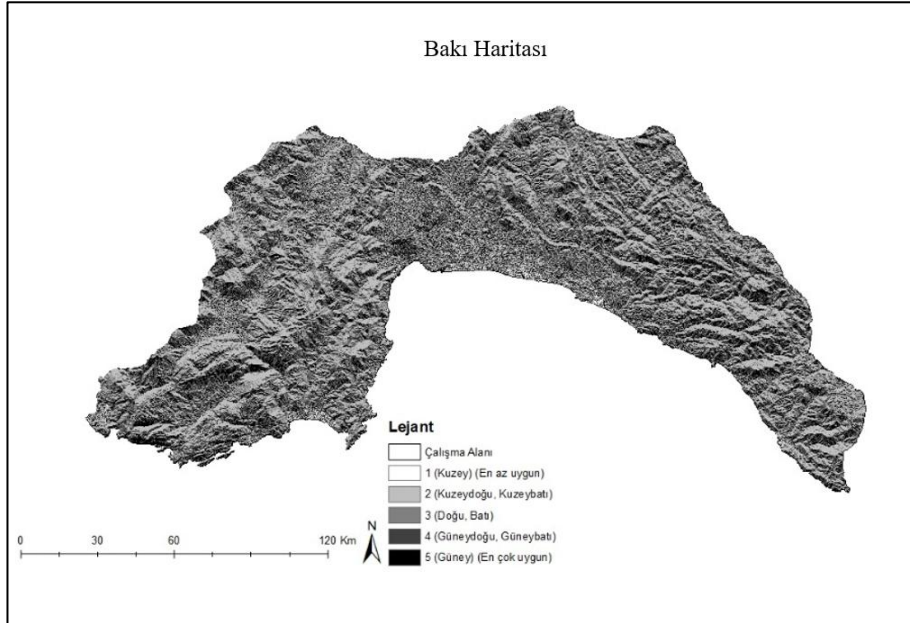
Şekil 4.19. Su alanlarına uzaklık haritası

Şekil 4.20’de eğim haritası yer almaktadır. 20 Dereceye kadar eğimli olan alanlar yerleşilebilir alanlardır. Bu derecenin üzeri eşik olarak tanımlanmıştır. Eğim ne kadar azsa güneş tarlası için uygunluk seviyesi o kadar fazladır.



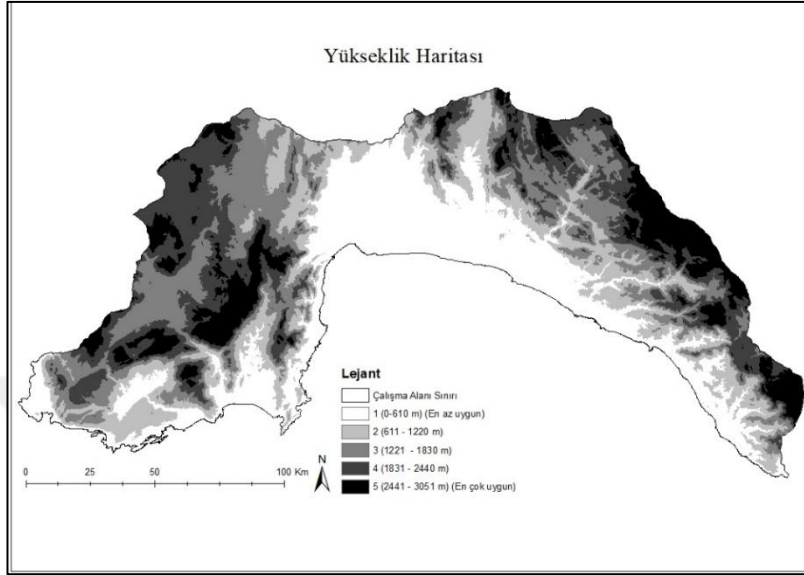
Şekil 4.20. Eğim haritası

Şekil 4.21’de bakı haritası yer almaktadır. Güneye bakan alanlar güneş tarlası için en uygun alanlardır. Kuzey ise en az uygun sınıfta yer almaktadır.



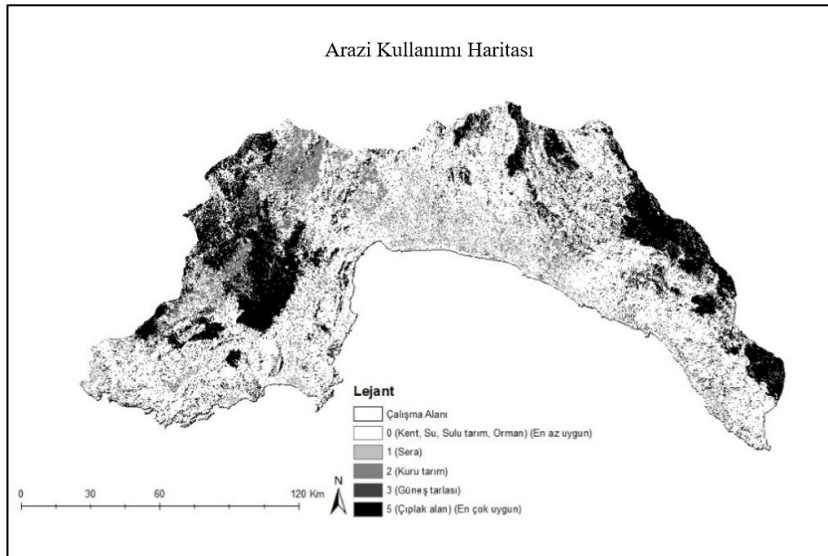
Şekil 4.21. Bakı haritası

Şekil 4.22’de yükseklik haritası verilmiştir. Kentin doğu ve batı sırtlarında yükseklik en çok uygun sınıfındadır. Yükselti arttıkça hava berraklaştığı için fotovoltaik panellerden daha iyi verim alınmaktadır. Kıyı ve iç kesimler ise yükseklik açısından en az uygun sınıfındadır.



Şekil 4.22. Yükseklik haritası

Son kriter olan arazi kullanımı haritası da Şekil 4.23’te verilmiştir. Yapılan yeniden sınıflandırma işlemi sonucuna göre kentin doğu ve batı sırtları güneş tarlası için en çok uygun sınıfta çıkmıştır. Bu alanlar çıplak alan sınıfındadır. İç ve kıyı kesimlerde ise güneş tarlası yer seçimi için uygunluk daha azdır. Bu alanlarda da kentsel alanlar, orman alanları, su alanları, sulı ve kuru tarım alanları yer almaktadır.



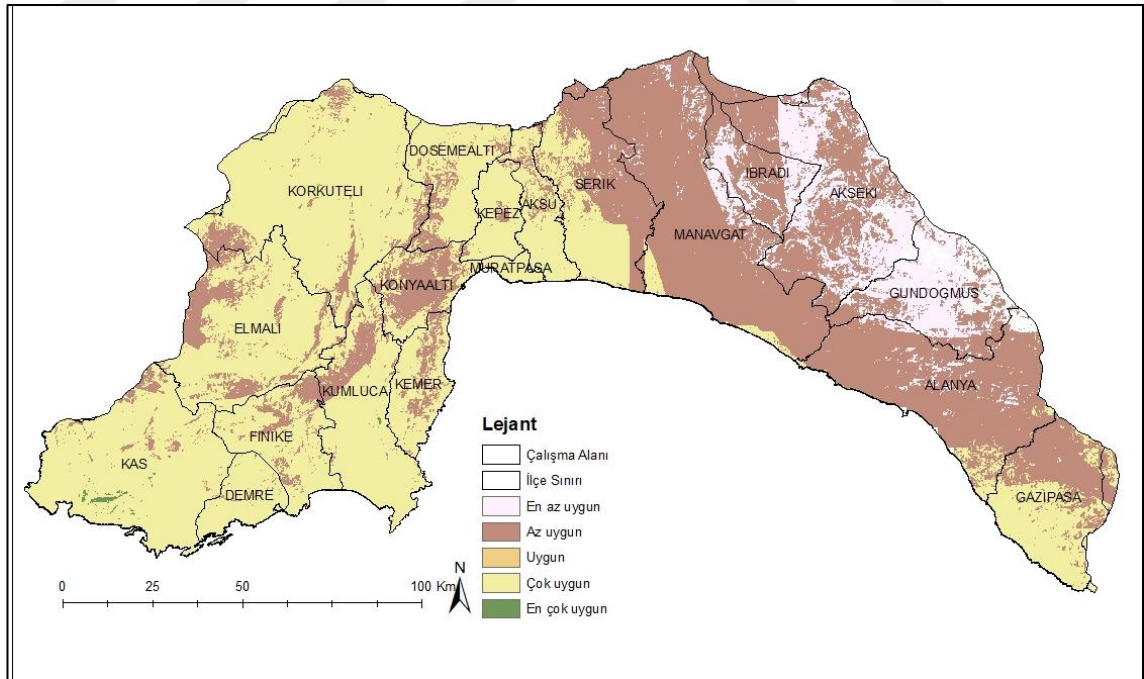
Şekil 4.23. Arazi kullanımı haritası

4.3.3. Ana kriterlerin ağırlıklı çakıştırılması

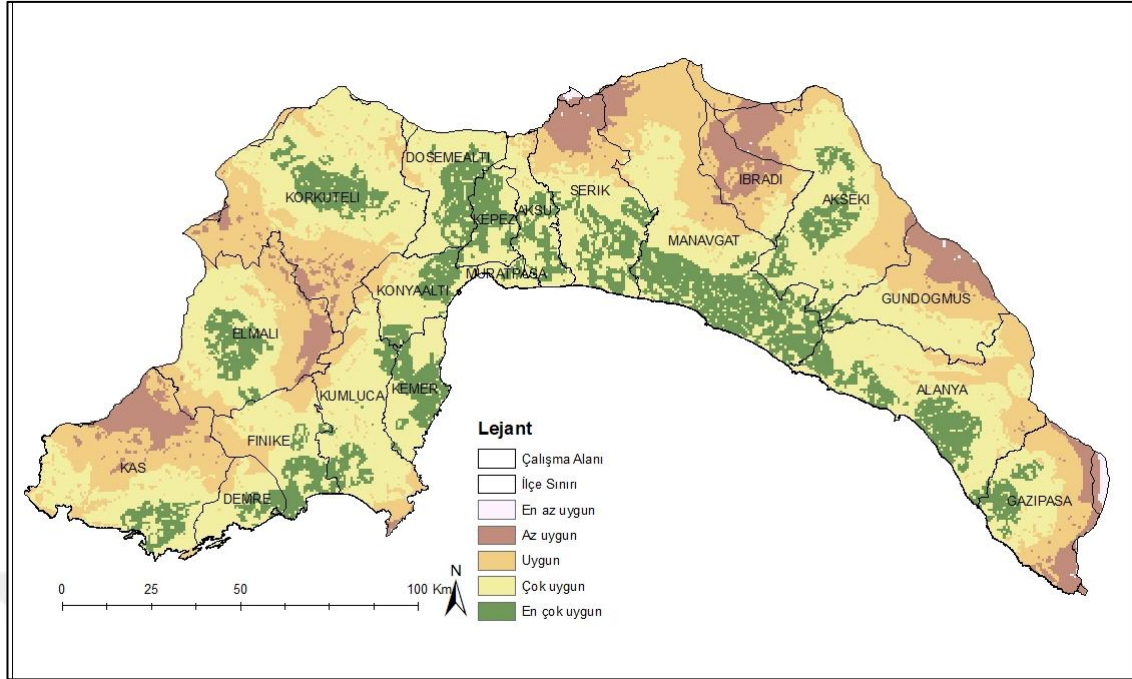
Güneş radyasyonu, güneşlenme süresi, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık ortalama yağış ve nemlilik kriterlerinden oluşan iklim ana kriteri AHP ile elde edilen kriter ağırlık değerlerine göre ağırlıklı olarak çakıştırılarak iklimsel açıdan yerleşime uygunluk haritası elde edilmiştir (Şekil 4.24). Elde edilen haritaya göre, Kaş ve Korkuteli ilçeleri güneş tarlaları yer seçimi açısından en uygun alanlardır. Kentin genel olarak güneyi ve merkezi ise çok uygun çıkmıştır. Az uygun olarak çıkan yer ise Gündoğmuş ilçesinin büyük çoğunluğu, kısmen de Akseki ve İbradı ilçeleridir.

Trafolarla olan uzaklık, iletim hatlarına olan uzaklık, yerleşim alanlarına olan uzaklık, yollara olan uzaklık ve su ögelerine olan uzaklık kriterlerinden oluşan lojistik ana kriteri için de aynı işlem uygulanarak uygunluk haritası elde edilmiştir (Şekil 4.25). Elde edilen haritaya göre, en çok uygun çıkan yerler Korkuteli, Elmalı, Akseki, Döşemealtı ilçeleri ve kıyı kesimleridir. Çok uygun olarak sınıflanmış olan alanlarda iletim hatları ve trafolar yer almaktadır.

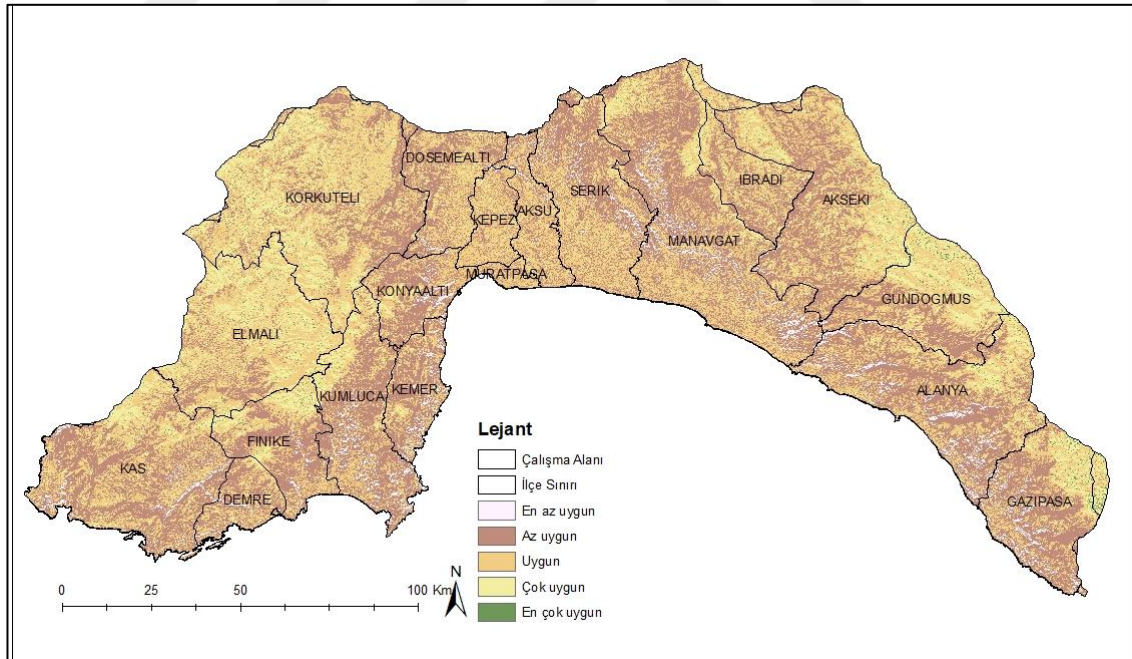
Son olarak eğim, bakı, yükseklik ve arazi kullanımından oluşan coğrafya ana kriteri için de aynı işlem uygulanmış ve coğrafi açıdan uygunluk haritası elde edilmiştir (Şekil 4.26). Buna göre, kentin iç kısımları, kıyı alanları ve batısında yer alan Elmalı ve Korkuteli ilçeleri en çok uygun alanlar olarak sınıflanmıştır. Az uygun olarak çıkan sınıf genellikle eğimin yüksek ve bakının kuzey-kuzeydoğu-kuzeybatı yönlerinde olduğu alanlarda yer almaktadır.



Şekil 4.24. İklim kriterleri için elde edilen değerler



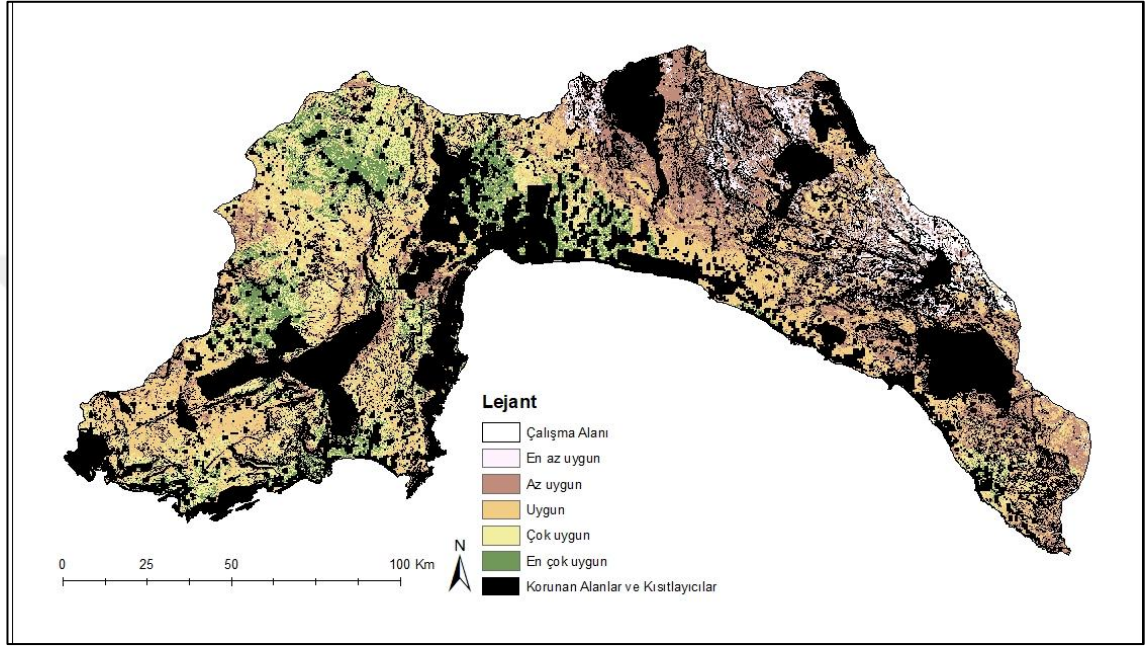
Şekil 4.25. Lojistik kriterleri için elde edilen değerler



Şekil 4.26. Coğrafya kriterleri için elde edilen değerler

4.3.4. AHP ile güneş tarlaları için yerleşime uygunluk haritasının elde edilmesi

İklim, lojistik ve coğrafya ana kriterlerinin ağırlıklı olarak çakıştırılması ile AHP yöntemi ile elde edilmiş güneş tarlaları için potansiyel açıdan uygun alanların haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.27). Çalışma alanının batısı ve merkezi en çok uygun sınıfta çıkmıştır. Doğusunda ise en az uygun ve az uygun sınıfları yoğun görünmektedir.



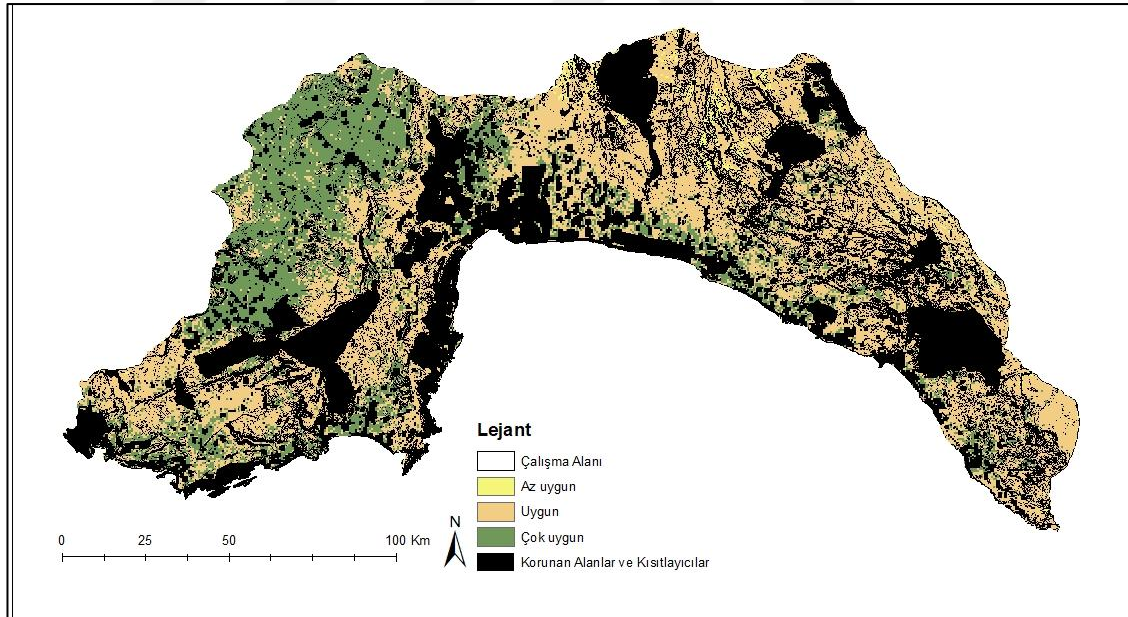
Şekil 4.27 AHP ile elde edilmiş güneş tarlası için uygun alanlar haritası

Çizelge 4.6'da görüldüğü üzere alansal olarak en fazla uygun sınıfı (%40) çıkmıştır. Daha sonra sırasıyla az uygun (%25,05), çok uygun (%17,98), en çok uygun (%9,48) ve en az uygun (%7,38) sınıfları gelmektedir. Toplam 28.063.422 pikselden oluşan çalışma alanında güneş tarlaları için en çok uygun ve uygun alanların toplamı çalışma alanının %27,46'lık alanını kaplamaktadır.

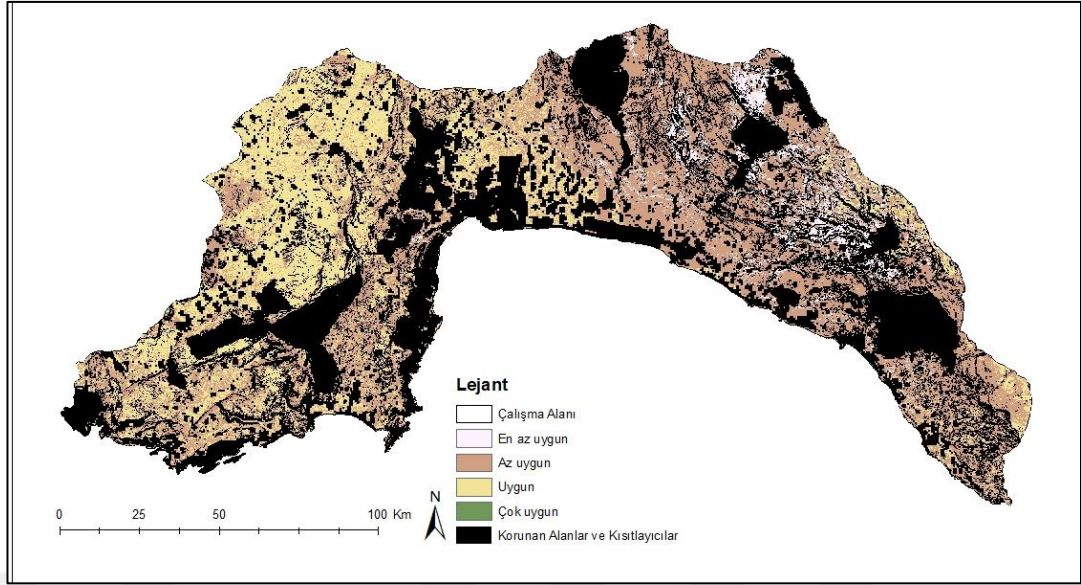
Çizelge 4.6. AHP ile elde edilen potansiyel alan haritasının piksel ve yüzde dağılımları

Sınıf	Açıklama	Piksel Sayısı	Alan (Yüzde, %)
1	En az uygun	2.080.471	%7,38
2	Az uygun	7.025.429	%25,05
3	Uygun	11.240.497	%40,11
4	Çok uygun	5.048.988	%17,98
5	En çok uygun	2.668.037	%9,48
Toplam		28.063.422	%100

Duyarlılık analizi doğrultusunda uygulanan eşit ağırlık kriteri (Senaryo 1)'in sonuçları (Şekil 4.28'de) yer almaktadır. Harita incelendiğinde kentin batısında büyük bir alanın (Elmalı ve Korkuteli ilçeleri) çok uygun sınıfında çıktığı görülmektedir. Kentin geri kalanı ise uygun ve az uygun sınıfında çıkmıştır. Bu durum beklendiği üzere kriter ağırlıklarının önemli olduğunu vurgulamaktadır.

**Şekil 4.28** Senaryo 1 sonucu elde edilen uygun alan haritası

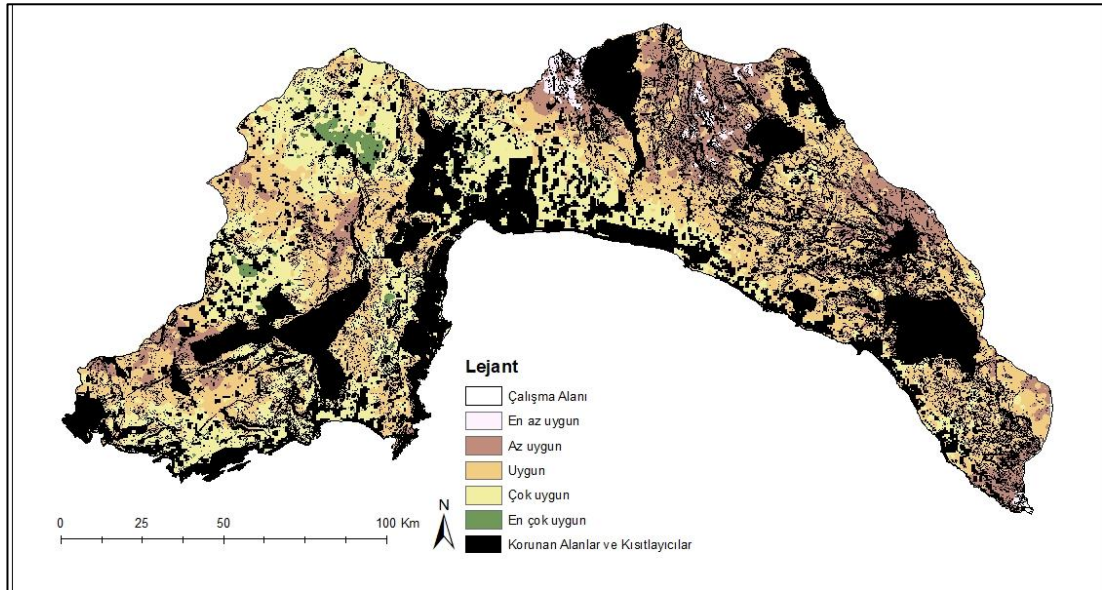
Şekil 4.29'da Senaryo 2'ye göre elde edilen ağırlıklı çakıştırma analizi sonucu incelendiğinde kentin büyük çoğunluğunun az uygun sınıfında çıktığı gözlemlenmiştir. İklimsel koşullar ve coğrafi koşullar kriterleri ile elde edilen bu haritada kentin batısının yerleşime daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.29 Senaryo 2 sonucu elde edilen uygun alan haritası

4.3.5. TOPSIS ile yerleşime uygunluk haritasının elde edilmesi

TOPSIS yöntemi ve enterpolasyon ile elde edilen sonuç haritası (Şekil 4.30) incelendiğinde kentin batısının (Korkuteli ve Elmalı ilçeleri), merkezinin ve kıyı kesimlerinin yerleşime daha uygun çıktığı gözlemlenmiştir. Doğu kısımlarında ise az uygun (İbradı ve Aksu ilçeleri) sınıfı daha yoğun yer kaplamaktadır. Kentin kuzeybatısında en çok uygun sınıfına ait alanlarda bölgeselleşme olduğu görülmektedir. TOPSIS ile elde edilen sonuç haritasına göre yerleşime en uygun ilçe Korkuteli ilçesidir.



Şekil 4.30 TOPSIS ile elde edilmiş uygun alan haritası

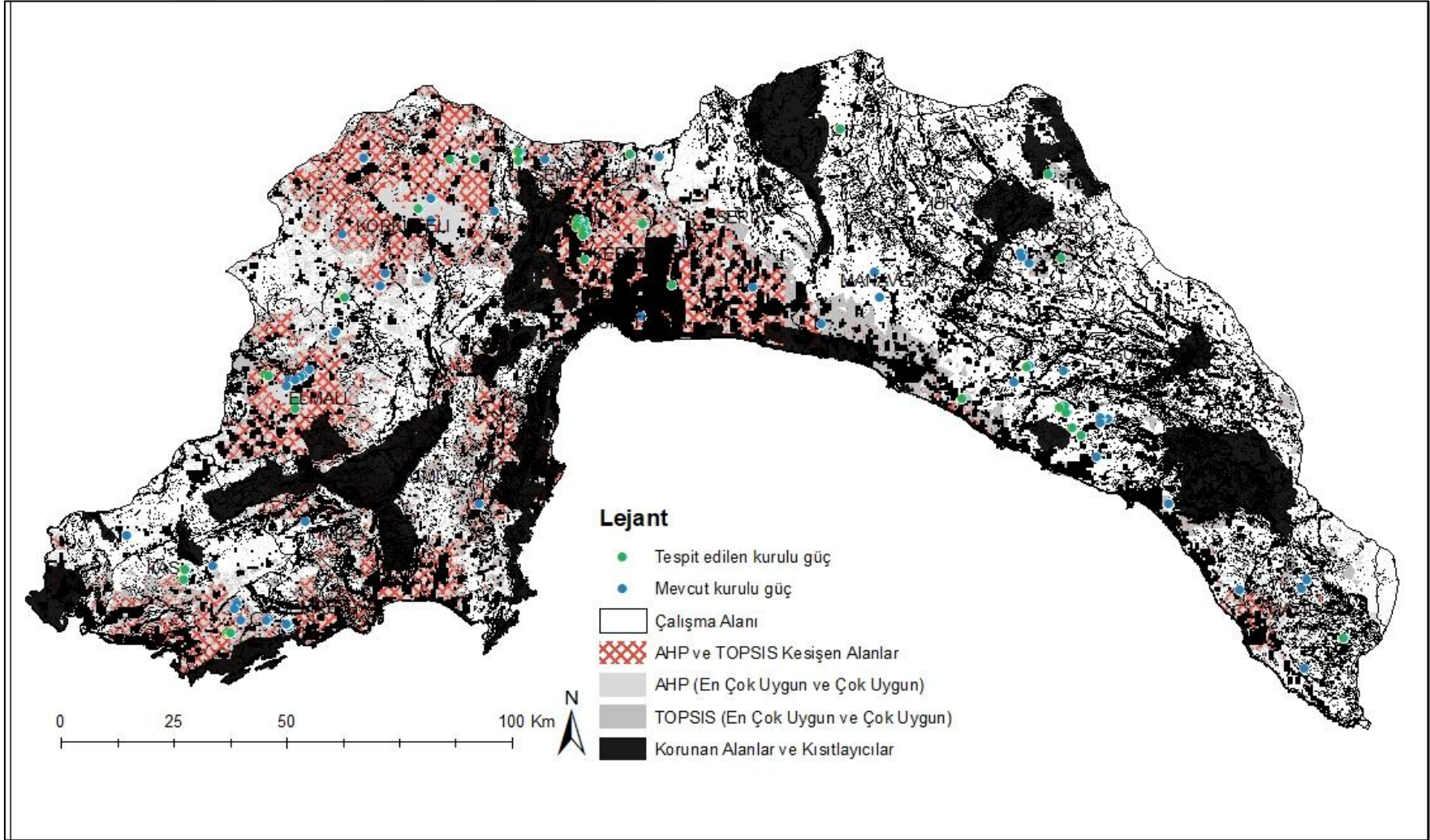
Elde edilen TOPSIS sonuçları piksel sayısı ve alan bakımından incelenmiştir (Çizelge 4.7). Elde edilen sonuçlarda en fazla alana sahip sınıf uygun sınıfı (%45,13) olarak çıkmıştır. Alansal bakımdan bu sınıfı sırasıyla çok uygun (%33,33), az uygun (%15,68), en çok uygun (%1,60) ve en az uygun (%1,26) takip etmektedir. TOPSIS sonuçlarında çalışma alanında güneş tarlası için en fazla uygun ve çok uygun alanlar olduğu dikkat çekmektedir. En çok uygun ve uygun sınıfları bir arada değerlendirildiğinde ise bu oran çalışma alanının %34,93'lük kısmına karşılık gelmektedir.

Çizelge 4.7. TOPSIS ile elde edilen potansiyel alan haritasının piksel ve yüzde dağılımları

Sınıf	Açıklama	Piksel Sayısı	Alan (%)
1	En az uygun	355.703	%1,26
2	Az uygun	4.399.474	%15,68
3	Uygun	13.504.712	%48,13
4	Çok uygun	9.356.019	%33,33
5	En çok uygun	447.514	%1,60
Toplam		28.063.422	%100

4.3.6. AHP ve TOPSIS potansiyel alan karşılaştırması

Şekil 4.31'de AHP ve TOPSIS ile elde edilen sonuçlardan iki yer seçimi sonucundan da en çok uygun ve çok uygun sınıfları alınarak kesiştikleri alan belirlenmiştir. Buna göre kentin batısı ve kıyı kesimleri yerleşime daha uygun çıkmıştır. Yer seçimi sonuçları, çalışmanın ilk aşamasında elde edilen güncel güneş tarlası verileri ve mevcut güneş tarlası verileri ile karşılaştırılarak incelenmiştir.



Şekil 4.31 AHP ve TOPSIS potansiyeli yüksek alanların karşılaştırılması

Kesişen alanlar incelendiğinde en çok uygun ve çok uygun alanların, çalışma alanının %15,28'lik alanını kapladığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu alan hem AHP hem de TOPSIS sonuçlarında En Çok Uygun ve Çok Uygun sınıflarının birleşim alanları kullanılarak, her iki sonucun kesişim alanları elde edilerek hesaplanmıştır. Ayrıca belirlenen bu alan çalışma alanının yaklaşık 3.864 km²'lik bir alanına karşılık gelmektedir. Sonuç haritasına göre yerleşime en uygun ilçeler Korkuteli, Elmalı, Demre, Kaş, Finike, Kumluca ve Merkez ilçeler (Döşemealtı, Kepez, Aksu, Muratpaşa) olarak çıkmıştır.

Mevcut güneş tarlası kurulu güç verisi ile bu çalışma ile tespit edilen güncel güneş tarlası verileri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, kurulum alanlarının genellikle doğru yer seçtiği sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle kentin batısında iki yer seçimi yöntemiyle de kesişen alanlarda yer seçilmiş olması, yatırımcıların doğru karar verdiğini göstermiştir. Uygunluğu az olup hem AHP hem de TOPSIS ile herhangi bir kesişimi bulunmayan alan olarak kentin doğusunda, kıyıya yakın bir bölge (Alanya-Gündoğmuş) bulunmaktadır. Bu bölge eğimli araziye sahip olması ve yerleşim alanlarına 500 m sınırı içerisinde yer almasının etkisiyle verimlilik ve maliyet açısından diğer bölgelere göre dezavantajlı durumdadır. Eski güneş tarlası verilerinden 27 tanesi (toplam 70 adet), yeni tespit edilen güneş tarlası verilerinden ise 33 tanesinin (toplam 68 adet) kesişim alanında kurulum yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

5. TARTIŞMA

Birleşmiş Milletler tarafından 2030 yılı hedeflenerek dünya liderleri tarafından aşırı yoksulluğu sona erdirmek, eşitsizlik ve adaletsizlik ile mücadele ve iklim değişikliğini düzeltme ana hedefleri altında 17 farklı Küresel Amaç belirlenmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı 2024)

Bu hedefler arasında Erişilebilir ve Temiz Enerji, Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar, İklim Eylemi ve Amaçlar İçin Ortaklıklar hedefleri ile güneş enerjisi ilişkilendirilebilir. Erişilebilir ve Temiz Enerji hedefi açısından değerlendirildiğinde güneş tarlalarının kurulması temiz enerji üretimini desteklemekte ve enerjiye erişimi kolaylaştırmaktadır. Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar açısından değerlendirildiğinde kentlerin enerji bağımsızlığının artırılması, çevresel etkilerin minimuma indirilmesi açılarından katkıda bulunmaktadır. İklim Eylemi açısından değerlendirildiğinde, fosil yakıt bağımlılığını azaltarak karbon emisyonlarını düşürmekte ve çevresel sürdürülebilirliği artırma açısından ilişkilendirilebilmektedir. Ek olarak, ülkemizin sahip olduğu yüksek güneş enerjisi potansiyeli, yatırımcı çekme ve uluslararası iş birlikleri kurma konusunda teşvik edici bir faktör olup, ekonomik büyümeye katkı sağlamaktadır.

Türkiye'nin geleceği için 2053 Net Sıfır Hedefi ve Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejisi'ne yönelik eylem planı hazırlanmıştır. Bu plan kapsamında enerji, binalar, arazi kullanımı gibi birçok alanda azaltım sektörleri belirlenmiştir. Bu hedef doğrultusunda düşük emisyon ve iklim dirençli kalkınma anlayışı benimsenmiştir. Buna yönelik olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması ve fosil yakıtların azaltılması çok önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisine yönelik yapılan bu

yer seçimi çalışması ile sağlanabilecek katkılar enerjide dışa bağımlılığın azalması ve yenilenebilir enerji kaynakları kapasitelerinin artırılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Mekânsal Strateji Planları, ulusal düzeyde kentsel ve kırsal alanların gelişimini yönlendiren üst ölçekli planlardır. Ekonomi, sosyal ve çevreye yönelik politikaları ve buna yönelik hazırlanan stratejileri mekanla ilişkilendirmektedir. Ülkemizin sahip olduğu mekânsal potansiyeli kullanarak bunu bir avantaja çevirme, politikaların mekânsal stratejilerle uyumlu olmasını sağlama ve çevreye yönelik politikaların arazi kullanımı ile entegrasyonun sağlanması gibi sebeplerle bu plana ihtiyaç duyulmuştur. Bu plana yönelik hedefler arasında yer alan sürdürülebilir bir çevre yaratma çerçevesinde, iklim değişikliğine uyum ile hazırlanan güneş tarlalarının tespiti ve uygun yer seçimi çalışması arasında ilişki kurulabilmektedir. Güneş tarlası yer seçimi çalışmaları ile enerji altyapısı stratejilerine enerji üretim alanlarının önceden planlanması ve yer seçim analizlerinin yapılması, çakışmayacak alanların belirlenmesini sağlamaya katkıda bulunmaktadır. En fazla verim alınacak alanların belirlenmesi ile mekânsal strateji planına yönelik analizlere katkı sağlanabilmektedir. Ayrıca bölgesel enerji dengesinin sağlanmasına yönelik çözümler sunmaktadır. Ek olarak, korunması gereken alanlar (Sit Alanları, Askeri Alanlar, Yaban Hayatı Koruma Alanları vb.) göz önünde bulundurularak, bu alanların ihlal edilmesinin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Enerji üretim ve tüketim bölgelerinin dengelenmesi açısından da yer seçimi sonuçları enerji arz ve talep dengesini optimize etmektedir.

Çevre Düzeni Planları, çevresel sürdürülebilirlik ve doğal kaynakların yönetimini mekânsal planlama ile birleştirmektedir. Yer seçimi çalışmalarında kullanılan kriterler ile sürdürülebilir arazi kullanımının sağlanmasına ve doğal alanların korunmasına katkı sağlanmaktadır. Ekolojik dengeyi beslemekte ve çevresel etkileri en aza indirmektedir. Ekonomik verimlilik artırılırken enerji üretim maliyetlerinin azaltılmasına katkı sunulmaktadır. Ayrıca, uzun vadeli enerji üretim alanlarının oluşturulması ile bölgesel ihtiyaçların karşılanmasına katkı sağlanmaktadır.

TEİAŞ'ın 2024-2028 Stratejik Planı, enerji iletim altyapısının geliştirilmesi ve enerji arz güvenliğinin artırılmasını hedeflemektedir (TEİAŞ 2023). Hazırlanan bu çalışma ile TEİAŞ tarafından belirlenen hedeflerin gerçekleştirilmesi arasında ilişki kurulabilmektedir. Stratejik planda, sürdürülebilir enerjinin sağlanması, dışa bağımlılığın azalması, enerji dönüşümü, enerji piyasasında ulusal ve uluslararası etkinliğin artırılması ve kurumsal kapasitenin geliştirilmesi gibi hedefler belirlenmiştir. Güneş tarlası yer seçiminde kullanılan enerji iletim hatlarına yakınlık kriterinin kullanılması göz önüne alındığında enerji iletim hatlarının verimli kullanılmasının sağlanması ve iletim kayıplarının minimize edilmesi ile bu hedefler arasında ilişki kurulabilmektedir. Böylece bölgeler arası enerji yükünün adaletli şekilde dağıtılmasına katkı sağlamaktadır. Ek olarak, planlama süreçleri enerji altyapısının sürdürülebilirliğini ve enerji verimli kentlerin oluşturulmasını desteklemektedir.

Çalışmanın sınıflandırma bölümünün ilk adımında uydu görüntüsüne ek bantlar eklenmiştir. Spektral indeksler literatürde yer alan benzer çalışmalar incelendikten sonra eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre özellik önemi (feature importance) değerlerinde uydu görüntüsüne ait bantlara göre daha önemli çıkmışlardır. Kullanılan ek bantlar doğruluğu artırmada pozitif etki yaratmıştır. Ancak sınıfların tespitine yönelik birden

fazla benzer indeks kullanılmıştır. Yapılan çalışmada doğruluğa etkisi olmayan indeksler çıkartılmak istenmiştir. Bunun için önce uydu görüntüsüne ait bantlarla daha sonra da ek bantların eklenmesiyle doğruluk değerlendirilmesi yapılmıştır. Ancak GEE, bu noktada kullanıcı limitini aşma hatası vermiştir. Bu sebeple bantlar uydu görüntüsüne tek olacak şekilde eklenerek doğruluğa etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda incelendiği üzere her ek bandın doğruluk üzerine en az bir sınıflandırma algoritmasında olumlu etki verdiği tespit edilmiştir. Bu sebeple doğruluğu artırıcı etki verdikleri için hepsi kullanılmıştır. Bu durum Chen vd. (2022) ile Wang vd. (2023)'ün çalışmalarında yaptığı gibi bir sınıf için birden fazla indeksin kullanılabileceğini göstermektedir.

Kompozit görüntü oluşturulduktan sonra özellik önemi analizinin yapılması hangi bantların daha etkili olduğunu bulmaya yardımcı olmuştur. Ancak eklenen indeks bantları uydu görüntüsü bantlarından daha az önemde çıkmamıştır. Literatürde yer alan güneş tarlası ve fotovoltaik panel tespiti çalışmalarından yola çıkılarak seçilen bu indekslerin hepsinin olumlu etki yarattığı sonucuna ulaşılmıştır. Diğer yandan çalışmanın yapıldığı alana göre farklı indeksler tercih edildiği dikkat çekmiştir. Örneğin kurak bölgelerde yapılan bir çalışmada kum/toz indeksleri panellerin üstünü kapatarak verimin düşmesine sebep olması sebebiyle tercih edilmiştir (Supe vd. 2020). Akdeniz Bölgesi nemli ve ılıman bir bölge olsa da bazı bölgelerde karasal iklime dönen bir geçiş tipine de sahiptir (Kültür ve Turizm Bakanlığı 2012). Bu sebeple bu çalışmada da kuraklığa yönelik indeksler eklenmiş ve güneş tarlalarının tespitinde doğruluğu artırdıkları sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla çalışma yapılacak alanın özelliklerine göre kriterlerin seçilmesinin bu alanda yapılacak çalışmalar için önemi vurgulanmaktadır.

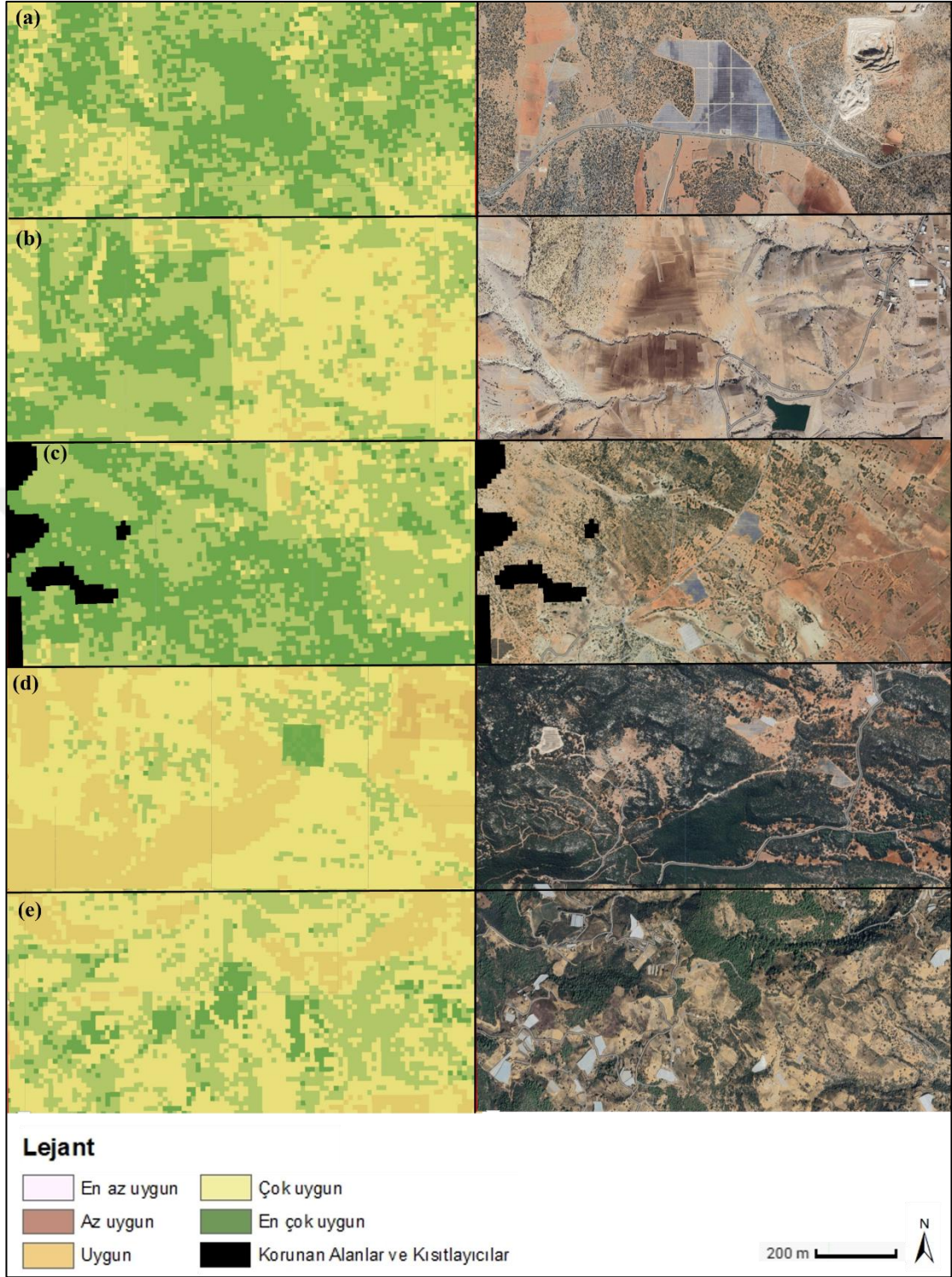
Hiper parametre ayarlamasının yapılması sınıflandırma sonuçları açısından önem taşımaktadır. En uygun değer, kullanılan sınıflandırma algoritmasına göre hangi değerlerde verildiği analiz edilmesi ve çıkan değerlerin algoritma parametrelerinde kullanılması daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada da bu sayede hata matrisinde elde edilen sonuçlar hiper parametre ayarlaması ile daha yüksek doğruluk sonuçlarının alınmasında yardımcı olmuştur.

Sınıflandırma sonuçları değerlendirildiğinde SVM algoritması daha yüksek doğruluk sonucu vermektedir. Bununla birlikte, RF algoritmasının doğruluğu daha düşük olsa da güneş tarlalarının sınırlarını ve fotovoltaik paneller arasından geçen yolları detaylı ve doğru şekilde çıkardığı tespit edilmiştir. Bu durum literatürde güneş tarlası tespiti çalışan ve RF algoritması kullanan çalışmaların doğru tercih yaptığını kanıtlar niteliktedir (Wang vd. 2024; Zhang vd. 2023). Vasku (2019) tarafından yapılan çalışmada sınıflandırma algoritmaları arasından en yüksek sınıflandırma doğruluğunu SVM ve RF vermiştir. Bu çalışmada da SVM ve RF yüksek doğruluk sonucu vermiştir. Ancak eklenen spektral indeksler SVM'nin genel doğruluğunun daha yüksek çıkmasında etkili olmuştur. Ayrıca GEE kullanılarak yapılan bu çalışma ile ülkemizde de örnek bir uygulama ortaya koyulmuştur.

Ulusal Enerji Planı'na (2022) göre en çok enerji tüketen sektörün sanayi olduğu çalışmanın önceki bölümlerinde bahsedilmiştir. Sınıflandırma çalışması ile güneş tarlaları tespiti yapılırken Döşemealtı ilçesindeki fabrikaların çatılarına yapılan kurulumlar da tespit edilmiştir. Bu durum, sanayi alanlarının ihtiyaç duydukları enerjiyi güneş enerjisinden elde ederek kullanmaları açısından hem Ulusal Enerji Planı ile hem de elde edilen sonuçlar açısından uyumlu ve tutarlı bulunmuştur.

Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA) ile güneş tarlaları için yer seçimine uygun alanların AHP ve TOPSIS sonuç haritaları karşılaştırılmıştır. AHP potansiyel alan haritasında Elmalı ve Korkuteli ilçelerinin yerleşime çok uygun çıkması ile GEPA haritası örtüşmektedir. Ancak GEPA’da en yüksek toplam güneş radyasyonunun bulunduğu Korkuteli’ndeki alan, bu çalışmada Korunan Alanlar sınıfında yer aldığı için güneş tarlası kurulumu yapılamayan alandır. GEPA’da Gündoğmuş ilçesi diğer en yüksek güneş radyasyon değerinin görüldüğü alana sahip iken; bu çalışmada AHP ile elde edilen sonuçlara göre Gündoğmuş ilçesi güneş tarlaları için yerleşime az uygun sınıfta çıkmıştır. TOPSIS potansiyel alan haritası ile karşılaştırıldığında da Gündoğmuş ilçesi en az uygun sınıftadır. GEPA’da kentin doğusu genel olarak yüksek değerlere sahip iken; bu çalışmada hem AHP hem de TOPSIS analizleri sonucu elde edilen haritalarda doğu kesimi genel olarak yerleşime daha az uygun olarak çıkmıştır. İbradı ilçesi özelinde ise GEPA ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar farklılık göstermektedir. Bu çalışmada İbradı ve Gündoğmuş ilçeleri güneş tarlası yer eçimi için az uygun ve en az uygun sınıflarında çıkmıştır. GEPA haritasında ise yüksek radyasyon değerlerine sahiptir.

Bu çalışmada güneş tarlaları için yerleşilebilir çıkan alanlar arasından 5 örnek alan seçilmiştir ve uydu görüntüleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 5.1). Şekil 5.1a’da en çok uygun sınıftaki pikseller uydu görüntüsü ile karşılaştırıldığında o alanda kurulu güneş tarlası bulunduğu tespit edilmiştir. Kurulum alanının güneyinin de güneş tarlası için uygun olduğu görülmektedir. Şekil 5.1b’de görülen çorak bir alanın yerleşime uygun çıkması beklenen bir sonuçtur. Şekil 5.1c’de en çok uygun sınıfına ait büyük bir alan görülmektedir. Uydu görüntüsü incelendiğinde ise yine bu alanda yer seçimi yapmış iki adet güneş tarlası bulunduğu tespit edilmiştir. Bu alanların doğru yer seçimi yaptıkları yapılan bu çalışma ile söylenebilmektedir. Uygulanan yöntemler ve analizler sonucunda bu alanlardan yüksek verim alınması ve kurulumun maliyetinin düşük olması beklenmektedir. Şekil 5.1d’de yol, kentsel alan ve ormanlık alanın olduğu bir alan seçilmiştir. Çorak alan sınıfına ait tek alanın en çok uygun sınıfına ait çıkmış olması yine yapılan çalışmanın tutarlı olduğunu göstermektedir. Son olarak Şekil 5.1 incelendiğinde en çok uygun sınıfta çorak alanların bulunduğu gözlemlenmiştir. Ancak dikkat çeken bir diğer unsur da orman alanlarının uygun sınıfta çıkmış olmasıdır. Bunun da kriterlerin ağırlıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak genel olarak değerlendirildiğinde elde edilen bulgular ve mevcut durumun örtüşmesi yapılan çalışmanın başka alanlarda da uygulanabilirliğini kanıtlar niteliktedir.



Şekil 5.1 Güneş tarlaları için yerleşime uygun alanların incelenmesi

Literatürde bu çalışmanın konusu ve çalışma alanı benzer olan ancak kullanılan yöntem ile bu çalışmadan farklı dört çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birisi Yılmaz vd. (2024) tarafından yapılmış olup; Antalya, Burdur ve Isparta illeri için Fuzzy AHP ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile güneş enerji santralleri için yer seçimi çalışmasıdır. Çalışmanın sonuçlarına göre Antalya ilinde Elmalı ve Korkuteli ilçeleri

uygunluk açısından ön plana çıkmaktadır. Manavgat, Akseki, Gündoğmuş ve Kaş ilçesinin kıyı bandında da uygun alanlar çıkmıştır. İbradı ilçesinde orta ve çok düşük yerleşim bir arada görülmektedir. Ancak iklimsel koşullar göz önüne alındığında İbradı ilçesinde yerleşim yapılması bu tezde elde edilen çalışma sonuçlarına göre önerilmemektedir.

Diğer çalışma Kırçalı ve Selim (2021) tarafından yapılmış olup ArcGIS yazılımı ile hazırlanmıştır. AHP kullanılan çalışmada elde edilen bulgulara göre yerleşime en uygun alanlar Kaş ve Elmalı ilçelerinde çıkmıştır. Genel olarak kentin kıyı kesimleri, Kaş, Elmalı, Korkuteli ve Gündoğmuş ilçeleri yerleşime uygun alanlar olarak tespit edilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında ise farklı olarak yıllık ortalama yağış, nemlilik ve iletim hatlarına uzaklık kriterleri eklenmiştir. Ayrıca AHP'nin yanı sıra TOPSIS yöntemi de eklenmiş ve güncel bir yazılım olan GEE platformu kullanılmıştır. Yer seçimi çalışması kapsamını genişleterek mevcut güneş tarlalarının farklı makine öğrenme algoritmaları ile de tespiti yapılmıştır ve sadece open street map üzerinden erişilebilen güneş tarlaları haritası bu çalışma ile güncellenmiştir. Ek olarak, güncellenen güneş tarlaları harita ile yer seçimi çalışmasının karşılaştırılması ve farklı iki MCDA yönteminin bir arada kullanılması ile bu çalışma Kırçalı ve Selim (2021)'in çalışmasından farklılaşmıştır. Elde edilen uygun alanlar açısından kıyaslandıklarında bu çalışmada farklı olarak Gündoğmuş ilçesi iki MCDA yönteminde de yerleşim açısından az uygun çıkmıştır.

Tercan vd. (2020) tarafından Antalya, Isparta ve Burdur illeri için fotovoltaik güç tesislerine yönelik CBS' ye dayanan bir yatırım sistemi üzerine çalışılmıştır. Antalya ili kapsamında incelendiğinde Elmalı ve Korkuteli ilçeleri çok uygun sonucu vermiştir. Ancak aynı ilçelerde çok az uygun sonucu da görülmektedir. Genel olarak kıyı kesimleri yerleşime uygun alanlar olarak çıkmıştır. Alanya ilçesinin doğusunda da yerleşime uygun alanlar bulunmaktadır. İbradı ve Gündoğmuş ilçeleri uygun çıkmamıştır. Farklı yöntemler ancak benzer kriterler kullanılan bu çalışma ile sonuçlar genel anlamda örtüşmüştür. Ancak Serik ve Manavgat ilçeleri yerleşime çok uygun görünmektedir. Bu çalışmada ise uygunluk seviyesi daha düşük çıkmıştır.

Antalya ili çalışma alanını kapsayan son çalışma da Duman (2018) tarafından hazırlanmıştır. Batı Akdeniz Bölgesinde güneş enerji santrallerine yönelik kuruluş yeri seçmeye odaklanan çalışmada TOPSIS, MOORA Oran, MOORA Referans, MOORA Tam Çarpım ve MULTIMOORA yöntemleri kullanılmıştır. Çıkan sonuçlara göre Elmalı ilçesi en iyi ikinci kuruluş yeri olarak çıkmıştır. Döşemealtı ilçesi ise en az uygun olarak çıkmıştır. Elmalı ve Döşemealtı sonuçları bu çalışmada da uygun çıktığı için iki çalışma tutarlı bulunmuştur. Farklı yöntemler kullanılarak aynı sonucun alınması iki çalışmanın ve yöntemlerin tutarlı olduğunu göstermiştir.

Uzmanlardan alınan görüşler doğrultusunda arazi maliyeti açısından kıyı kesimlerinde kurulum yapılması önerilmemektedir. Trafo kriterine ve iletim hatlarına yakınlık önemli olsa da Antalya ilindeki trafoların dolu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca iletim hatlarından uzaklaştıkça her bir metrede enerji kaybı yaşanması da alınan verimi azaltmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada uygulanan en çok uygun ve çok uygun çıkan sınıfların alınmasının önerilen yerleşim alanları açısından daha verimli sonuç vereceği düşünülmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Antalya ilinin sahip olduğu güneş enerji potansiyeli değerlendirilerek güneş tarlası kurulu güç alanları tespit edilmiş, öte yandan ve güneş tarlası için yer seçimi yapılarak potansiyel alanlar tespit edilmiştir. Bunu yaparken son yıllarda popülerleşmekte olan GEE platformu kullanılmıştır. Tüm verilerin açık veri olmasına ve erişilebilir olmasına dikkat edilmiştir. Çalışma üç aşamadan oluşturulmuştur. Birinci aşamada Rastgele Orman (Random Forest – RF), Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines – SVM) ve Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (Classification and Regression Trees – CART) algoritmaları ile arazi kullanımı sınıflandırması yapılmış ve güneş tarlalarının uydu görüntülerinden tespit edilmesi sağlanmıştır. Bunun için yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntüsü sağlayan Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Ayrıca Sentinel 1 ve Landsat 9 görüntüleri de kullanılarak ek bantlar oluşturulmuştur. Bu çalışmada 13 adet ek bant kullanılmıştır. Bu ek bantlar kent, bitki örtüsü, toprak, su gibi arazi kullanım sınıflarının daha iyi tespit edilebilmesi için literatüre dayanarak oluşturulan indeksler kullanılarak oluşturulmuştur. Güneş tarlalarının daha iyi tespit edilebilmesi için ayrıca Arazi Yüzey Sıcaklığı, kum indeksleri, Sentinel 1 uydusuna ait VV ve VH bantları ile DEM verileri de eklenerek kompozit bir görüntü oluşturulmuştur. Ardından normalizasyon yapılarak görüntü değerleri 0-1 aralığına getirilmiştir. Oluşturulan görüntüden güneş tarlası, sera alanları, kentsel alanlar, sulı tarım, kuru tarım, orman, çıplak alan ve orman olmak üzere örneklem toplanmıştır. Tüm sınıflardan olabildiğince yakın sayıda örneklem toplanmasına çalışılmıştır. Toplanan örneklemelerin %70'i eğitim, %30'u test verisi olarak ayrılmıştır. Daha sonra hiper parametre ayarlaması yapılmıştır ve elde edilen optimum değerlere göre sınıflandırma algoritmaları uygulanmıştır. Elde edilen haritaların Hata Matrisi ve McNemar's Test ile doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek doğruluğu %89 ile SVM algoritması vermiştir. RF algoritması ile %86, RF algoritması ile ise %72 doğruluk elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process – AHP) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) yöntemleri tercih edilmiştir. Literatüre ve uzman görüşlerine dayanarak 3 ana ve 14 alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler iklim ana kriteri altında; güneş radyasyonu, güneşlenme süresi, yıllık ortalama sıcaklık, yıllık ortalama yağış ve nemlilik olarak belirlenmiştir. Lojistik kriteri altında; trafolar, yollara, iletim hatlarına, yerleşim alanlarına ve su alanlarına uzaklık kriterleri belirlenmiştir. Coğrafya ana kriteri altında ise; eğim, bakı, yükseklik ve arazi kullanımı kriterleri belirlenmiştir. Güneşlenme süresi ve yıllık ortalama sıcaklık kriterlerine iklimsel çalışmalarda tercih edildiği için Kriging yöntemi ile enterpolasyon yapılmıştır. Lojistik kriterlerine ise vektör formunda (çizgi, poligon, nokta) veriler olmaları sebebiyle tampon analizi (Buffer Analysis) uygulanmıştır. Ardından bu veriler de piksel tabanlı veriye (raster veri) dönüştürülmüştür. Daha sonra tüm üretilen katman haritalarına yeniden sınıflandırma işlemi yapılarak yerleşime uygunluklarına göre 1 ile 5 arası yeni değerler atanmıştır. Uzman görüşlerinin alınmasının ardından AHP analizi yapılmış ve her kriterin ağırlığı belirlenmiştir. Elde edilen kriter ağırlıklarına göre İklim kriterleri arasından en yüksek ağırlığa sahip kriter güneşlenme süresi, lojistik kriterleri arasından iletim hatlarına uzaklık, coğrafya kriterleri arasından da bakı kriteri olmuştur. Ana kriterler arasından ise en yüksek ağırlık iklim

kriterine ait çıkmıştır. Belirlenen ağırlık değerlerine göre önce ana kriterler kendi içerisinde ağırlıklı olarak karşılaştırılmıştır. Sonra ana kriterler kendi aralarında ağırlıklı olarak karşılaştırılarak AHP ile Potansiyel Alan Haritası üretilmiştir. Devamında ise duyarlılık analizi uygulanmış ve iki senaryo belirlenmiştir. Birinci senaryoda duyarlılık analizinin ilk şartı olan eşit ağırlıklar verilmiştir. İkinci senaryoda ise lojistik kriterlerine sıfır ağırlık değeri verilmiştir. Lojistik sınıfına ait ağırlık değeri diğer iki ana kritere eşit şekilde paylaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara korunan alanlar (milli parklar, sit alanları, uçuş konisi, askeri alanlar vb.) ile eşikler (yerleşime 500 m, yollara ve su alanlarına 100 m, eğimi 20°'den fazla olan alanlar) eklenmiştir. Bu alanlar yerleşilemez alanlar olarak tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Elmalı, Korkuteli, Kaş ve Döşemealtı ilçeleri ile kentin kıyı kesimleri güneş tarlası yer seçimi için en uygun alanlar çıkmıştır. AHP sonucunda en çok uygun ve çok uygun sınıfları çalışma alanının %24,46'sına; TOPSIS ile elde edilen sonuçlarda ise bu oran çalışma alanının %34,93'üne karşılık gelmektedir. İki yöntem ile elde edilen alanların kesişimi alındığında ise çalışma alanının %15,28'inin güneş tarlaları yer seçimi açısından potansiyelinin çok yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında ise tespit edilen güncel güneş tarlaları verisi ile AHP ve TOPSIS alanlarının kesiştiği alanlar karşılaştırılmıştır. 138 adet güneş tarlası alanından 60 tanesinin kesişim alanında yer seçimi yaptığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada oluşturulan model ile farklı çalışma alanları üzerinde hızlı bir şekilde güneş tarlalarının tespiti yapılabilir. Aynı şekilde potansiyel alanların tespiti için de benzer iklimsel özellikler gösteren çalışma alanlarında bu çalışmada AHP ile elde edilen kriter ağırlık değerleri kullanılarak analiz yapılabilir. Yapılan çalışma, farklı çalışma alanlarında kullanılabilecek bir model oluşturması açısından önem taşımaktadır.

GEE kullanılarak yapılan bu çalışmada en çok karşılaşılan sorun kullanıcı hafıza limitinin aşılması olmuştur. Hafıza sorunu, kompozit görüntünün boyutu, sınıflandırılan haritaların boyutu ve bu görüntüler üzerinde uzun kodlar yazılarak analiz yapılması sebebiyle yaşanmıştır. Ancak, bu sorun üretilen görüntünün “varlık (asset)” olarak GEE platformu içerisine kaydedilmesi ile çözülmüştür. Görüntüyü tekrar işleyerek bir sonraki analizi yapmak yerine, doğrudan kaydedilmiş görüntü kod içerisine çağırılarak (import edilerek) analiz süreci yürütülmüştür. Ayrıca üretilen bu çözüm ile işlem süresi de oldukça kısaltılmıştır.

GEE uzaktan algılama alanında uydu görüntülerinin hızlı ve kolay bir şekilde ön işlemlerinin yapılmasına olanak tanıyarak, hazır bir şekilde geometrik ve radyometrik doğrulamaları yapılmış görüntüler sunsa da CBS alanında kullanılan diğer yazılımlar ile karşılaştırıldığında uzun kodlama süresi ve yazılım bilgisi gerektirmesi sebebiyle analizlerin daha uzun sürede ve zor şekilde yapılmasına sebebiyet vermiştir. Ancak diğer yandan kodlama yapılabilmesi yazılım içerisinde bulunmayan analiz işlemlerini ekleme konusunda da esneklik yaratmıştır. Örneğin, bu çalışmada olduğu gibi GEE içerisinde doğrudan AHP uygulama seçeneği bulunmamaktadır. Ancak dışarıdan eklenebilen dosyalar ve yazılan kod sayesinde platform içerisinde analiz uygulanabilmektedir. Yazılan kodun çalıştırılması ile harita üzerinde sonucun doğrudan görüntülenebilmesi ve istenilen şekilde görüntüleme üzerinde değişiklikler yapılabilmesi avantajlıdır.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında veya bu konuda çalışmak isteyen araştırmacılara güneş tarlalarının kurulumu için bütçe analizi yapmaları önerilebilir. Yatırımcıların kurulum yapılacak yer için karar verdikten sonra yaklaşık olarak ayırmaları gereken bütçe konusunda da fikir sahibi olmalarının iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Ayrıca güneş tarlaları yer seçimi konusunda mevcut kriterlere ek olarak mülkiyet durumu ve arazi maliyeti kriterlerini eklenebilir. Mülkiyet verisinin dahil edilmesi planlama açısından güneş tarlaları için yer seçimine uygun alanların belirlenmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Ek olarak, eğer çalışma alanı deprem bölgesinde yer alıyorsa fay hatlarının da kriterler arasına dahil edilmesi önerilmektedir.

Yapılan bu çalışmanın ülkemizin enerjide bağımsız olmasına ve 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi' ne ulaşılmasında yol gösterici bir kaynak olacağı düşünülmektedir. Bu çalışma ile güneş tarlaları için en az maliyetle en yüksek verimin alınabileceği potansiyel alan haritası oluşturulmaya çalışılmıştır. Gelecek çalışmalarda kentsel yerleşim alanlarında fotovoltaiik paneller için uygunluğun değerlendirilmesi ve derin öğrenme modellerinin kullanılması hedeflenmektedir.

Planlama çalışmalarında enerji alanlarına yönelik analizlerin yer almasının ülkemizin geleceği için önemli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kurumlar tarafından verilen güneş tarlası kurulum alanları izinlerinde şehir plancılarından onay alınması gelecek nesillere sürdürülebilir bir çevre bırakabilmek için oldukça önemlidir. Bu çalışma ile karar vericilere ve yatırımcılara kullanabilecekleri yol gösterici bir kaynak sunulmuştur. Ülkemizin enerjiye yönelik stratejik hedeflerini destekleyen ve yenilenebilir enerji kullanımına teşvik eden bir çalışma ortaya koyulmuştur.

7. KAYNAKLAR

- Açık, M. S. 2019. Konya, Karaman, Aksaray ve Niğde illerinde uygun arıcılık yerlerinin belirlenmesinde AHP ve TOPSİS yöntemlerinin incelenmesi. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi.
- Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., & Latif, K. 2005. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, 1(25), 29-42.
- Aksoy, S., Yildirim, A., Gorji, T., Hamzehpour, N., Tanik, A., & Sertel, E. 2022. Assessing The Performance Of Machine Learning Algorithms For Soil Salinity Mapping In Google Earth Engine Platform Using Sentinel-2A And Landsat-8 OLI Data. *Advances In Space Research*, 69(2), 1072-1086.
- Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. 2017. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied energy*, 206, 1225-1240.
- Alademomi, A. S., Okolie, C. J., Daramola, O. E., Akinnusi, S. A., Adediran, E., Olanrewaju, H. O., ... & Odumosu, J. 2022. The interrelationship between LST, NDVI, NDBI, and land cover change in a section of Lagos metropolis, Nigeria. *Applied Geomatics*, 14(2), 299-314.
- Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J., Smith, P., & Haines, A. 2016. The Impacts Of Dietary Change On Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, And Health: A Systematic Review. *Plos One*, 11 (11): 1-16.
- ANTAB. 2024. Antalya Turizm Koruma ve Gelişim Bölgesi Altyapı Hizmet Birliği. İklim. <https://antalya.com.tr/tr/antalya/iklim> [Son erişim tarihi: 05.11.2024].
- Aydın, E. 2020. Küresel iklim değişikliğinin güneş enerjisi özelinde yenilenebilir enerji potansiyeline etkisi ve arazi örtüsü ile ilişkisi: Van örneği. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Master's Thesis, Van, 68s.
- Bandira, P. N. A., Tan, M. L., Teh, S. Y., Samat, N., Shaharudin, S. M., Mahamud, M. A., ... & Samsudin, M. S. 2022. Optimal solar farm site selection in the george town conurbation using GIS-based multi-criteria decision making (MCDM) and NASA POWER data. *Atmosphere*, 13(12), 2105.
- Bartoszek, K., Matuszko, D., & Soroka, J. 2020. Relationships between cloudiness, aerosol optical thickness, and sunshine duration in Poland. *Atmospheric Research*, 245, 105097.
- Basheer, S., Wang, X., Farooque, A. A., Nawaz, R. A., Liu, K., Adekanmbi, T., & Liu, S. 2022. Comparison Of Land Use Land Cover Classifiers Using Different Satellite Imagery And Machine Learning Techniques. *Remote Sensing*, 14(19), 4978.
- Belgiu, M., & Drăguț, L. 2016. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 114, 24-31.
- Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı. 2024. Küresel Amaçlar. <https://www.kureselamaclar.org/> [Son erişim tarihi: 05.05.2025].

- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R. A., & Stone, C. J. 2017. Classification and regression trees. Chapman and Hall/CRC.
- Broxton, P. D., Zeng, X., Sulla-Menashe, D., & Troch, P. A. 2014. A global land cover climatology using MODIS data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 53(6), 1593-1605.
- Cahoon, D. R., & Guntenspergen, G. R. 2010. İklim Değişikliği, Deniz Seviyesinin Yükselmesi ve Kıyı Sulak Alanları. *Ulusal Sulak Alanlar Bülteni*, 32(1), 8-12.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. 2011. Introduction to Remote Sensing: 5. Versiyon. Guilford Yayınları, New York, 667 s.
- Camps-Valls, G., & Bruzzone, L. (Eds.). 2009. Kernel Methods For Remote Sensing Data Analysis. John Wiley & Sons.
- Carrion, J., A. Espi'n Estrella, F. Aznar Dols, M. Zamorano Toro, M. Rodri'guez, A. Ramos Ridao, 2008. Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 12. 2358e2380, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.011>.
- Castillo, C. P., Silva, F. e., & Lavallae, C. 2016. An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28. *Energy Policy*, 88: 86-99.
- Chen, C.R., Huang, C.C., Tsuei, H.J. 2014. A hybrid MCDM model for improving GIS-based solar farms site selection, *Int. J. Photoenergy*, <https://doi.org/10.1155/2014/925370>.
- Chen, H., Yunus, A. P., Nukapothula, S., & Avtar, R. 2022. Modelling Arctic Coastal Plain Lake Depths Using Machine Learning And Google Earth Engine. *Physics And Chemistry Of The Earth, Parts A/B/C*, 103138.
- Chen, Z., Kang, Y., Sun, Z., Wu, F., & Zhang, Q. 2022. Extraction of photovoltaic plants using machine learning methods: a case study of the pilot energy city of Golmud, China. *Remote Sensing*, 14(11), 2697.
- Childs, C. 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser*, July-September, 3235(569), 32-35.
- Chung, L. C. H., Xie, J., & Ren, C. 2021. Improved Machine-Learning Mapping Of Local Climate Zones In Metropolitan Areas Using Composite Earth Observation Data In Google Earth Engine. *Building And Environment*, 199, 107879.
- Colak, H. E., Memisoglu, T., & Gercek, Y. 2020. Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey. *Renewable energy*, 149, 565-576.
- Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.

- Costa, M. V. C. V. D., Carvalho, O. L. F. D., Orlandi, A. G., Hirata, I., Albuquerque, A. O. D., Silva, F. V. E., ... & Júnior, O. A. D. C. 2021. Remote Sensing For Monitoring Photovoltaic Solar Plants In Brazil Using Deep Semantic Segmentation. *Energies*, 14(10), 2960.
- Cutler, A., Cutler, D. R., & Stevens, J. R. 2012. Random forests. *Ensemble machine learning: Methods and applications*, 157-175.
- D. Jun, F. Tian-tian, Y. Yi-sheng, M. Yu. 2014. Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on ELECTRE-II, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 35. 194e204, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.005>.
- De'ath, G., & Fabricius, K. E. 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 81(11), 3178-3192.
- Demir, A., Dincer, A. E., & Yılmaz, K. 2023. A novel method for the site selection of large-scale PV farms by using AHP and GIS: a case study in İzmir, Türkiye. *Solar Energy*, 259, 235-245.
- Deng, Y., Wu, C., Li, M., & Chen, R. 2015. RNDISI: A ratio normalized difference soil index for remote sensing of urban/suburban environments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 40-48.
- Diek, S., Fornallaz, F., Schaepman, M. E., & de Jong, R. 2017. Barest Pixel Composite for Agricultural Areas Using Landsat Time Series. *Remote Sensing*, 9(12). <https://doi.org/ARTN 124510.3390/rs9121245>
- Doljak, D., Stanojevic, G. 2017. Evaluation of natural conditions for site selection of groundmounted photovoltaic power plants in Serbia, *Energy* 127. 291e300, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.140>.
- Durmazbilek, S. 2021. Land Cover Classification Using Cloud-Based Machine Learning Techniques: A Case Study From Istanbul Metropolitan City (Yüksek Lisans Tezi / İstanbul Teknik Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Effat, H.A. 2013. Selection of potential sites for solar energy farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and multicriteria analysis, *Cloud Publ. Int. J. Adv. Remote Sens. GIS* 2. 205e220.
- Ekinci, Ö. 2022. GIS-Based Determination of Suitable Agricultural Areas and Comparison with Current Land Use, the Case Study of İzmir (Master's thesis, Izmir Institute of Technology (Turkey)).
- El-Azab, R., & Amin, A. 2015. Optimal solar plant site selection. *SoutheastCon 2015*, 1-6.
- Enerji Atlası. 2024. Antalya Güneş Enerji Potansiyeli Atlası. <https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/antalya> [Son erişim tarihi: 05.11.2024].
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2022. Elektrik, Erişim Adresi: <https://Enerji.Gov.Tr/Bilgi-MerkeziEnerjielektrik#:~:Text=2022%20y%C4%B1%C4%B1%20Ekim%20ay%C4%B1%20sonu,%20ise%20di%C4%9Fer%20kaynaklar%20%C5%9Feklindedir.> [Son erişim Tarihi: 07.12.2022].

- ESA. 2025. European Space Agency. Sentinel 2. Erişim Adresi: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission#S2-Mission-MSI-Instrument> [Son erişim tarihi: 20.07.1995].
- Fadhil, A. M. 2013. Sand dunes monitoring using remote sensing and GIS techniques for some sites in Iraq. In PIAGENG 2013: Intelligent information, control, and communication technology for agricultural engineering (Vol. 8762, pp. 28-36). SPIE.
- Feizizadeh, B., Omarzadeh, D., Kazemi Garajeh, M., Lakes, T., & Blaschke, T. 2021. Machine Learning Data-Driven Approaches For Land Use/Cover Mapping And Trend Analysis Using Google Earth Engine. *Journal Of Environmental Planning And Management*, 1-33.
- Gao, B. C. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
- GEE. 2025. <https://code.earthengine.google.com/> [Son erişim tarihi: 20.07.2025].
- GEPA. 2022. <Http://Www.Eie.Gov.Tr/Mycalculator/Default.aspx> [Son erişim tarihi: 12.11.2015].
- GEPA. 2024. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. Güneş Enerji Potansiyel Atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/7.aspx> [Son erişim tarihi: 29.08.2024].
- Gherboudj, I., & Ghedira, H. 2016. Assessment of solar energy potential over the United Arab Emirates using remote sensing and weather forecast data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 1210–1224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.099>
- Guo, S., & Zhao, H. 2015. Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Applied Energy*, 158, 390-402.
- Guth, P. L., Van Niekerk, A., Grohmann, C. H., Muller, J. P., Hawker, L., Florinsky, I. V., ... & Strobl, P. 2021. Digital elevation models: Terminology and definitions. *Remote Sensing*, 13(18), 3581.
- Günen, M. A. 2021. A comprehensive framework based on GIS-AHP for the installation of solar PV farms in Kahramanmaraş, Turkey. *Renewable Energy*, 178, 212-225.
- Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309.
- Hulley, G. C., Ghent, D., Götsche, F. M., Guillevic, P. C., Mildrexler, D. J., & Coll, C. 2019. Land surface temperature. In G. C. Hulley & D. Ghent (Eds.), *Taking the temperature of the Earth* (pp. 57–127). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814458-9.00003-4>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. 1981. Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey* (pp. 58-191). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Hwang, H. P. C., Ku, C. C. Y., & Chan, J. C. C. 2021. Detection of malfunctioning photovoltaic modules based on machine learning algorithms. *IEEE access*, 9, 37210-37219.
- Ibrahim, M., Alsheikh, A., Awaysheh, F. M., & Alshehri, M. D. 2022. Machine learning schemes for anomaly detection in solar power plants. *Energies*, 15(3), 1082.
- Ioannou, K., & Myronidis, D. 2021. Automatic Detection Of Photovoltaic Farms Using Satellite Imagery And Convolutional Neural Networks. *Sustainability*, 13(9), 5323.
- Jansson, J. K., & Hofmockel, K. S. 2020. Toprak Mikrobiyomları ve İklim Değişikliği. *Nature Reviews Microbiology*, 18(1), 35-46.
- Jensen, J. R. 2005. Thematic map accuracy assessment. *Introductory digital image processing—a remote sensing perspective*, 495-515.
- Jeppesen, J. H., Jacobsen, R. H., Inceoglu, F., & Toftegaard, T. S. 2019. A cloud detection algorithm for satellite imagery based on deep learning. *Remote sensing of environment*, 229, 247-259.
- Jiang, W., Tian, B., Duan, Y., Chen, C., & Hu, Y. 2023. Rapid mapping and spatial analysis on the distribution of photovoltaic power stations with Sentinel-1&2 images in Chinese coastal provinces. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 118, 103280.
- Jin, M., Dickinson, R. E., & Zhang, D. A. 2005. The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS. *Journal of climate*, 18(10), 1551-1565.
- Kayman, Ö. 2015. Spektral indekslerin arazi örtüsü/kullanımı sınıflandırmasına etkisi: İstanbul, Beylikdüzü ilçesi arazi kullanımı değişimi.
- Kırcalı, Ş., & 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.
- Koc, A., Turk, S., & Şahin, G. 2019. Multi-criteria of wind-solar site selection problem using a GIS-AHP-based approach with an application in Iğdir Province/Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 32298-32310.
- Koc-San, D., San, B. T., Bakis, V., Helvacı, M., & Eker, Z. 2013. Multi-Criteria Decision Analysis Integrated With GIS And Remote Sensing For Astronomical Observatory Site Selection In Antalya Province, Turkey. *Advances In Space Research*, 52(1), 39-51.
- Kültür ve Turizm Bakanlığı. 2012. Düünden Bugüne Antalya. T.C. Antalya Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları, Antalya, 488 s.
- L.Breiman, 2001. “Randomforests” *Mach. Learn.* 45(1), 5–32 <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Lee, H.-Y. Kang, Y.-J. Liou. 2017. A hybrid multiple-criteria decision-making approach for photovoltaic solar plant location selection, *Sustainability* 9.184, <https://doi.org/10.3390/su9020184>.

- Leeuw, J., Jia, H., Yang, L., Liu, X., Schmidt, K., & Skidmore, A. K. 2006. Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods. *International Journal of Remote Sensing*, 27(1), 223-232.
- Loukika, K. N., Keesara, V. R., & Sridhar, V. 2021. Analysis Of Land Use And Land Cover Using Machine Learning Algorithms On Google Earth Engine For Munneru River Basin, India. *Sustainability*, 13(24), 13758.
- Lyu, X., Li, X., Wei, H., Wu, J., Dang, D., Zhang, C., ... & Lou, A. 2024. Mapping of utility-scale solar panel areas from 2000 to 2022 in China using Google Earth Engine. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.
- Mangkhaseum, S., & Hanazawa, A. 2021. Comparison Of Machine Learning Classifiers For Land Cover Changes Using Google Earth Engine. In 2021 IEEE International Conference On Aerospace Electronics And Remote Sensing Technology (ICARES) (Pp. 1-7). IEEE.
- McFeeters, S. K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Merrouni, A. A., Elalaoui, F. E., Mezhab, A., Mezhab, A., & Ghennioui, A. 2018. Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco. *Renewable energy*, 119, 863-873.
- Mohammad, M. S. M. 2023. Analysis Of Land Use/Land Cover Characteristics By Different Indexes And Remote Sensing Methods: A Case Study Of Erbil City (Doctoral Dissertation).
- Moisen, G. G. 2008. Classification and regression trees. In: Jørgensen, Sven Erik; Fath, Brian D. (Editor-in-Chief). *Encyclopedia of Ecology*, volume 1. Oxford, UK: Elsevier. p. 582-588., 582-588.
- Moreira, R. M., Paranhos Filho, A. C., & Sieber, S. 2022. A novel Water-Food-Energy nexus approach integrating Analytic Hierarchy Process and Google Earth Engine using global datasets for photovoltaic energy generation. *Renewable Energy Focus*, 43, 210-227.
- NASA JPL. 2020. NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2020-12-30 from doi:10.5067/measures/nasadem/nasadem_hgt.001
- Nazari, M. A., Aslani, A., & Ghasempour, R. 2018. Analysis of solar farm site selection based on TOPSIS approach. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development (IJSESD)*, 9(1), 12-25.
- Noorollahi, E., Fadaei, D., Akbarpour Shirazi, M., & Ghodsipour, S. 2016. Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP): A case study of Iran. *Energies*, 9(8), 643. <https://doi.org/10.3390/en9080643>
- Onuoha, H., Denwigwe, I., Babatunde, O., Abdulsalam, K. A., Adebisi, J., Emezirinwune, M., ... & Hamam, Y. 2025. Integrating GIS and AHP for Photovoltaic Farm Site Selection: A Case Study of Ikorodu, Nigeria. *Processes*, 13(1), 164.

OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org> [Son erişim tarihi: 20.07.2024].

Önüt, S., & Soner, S. 2008. Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment. *Waste management*, 28(9), 1552-1559.

Özer, T., & Türkmen, Ö. 2024. An approach based on deep learning methods to detect the condition of solar panels in solar power plants. *Computers and Electrical Engineering*, 116, 109143.

Pan, X., Wang, Z., Gao, Y., Dang, X., & Han, Y. 2022. Detailed And Automated Classification Of Land Use/Land Cover Using Machine Learning Algorithms İn Google Earth Engine. *Geocarto International*, 37(18), 5415-5432.

Pan, X., Zhu, X., Yang, Y., Cao, C., Zhang, X., & Shan, L. 2018. Applicability of downscaling land surface temperature by using normalized difference sand index. *Scientific reports*, 8(1), 9530.

Pande, C. B. 2022. Land use/land cover and change detection mapping in Rahuri watershed area (MS), India using the google earth engine and machine learning approach. *Geocarto International*, 37(26), 13860-13880.

Pech-May, F., Aquino-Santos, R., Rios-Toledo, G., & Posadas-Durán, J. P. F. 2022. Mapping of land cover with optical images, supervised algorithms, and google earth engine. *Sensors*, 22(13), 4729.

Pınar, A., Buldur, A., & Tuncer, T. 2020. Türkiye'deki Güneş Enerji Santralleri Dağılışınnın Coğrafi Perspektiften Analizi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(69), 167-182.

Pimentel, D., Hurd, L., Bellotti, A., Forster, M., Oka, I., Sholes, O., et al. 1973. Food Production and the Energy Crisis. *Science*, 182 (4111): 443-449.

Pizarro, S. E., Pricope, N. G., Vargas-Machuca, D., Huanca, O., & Ñaupari, J. 2022. Mapping Land Cover Types For Highland Andean Ecosystems İn Peru Using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(7), 1562.

Plakman, V., Rosier, J., & Van Vliet, J. 2022. Solar Park Detection From Publicly Available Satellite İmagery. *Giscience & Remote Sensing*, 59(1), 461-480.

Qi, Y. 2012. Random forest for bioinformatics. In *Ensemble Machine Learning*, 307-323.

Rane, N. L., Achari, A., Choudhary, S. P., Mallick, S. K., Pande, C. B., Srivastava, A., & Moharir, K. N. 2023. A decision framework for potential dam site selection using GIS, MIF and TOPSIS in Ulhas river basin, India. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138890.

Rekik, S., & El Alimi, S. 2023. Optimal wind-solar site selection using a GIS-AHP based approach: a case of Tunisia. *Energy Conversion and Management: X*, 18, 100355.

Rikalovic, A., Cosic, I., & Lazarevic, D. 2014. GIS Based Multi-Criteria Analysis For İndustrial Site Selection. *Procedia Engineering*, 69, 1054-1063.

- Rikimaru, A., Roy, P. S., & Miyatake, S. 2002. Tropical forest cover density mapping. *Tropical ecology*, 43(1), 39-47.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation (No. NASA-CR-132982).
- Rumbayan. M., K. 2012. Nagasaka, Prioritization decision for renewable energy development using analytic hierarchy process and geographic information system, in: *Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS) 2012 International Conference on*. IEEE 2012. Tokyo, Japan 2012, pp. 36e41.
- S. Sindhu, V. Nehra, S. Luthra. 2017. Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: case study of India, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 73496e511, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.135>.
- Sa'nchez-Lozano, J.M., J. Teruel-Solano, P.L. Soto-Elvira, M. Socorro Garcí'a-Cascales. 2013. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: case study in southeastern Spain, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 24. 544e556, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>.
- Saaty, T.L. 1980 *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill. International, Translated to Russian, Portuguese, and Chinese, Revised editions, Paperback (1996 2000), Pittsburgh: RWS Publications.
- Sanchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P., & Garcia-Cascales, S. 2013. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24 (2013): 544-556.
- Selim, S., Koc-San, D., Selim, C., & San, B. T. 2018. Site Selection For Avocado Cultivation Using GIS And Multi-Criteria Decision Analyses: Case Study Of Antalya, Turkey. *Computers And Electronics In Agriculture*, 154, 450-459.
- Sentinel Hub Custom Scripts. 2025. Sentinel-2 Bands.<https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/> [Son erişim tarihi: 20.07.2025].
- Serbouti, I., Raji, M., Hakdaoui, M., El Kamel, F., Pradhan, B., Gite, S., ... & Dikshit, A. 2022. Improved Lithological Map Of Large Complex Semi-Arid Regions Using Spectral And Textural Datasets Within Google Earth Engine And Fused Machine Learning Multi-Classifiers. *Remote Sensing*, 14(21), 5498.
- Setianto, A., & Triandini, T. 2013. Comparison of kriging and inverse distance weighted (IDW) interpolation methods in lineament extraction and analysis. *Journal of Applied Geology*, 5(1).
- Shaharum, N. S. N., Shafri, H. Z. M., Ghani, W. A. W. A. K., Samsatli, S., Al-Habshi, M. M. A., & Yusuf, B. 2020. Oil Palm Mapping Over Peninsular Malaysia Using Google Earth Engine And Machine Learning Algorithms. *Remote Sensing Applications: Society And Environment*, 17, 100287.

- Sheykhoumou, M., Mahdianpari, M., Ghanbari, H., Mohammadimanesh, F., Ghamisi, P., & Homayouni, S. 2020. Support vector machine versus random forest for remote sensing image classification: A meta-analysis and systematic review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 6308-6325.
- SHURA. 2025. Türkiye Enerji Dönüşümü Görünümü. 2024. <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2025/04/SHURA-EDM-Turkiye-Enerji-Donusumu-Gorunumu-Raporu-Infografik-16.04.2025.pdf>. Sf 4. [Son Erişim Tarihi: 30.07.2025]
- Suárez, R. R., & Villaseñor, E. 2021. Cemetery Detection Using Satellite Images In Google Earth Engine. In 2021 IEEE International Autumn Meeting On Power, Electronics And Computing (ROPEC) (Vol. 5, Pp. 1-5). IEEE.
- Sulova, A., & Jokar Arsanjani, J. 2020. Exploratory Analysis Of Driving Force Of Wildfires In Australia: An Application Of Machine Learning Within Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(1), 10.
- Supe, H., Avtar, R., Singh, D., Gupta, A., Yunus, A. P., Dou, J., ... & Kharrazi, A. 2020. Google earth engine for the detection of soiling on photovoltaic solar panels in arid environments. *Remote Sensing*, 12(9), 1466.
- Şahin, T., Ocak, S., & Top, M. 2019. Analytic Hierarchy Process For Hospital Site Selection. *Health Policy And Technology*, 8(1), 42-50.
- Şener, B., Süzen, M. L., & Doyuran, V. 2006. Landfill Site Selection By Using Geographic Information Systems. *Environmental Geology*, 49(3), 376-388.
- Şimşek, B & Bizkevelci E. 2013. E. Fotovoltaik Güneş Elektrik Santrallerinin Alçak Gerilim Şebekesine Bağlantı Esasları.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2022. Türkiye Ulusal Enerji Planı. <https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=20317> [Son Erişim Tarihi: 30.07.2025]
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2025. Enerji. <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21520> [Son Erişim Tarihi: 20.07.2025]
- T.C. Ticaret Bakanlığı. 2025. Yeşil Mutabakat. <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/genel-bilgi> [Son Erişim Tarihi: 30.07.2025]
- T.C. Ticaret Bakanlığı. 2025. Avrupa Birliği Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması. <https://ticaret.gov.tr/data/65dc9d3113b8762768385d66/Ticaret%20Bakanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20SKDM%20Sunum-23022024.pdf> [Son Erişim Tarihi: 30.07.2025]
- Tahri, M., M. Hakdaoui, M. Maanan, 2015. The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-criteria decision-making methods: case study in southern Morocco, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 51. 1354e1362, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.054>.
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. 2020. Google Earth Engine For Geo-Big Data Applications: A Meta-Analysis And Systematic Review. *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, 164, 152-170.

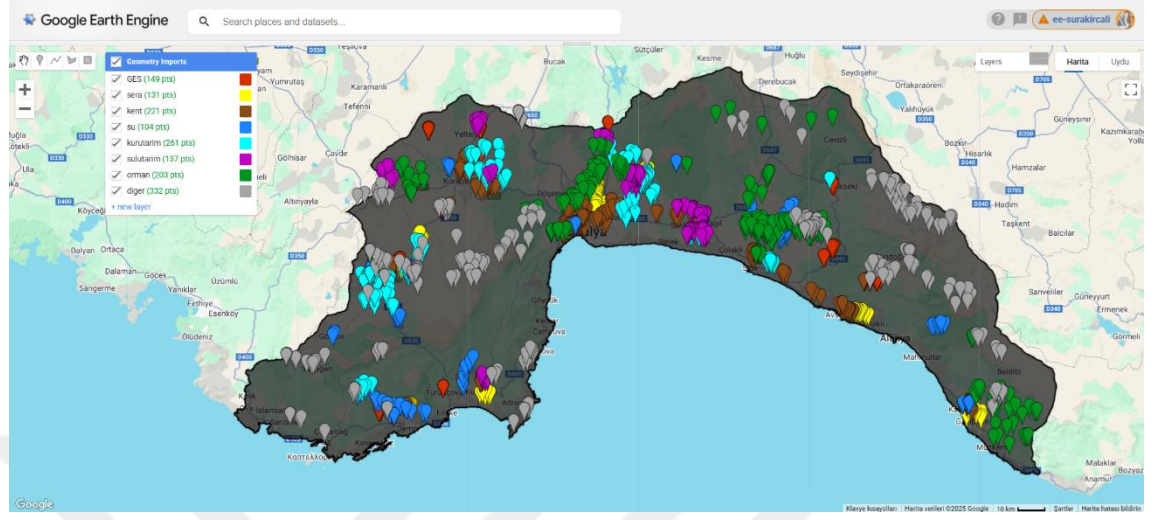
- Tassi, A., & Vizzari, M. 2020. Object-Oriented Lulc Classification İn Google Earth Engine Combining Snic, Glem, And Machine Learning Algorithms. *Remote Sensing*, 12(22), 3776.
- Tavares, P. A., Beltrão, N. E. S., Guimarães, U. S., & Teodoro, A. C. 2019. Integration Of Sentinel-1 And Sentinel-2 For Classification And LULC Mapping İn The Urban Area Of Belém, Eastern Brazilian Amazon. *Sensors*, 19(5), 1140.
- TEİAŞ. 2023. 2024-2028 Stratejik Planı. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. <https://www.teias.gov.tr/stratejik-plan> [Son erişim tarihi: 16 Aralık 2024].
- Tercan, E., Eymen, A., Urfalı, T., & 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, 105272.
- Tercan, E., Saracoglu, B. O., Bilgilioğlu, S. S., Eymen, A., & Tapkın, S. 2020. Geographic information system-based investment system for photovoltaic power plants location analysis in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-26.
- Timofeev, R. 2004. Classification and regression trees (CART) theory and applications. Humboldt University, Berlin, 39s.
- Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez, S. N., & Ray, T. 1998. Multi-criteria decision making: an operations research approach. *Encyclopedia of electrical and electronics engineering*, 15(1998), 175-186.
- Tu, Y., Lang, W., Yu, L., Li, Y., Jiang, J., Qin, Y., ... & Xu, B. 2020. Improved Mapping Results Of 10 M Resolution Land Cover Classification İn Guangdong, China Using Multisource Remote Sensing Data With Google Earth Engine. *Ieee Journal Of Selected Topics İn Applied Earth Observations And Remote Sensing*, 13, 5384-5397.
- Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- Tunc, A., Tuncay, G., Alacakanat, Z., & Sevimli, F. S. 2019. GIS based solar power plants site selection using Analytic Hierarchy Process (Ahp) İn Istanbul, Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 1353-1360.
- TÜİK. 2024. Türkiye İstatistik Kurumu. Merkezi Dağıtım Sistemi. Elektrik Tüketimi. Antalya. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=147&locale=tr> [Son erişim tarihi: 20.07.2025].
- TÜİK. 2024. Türkiye İstatistik Kurumu. Yıllara Göre İl Nüfusları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonucari-2023-49684> [Son erişim tarihi: 06.11.2024].
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Polation Division. 2022. World Population Prospects 2022 – Summary of Results (UN DESA/POP/2021/TR/NO. 3).

- USGS. 2025. Landsat 9 Collection 2 Tier 1 TOA Reflectance. https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/LANDSAT_LC09_C02_T1_TOA?hl=tr#description. [Son erişim tarihi: 20.07.2025].
- Uyan, M. 2013. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey, Renew. Sustain. Energy Rev. 28. 11e17, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042>.
- Vafaeipour, M., Hashemkhani S. Zolfani, M.H. Morshed Varzandeh, A. Derakhti, M. Keshavarz Eshkalag. 2014. Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: new application of a hybrid multi-criteria decision making approach, Energy Convers. Manag. 86. 653e663, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.083>.
- Vapnik, V. N. 1995. The Nature of Statistical Learning Theory, New York: Springer-Verlag, ISBN 0-387-94559-8.
- Vasku, M. 2019. An exploration of automatic detection of large-scale solar plants: application of. Geografia-Malaysian Journal of Society and Space, 5(1), 1-10.
- Vincent, R.K. 2003. RADAR | Synthetic Aperture Radar (Land Surface Applications). Academic Press, pp 1851-1859.
- Wang, G., Qin, L., Li, G., & Chen, L. 2009. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: a case study in Beijing, China. Journal of environmental management, 90(8), 2414-2421.
- Wang, J., Chen, X., Shi, T., Hu, L., Shi, W., Du, Z., ... & Sui, H. 2024. Mapping national-scale photovoltaic power stations using a novel enhanced photovoltaic index and evaluating carbon reduction benefits. Energy Conversion and Management, 318, 118894.
- Waring, R. H., Coops, N. C., Fan, W., & Nightingale, J. M. 2006. MODIS enhanced vegetation index predicts tree species richness across forested ecoregions in the contiguous USA. Remote Sensing of Environment, 103(2), 218-226.
- Watson, J.J.W., Hudson, M.D. 2015. Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation, Landsc. Urban Plan 138. 2015. 20e31, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.001>.
- Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International journal of remote sensing, 27(14), 3025-3033.
- Yang, J., Awan, A. J., & Vall-Llosera, G. 2019. Support vector machines on noisy intermediate scale quantum computers. arXiv preprint arXiv:1909.11988.
- Yao, J., Wu, J., Xiao, C., Zhang, Z., & Li, J. 2022. The classification method study of crops remote sensing with deep learning, machine learning, and Google Earth engine. Remote Sensing, 14(12), 2758.
- Yılmaz, Ç. Ş. 2022. Improving the land cover mapping accuracy of the Sentinel-2 imagery on Google Earth Engine. Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi, 3(2), 150-159.

- Yılmaz, O. S. 2021. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Yüzen Fotovoltaik Güç Santrallerinin Değerlendirilmesi: Demirköprü Barajı Örneği (Yüksek Lisans Tezi / Yıldız Teknik Üniversitesi / Harita Mühendisliği)
- Yılmaz, İ., Kocer, A., & Aksoy, E. 2024. Site selection for solar power plants using GIS and fuzzy analytic hierarchy process: Case study of the western mediterranean region of Türkiye. *Renewable Energy*, 237, 121799.
- Yunna, W., Geng. 2014. S. Multi-criteria decision making on selection of solarewind hybrid power station location: a case of China, *Energy Convers. Manag.* 81. 527e533, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.056>.
- Zhang, H., Tian, P., Zhong, J., Liu, Y., & Li, J. 2023. Mapping photovoltaic panels in coastal China using Sentinel-1 and Sentinel-2 images and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 15(15), 3712.
- Zhang, X., Xu, M., Wang, S., Huang, Y., & Xie, Z. 2022. Mapping photovoltaic power plants in China using Landsat, random forest, and Google Earth Engine. *Earth System Science Data*, 14(8), 3743-3755.
- Zhang, X., Zeraatpisheh, M., Rahman, M. M., Wang, S., & Xu, M. 2021. Texture Is Important In Improving The Accuracy Of Mapping Photovoltaic Power Plants: A Case Study Of Ningxia Autonomous Region, China. *Remote Sensing*, 13(19), 3909.
- Zhao, Z., Islam, F., Waseem, L. A., Tariq, A., Nawaz, M., Islam, I. U., ... & Hatamleh, W. A. 2024. Comparison of three machine learning algorithms using google earth engine for land use land cover classification. *Rangeland ecology & management*, 92, 129-137.
- Zheng, H., Du, P., Chen, J., Xia, J., Li, E., Xu, Z., ... & Yokoya, N. 2017. Performance Evaluation Of Downscaling Sentinel-2 Imagery For Land Use And Land Cover Classification By Spectral-Spatial Features. *Remote Sensing*, 9(12), 1274.
- Zhou, L., Luo, T., Du, M., Chen, Q., Liu, Y., Zhu, Y., ... & Yang, K. 2021. Machine Learning Comparison And Parameter Setting Methods For The Detection Of Dump Sites For Construction And Demolition Waste Using The Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(4), 787.
- Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., javad Amiri, M., & Karimi, S. 2017. Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 986-996.

8. EKLER

Ek 1. Arazi kullanımı sınıflandırmasında toplanan örneklemeler



Ek 2. İklim kriteri için Uzman 1 ve Uzman 2'ye ait görüşler

	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	1	1	5	3	5
Güneşlenme Süresi	1	1	5	3	5
Yıllık Ortalama Sıcaklık	1/5	1/5	1	1/3	1
Yıllık Ortalama Yağış	1/3	1/3	3	1	3
Nemlilik	1/5	1/5	1	1/3	1
Toplam	2.733	2.733	15.000	7.667	15.000
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	0.366	0.366	0.333	0.391	0.333
Güneşlenme Süresi	0.366	0.366	0.333	0.391	0.333
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.073	0.073	0.067	0.043	0.067
Yıllık Ortalama Yağış	0.122	0.122	0.200	0.130	0.200
Nemlilik	0.073	0.073	0.067	0.043	0.067
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Güneş Radyasyonu	0.358		1.826779781	5.104	
Güneşlenme Süresi	0.358		1.826779781	5.104	
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.065		0.324057971	5.014	
Yıllık Ortalama Yağış	0.155		0.781274891	5.045	
Nemlilik	0.065		0.324057971	5.014	
Toplam	1.000				
		UZMAN 1			
		Max Özdeğer	5.056		
		CI	0.014		
		CR	0.013		
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	1	1/5	1/3	1/3	1/3
Güneşlenme Süresi	5	1	3	3	3
Yıllık Ortalama Sıcaklık	3	1/3	1	1	1
Yıllık Ortalama Yağış	3	1/3	1	1	1
Nemlilik	3	1/3	1	1	1
Toplam	15.000	2.200	6.333	6.333	6.333
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	0.067	0.091	0.053	0.053	0.053
Güneşlenme Süresi	0.333	0.455	0.474	0.474	0.474
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.200	0.152	0.158	0.158	0.158
Yıllık Ortalama Yağış	0.200	0.152	0.158	0.158	0.158
Nemlilik	0.200	0.152	0.158	0.158	0.158
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Güneş Radyasyonu	0.063		0.316491228	5.016	
Güneşlenme Süresi	0.442		2.24261563	5.076	
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.165		0.831664009	5.039	
Yıllık Ortalama Yağış	0.165		0.831664009	5.039	
Nemlilik	0.165		0.831664009	5.039	
Toplam	1.000				
		UZMAN 2			
		Max Özdeğer	5.042		
		CI	0.010		
		CR	0.009		

Ek 3. İklim kriteri için Uzman 3 ve Uzman 4'e ait görüşler

	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	1	1/3	7	5	3
Güneşlenme Süresi	3	1	9	5	5
Yıllık Ortalama Sıcaklık	1/7	1/9	1	1/3	1/5
Yıllık Ortalama Yağış	1/5	1/5	3	1	1/3
Nemlilik	1/3	1/5	5	3	1
Toplam	4.676	1.844	25.000	14.333	9.533
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	0.214	0.181	0.280	0.349	0.315
Güneşlenme Süresi	0.642	0.542	0.360	0.349	0.524
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.031	0.060	0.040	0.023	0.021
Yıllık Ortalama Yağış	0.043	0.108	0.120	0.070	0.035
Nemlilik	0.071	0.108	0.200	0.209	0.105
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Güneş Radyasyonu	0.268		1.466074827	5.478	
Güneşlenme Süresi	0.483		2.67115926	5.526	
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.035		0.179767153	5.135	
Yıllık Ortalama Yağış	0.075		0.376668542	5.010	
Nemlilik	0.139		0.725257675	5.226	
Toplam	1.000				
		UZMAN 3			
		Max Özdeğer	5.275		
		CI	0.069		
		CR	0.061		
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	1	1/3	1	1	1
Güneşlenme Süresi	3	1	3	3	3
Yıllık Ortalama Sıcaklık	1	1/3	1	1	1
Yıllık Ortalama Yağış	1	1/3	1	1	1
Nemlilik	1	1/3	1	1	1
Toplam	7.000	2.333	7.000	7.000	7.000
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
Güneşlenme Süresi	0.429	0.429	0.429	0.429	0.429
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
Yıllık Ortalama Yağış	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
Nemlilik	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Güneş Radyasyonu	0.143		0.714285714	5.000	
Güneşlenme Süresi	0.429		2.142857143	5.000	
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.143		0.714285714	5.000	
Yıllık Ortalama Yağış	0.143		0.714285714	5.000	
Nemlilik	0.143		0.714285714	5.000	
Toplam	1.000				
		UZMAN 4			
		Max Özdeğer	5.000		
		CI	0.000		
		CR	0.000		

Ek 4. İklim kriteri için Uzman 5 ve Uzman 6'ya ait görüşler

	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	1	1	5	3	3
Güneşlenme Süresi	1	1	5	3	3
Yıllık Ortalama Sıcaklık	1/5	1/5	1	1/3	1/3
Yıllık Ortalama Yağış	1/3	1/3	3	1	1
Nemlilik	1/3	1/3	3	1	1
Toplam	2.867	2.867	17.000	8.333	8.333
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	0.349	0.349	0.294	0.360	0.360
Güneşlenme Süresi	0.349	0.349	0.294	0.360	0.360
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.070	0.070	0.059	0.040	0.040
Yıllık Ortalama Yağış	0.116	0.116	0.176	0.120	0.120
Nemlilik	0.116	0.116	0.176	0.120	0.120
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Güneş Radyasyonu	0.342		1.741909713	5.088	
Güneşlenme Süresi	0.342		1.741909713	5.088	
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.056		0.279152212	5.014	
Yıllık Ortalama Yağış	0.130		0.654865481	5.045	
Nemlilik	0.130		0.654865481	5.045	
Toplam	1.000				
		UZMAN 5			
		Max Özdeğer	5.056		
		CI	0.014		
		CR	0.013		
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	1	1/7	1/5	1/3	1/5
Güneşlenme Süresi	7	1	3	5	3
Yıllık Ortalama Sıcaklık	5	1/3	1	3	1
Yıllık Ortalama Yağış	3	1/5	1/3	1	1/3
Nemlilik	5	1/3	1	3	1
Toplam	21.000	2.010	5.533	12.333	5.533
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	0.048	0.071	0.036	0.027	0.036
Güneşlenme Süresi	0.333	0.498	0.542	0.405	0.542
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.238	0.166	0.181	0.243	0.181
Yıllık Ortalama Yağış	0.143	0.100	0.060	0.081	0.060
Nemlilik	0.238	0.166	0.181	0.243	0.181
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Güneş Radyasyonu	0.044		0.220200251	5.050	
Güneşlenme Süresi	0.464		2.423716142	5.222	
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.202		1.042571187	5.168	
Yıllık Ortalama Yağış	0.089		0.446920806	5.034	
Nemlilik	0.202		1.042571187	5.168	
Toplam	1.000				
		UZMAN 6			
		Max Özdeğer	5.128		
		CI	0.032		
		CR	0.029		

Ek 5. İklim kriteri için Uzman 7 ve Uzman 8'e ait görüşler

	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	1	1/5	1/3	3	5
Güneşlenme Süresi	5	1	3	7	9
Yıllık Ortalama Sıcaklık	3	1/3	1	5	7
Yıllık Ortalama Yağış	1/3	1/7	1/3	1	3
Nemlilik	1/5	1/9	1/7	1/3	1
Toplam	9.533	1.787	4.810	16.333	25.000
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	0.105	0.112	0.069	0.184	0.200
Güneşlenme Süresi	0.524	0.560	0.624	0.429	0.360
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.315	0.187	0.208	0.306	0.280
Yıllık Ortalama Yağış	0.035	0.080	0.069	0.061	0.120
Nemlilik	0.021	0.062	0.030	0.020	0.040
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Güneş Radyasyonu	0.134		0.712668679	5.320	
Güneşlenme Süresi	0.499		2.769634484	5.547	
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.259		1.435317683	5.541	
Yıllık Ortalama Yağış	0.073		0.379362917	5.191	
Nemlilik	0.035		0.178284314	5.145	
Toplam	1.000				
UZMAN 7					
		Max Özdeğer	5.349		
		CI	0.087		
		CR	0.078		
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	1	1/5	1/3	3	5
Güneşlenme Süresi	5	1	3	7	9
Yıllık Ortalama Sıcaklık	3	1/3	1	5	7
Yıllık Ortalama Yağış	1/3	1/7	1/3	1	3
Nemlilik	1/5	1/9	1/7	1/3	1
Toplam	9.533	1.787	4.810	16.333	25.000
	Güneş Radyasyonu	Güneşlenme Süresi	Yıllık Ortalama Sıcaklık	Yıllık Ortalama Yağış	Nemlilik
Güneş Radyasyonu	0.105	0.112	0.069	0.184	0.200
Güneşlenme Süresi	0.524	0.560	0.624	0.429	0.360
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.315	0.187	0.208	0.306	0.280
Yıllık Ortalama Yağış	0.035	0.080	0.069	0.061	0.120
Nemlilik	0.021	0.062	0.030	0.020	0.040
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Güneş Radyasyonu	0.134		0.712668679	5.320	
Güneşlenme Süresi	0.499		2.769634484	5.547	
Yıllık Ortalama Sıcaklık	0.259		1.435317683	5.541	
Yıllık Ortalama Yağış	0.073		0.379362917	5.191	
Nemlilik	0.035		0.178284314	5.145	
Toplam	1.000				
UZMAN 8					
		Max Özdeğer	5.349		
		CI	0.087		
		CR	0.078		

Ek 6. Lojistik kriteri için Uzman 1 ve Uzman 2'ye ait görüşler

	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	1	3	5	5	7
İletim Hatlarına Uzaklık	1/3	1	5	5	7
Yerleşimlere Uzaklık	1/5	1/5	1	1	3
Yollara Uzaklık	1/5	1/5	1	1	3
Su Öğelerine Uzaklık	1/7	1/7	1/3	1/3	1
Toplam	1.876	4.543	12.333	12.333	21.000
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	0.533	0.660	0.405	0.405	0.333
İletim Hatlarına Uzaklık	0.178	0.220	0.405	0.405	0.333
Yerleşimlere Uzaklık	0.107	0.044	0.081	0.081	0.143
Yollara uzaklık	0.107	0.044	0.081	0.081	0.143
Su Öğelerine Uzaklık	0.076	0.031	0.027	0.027	0.048
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Trafoları Uzaklık	0.468		2.596917607	5.555	
İletim Hatlarına Uzaklık	0.308		1.668474788	5.410	
Yerleşimlere Uzaklık	0.091		0.462992497	5.081	
Yollara uzaklık	0.091		0.462992497	5.081	
Su Öğelerine Uzaklık	0.042		0.213446281	5.100	
Toplam	1.000				
		UZMAN 1			
		Max Özdeğer	5.245		
		CI	0.061		
		CR	0.055		
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	1	1	3	1	3
İletim Hatlarına Uzaklık	1	1	3	1	3
Yerleşimlere Uzaklık	1/3	1/3	1	1/3	1
Yollara Uzaklık	1	1	3	1	3
Su Öğelerine Uzaklık	1/3	1/3	1	1/3	1
Toplam	3.667	3.667	11.000	3.667	11.000
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	0.273	0.273	0.273	0.273	0.273
İletim Hatlarına Uzaklık	0.273	0.273	0.273	0.273	0.273
Yerleşimlere Uzaklık	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091
Yollara uzaklık	0.273	0.273	0.273	0.273	0.273
Su Öğelerine Uzaklık	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Trafoları Uzaklık	0.273		1.363636364	5.000	
İletim Hatlarına Uzaklık	0.273		1.363636364	5.000	
Yerleşimlere Uzaklık	0.091		0.454545455	5.000	
Yollara uzaklık	0.273		1.363636364	5.000	
Su Öğelerine Uzaklık	0.091		0.454545455	5.000	
Toplam	1.000				
		UZMAN 2			
		Max Özdeğer	5.000		
		CI	0.000		
		CR	0.000		

Ek 7. Lojistik kriteri için Uzman 3 ve Uzman 4'e ait görüşler

	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	1	1/5	3	1/3	5
İletim Hatlarına Uzaklık	5	1	3	3	9
Yerleşimlere Uzaklık	1/3	1/3	1	1	3
Yollara Uzaklık	3	1/3	1	1	7
Su Öğelerine Uzaklık	1/5	1/3	1/3	1/7	1
Toplam	9.533	2.200	8.333	5.476	25.000
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	0.105	0.091	0.360	0.061	0.200
İletim Hatlarına Uzaklık	0.524	0.455	0.360	0.548	0.360
Yerleşimlere Uzaklık	0.035	0.152	0.120	0.183	0.120
Yollara uzaklık	0.315	0.152	0.120	0.183	0.280
Su Öğelerine Uzaklık	0.021	0.152	0.040	0.026	0.040
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Trafoları Uzaklık	0.163		0.967163704	5.921	
İletim Hatlarına Uzaklık	0.449		2.762228033	6.147	
Yerleşimlere Uzaklık	0.122		0.702963008	5.771	
Yollara uzaklık	0.210		1.36138725	6.490	
Su Öğelerine Uzaklık	0.056		0.308744882	5.541	
Toplam	1.000				
		UZMAN 3			
		Max Özdeğer	5.974		
		CI	0.244		
		CR	0.217		
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	1	1	5	5	7
İletim Hatlarına Uzaklık	1	1	5	5	7
Yerleşimlere Uzaklık	1/5	1/5	1	1	3
Yollara Uzaklık	1/5	1/5	1	1	3
Su Öğelerine Uzaklık	1/7	1/7	1/3	1/3	1
Toplam	2.543	2.543	12.333	12.333	21.000
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	0.393	0.393	0.405	0.405	0.333
İletim Hatlarına Uzaklık	0.393	0.393	0.405	0.405	0.333
Yerleşimlere Uzaklık	0.079	0.079	0.081	0.081	0.143
Yollara uzaklık	0.079	0.079	0.081	0.081	0.143
Su Öğelerine Uzaklık	0.056	0.056	0.027	0.027	0.048
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Trafoları Uzaklık	0.386		1.996555464	5.171	
İletim Hatlarına Uzaklık	0.386		1.996555464	5.171	
Yerleşimlere Uzaklık	0.092		0.467801542	5.059	
Yollara uzaklık	0.092		0.467801542	5.059	
Su Öğelerine Uzaklık	0.043		0.214773039	5.017	
Toplam	1.000				
		UZMAN 4			
		Max Özdeğer	5.095		
		CI	0.024		
		CR	0.021		

Ek 8. Lojistik kriteri için Uzman 5 ve Uzman 6'ya ait görüşler

	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	1	1/3	3	5	7
İletim Hatlarına Uzaklık	3	1	5	7	9
Yerleşimlere Uzaklık	1/3	1/5	1	3	5
Yollara Uzaklık	1/5	1/7	1/3	1	3
Su Öğelerine Uzaklık	1/7	1/9	1/5	1/3	1
Toplam	4.676	1.787	9.533	16.333	25.000
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	0.214	0.187	0.315	0.306	0.280
İletim Hatlarına Uzaklık	0.642	0.560	0.524	0.429	0.360
Yerleşimlere Uzaklık	0.071	0.112	0.105	0.184	0.200
Yollara uzaklık	0.043	0.080	0.035	0.061	0.120
Su Öğelerine Uzaklık	0.031	0.062	0.021	0.020	0.040
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Trafoları Uzaklık	0.260		1.413523405	5.432	
İletim Hatlarına Uzaklık	0.503		2.743097411	5.455	
Yerleşimlere Uzaklık	0.134		0.699095248	5.204	
Yollara uzaklık	0.068		0.340901248	5.030	
Su Öğelerine Uzaklık	0.035		0.177328227	5.093	
Toplam	1.000				
		UZMAN 5			
		Max Özdeğer	5.243		
		CI	0.061		
		CR	0.054		
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	1	1	5	5	9
İletim Hatlarına Uzaklık	1	1	5	5	9
Yerleşimlere Uzaklık	1/5	1/5	1	1	3
Yollara Uzaklık	1/5	1/5	1	1	3
Su Öğelerine Uzaklık	1/9	1/9	1/3	1/3	1
Toplam	2.511	2.511	12.333	12.333	25.000
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	0.398	0.398	0.405	0.405	0.360
İletim Hatlarına Uzaklık	0.398	0.398	0.405	0.405	0.360
Yerleşimlere Uzaklık	0.080	0.080	0.081	0.081	0.120
Yollara uzaklık	0.080	0.080	0.081	0.081	0.120
Su Öğelerine Uzaklık	0.044	0.044	0.027	0.027	0.040
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Trafoları Uzaklık	0.393		1.998406123	5.079	
İletim Hatlarına Uzaklık	0.393		1.998406123	5.079	
Yerleşimlere Uzaklık	0.088		0.443493136	5.023	
Yollara uzaklık	0.088		0.443493136	5.023	
Su Öğelerine Uzaklık	0.037		0.182804752	5.007	
Toplam	1.000				
		UZMAN 6			
		Max Özdeğer	5.042		
		CI	0.011		
		CR	0.009		

Ek 9. Lojistik kriteri için Uzman 7 ve Uzman 8'e ait görüşler

	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	1	1	7	5	7
İletim Hatlarına Uzaklık	1	1	7	5	7
Yerleşimlere Uzaklık	1/7	1/7	1	1/3	1
Yollara Uzaklık	1/5	1/5	3	1	3
Su Öğelerine Uzaklık	1/7	1/7	1	1/3	1
Toplam	2.486	2.486	19.000	11.667	19.000
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	0.402	0.402	0.368	0.429	0.368
İletim Hatlarına Uzaklık	0.402	0.402	0.368	0.429	0.368
Yerleşimlere Uzaklık	0.057	0.057	0.053	0.029	0.053
Yollara uzaklık	0.080	0.080	0.158	0.086	0.158
Su Öğelerine Uzaklık	0.057	0.057	0.053	0.029	0.053
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Trafoları Uzaklık	0.394		2.047003716	5.195	
İletim Hatlarına Uzaklık	0.394		2.047003716	5.195	
Yerleşimlere Uzaklık	0.050		0.249577803	5.016	
Yollara uzaklık	0.112		0.568618097	5.055	
Su Öğelerine Uzaklık	0.050		0.249577803	5.016	
Toplam	1.000				
		UZMAN 7			
		Max Özdeğer	5.096		
		CI	0.024		
		CR	0.021		
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	1	3	5	5	7
İletim Hatlarına Uzaklık	1/3	1	5	5	7
Yerleşimlere Uzaklık	1/5	1/5	1	1	3
Yollara Uzaklık	1/5	1/5	1	1	3
Su Öğelerine Uzaklık	1/7	1/7	1/3	1/3	1
Toplam	1.876	4.543	12.333	12.333	21.000
	Trafoları Uzaklık	İletim Hatlarına Uzaklık	Yerleşimlere Uzaklık	Yollara Uzaklık	Su Öğelerine Uzaklık
Trafoları Uzaklık	0.533	0.660	0.405	0.405	0.333
İletim Hatlarına Uzaklık	0.178	0.220	0.405	0.405	0.333
Yerleşimlere Uzaklık	0.107	0.044	0.081	0.081	0.143
Yollara uzaklık	0.107	0.044	0.081	0.081	0.143
Su Öğelerine Uzaklık	0.076	0.031	0.027	0.027	0.048
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar		V1	V2	
Trafoları Uzaklık	0.468		2.596917607	5.555	
İletim Hatlarına Uzaklık	0.308		1.668474788	5.410	
Yerleşimlere Uzaklık	0.091		0.462992497	5.081	
Yollara uzaklık	0.091		0.462992497	5.081	
Su Öğelerine Uzaklık	0.042		0.213446281	5.100	
Toplam	1.000				
		UZMAN 8			
		Max Özdeğer	5.245		
		CI	0.061		
		CR	0.055		

Ek 10. Coğrafya kriteri için Uzman 1 ve Uzman 2'ye ait görüşler

	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	1	1/3	5	7
Bakı	3	1	5	9
Yükseklik	1/5	1/5	1	3
Arazi Kullanımı	1/7	1/9	1/3	1
Toplam	4.343	1.644	11.333	20.000
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	0.230	0.203	0.441	0.350
Bakı	0.691	0.608	0.441	0.450
Yükseklik	0.046	0.122	0.088	0.150
Arazi Kullanımı	0.033	0.068	0.029	0.050
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2	
Eğim	0.306	0.242	0.791	
Bakı	0.548	0.609	1.113	
Yükseklik	0.101	0.096	0.950	
Arazi Kullanımı	0.045	0.052	1.163	
Toplam	1.000			
	UZMAN 1			
	Max Özdeğer	1.004		
	CI	-0.999		
	CR	-1.110		
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	1	1/5	5	5
Bakı	5	1	3	7
Yükseklik	1/5	1/3	1	3
Arazi Kullanımı	1/5	1/7	1/3	1
Toplam	6.400	1.676	9.333	16.000
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	0.156	0.119	0.536	0.313
Bakı	0.781	0.597	0.321	0.438
Yükseklik	0.031	0.199	0.107	0.188
Arazi Kullanımı	0.031	0.085	0.036	0.063
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2	
Eğim	0.281	0.195	0.693	
Bakı	0.534	0.604	1.130	
Yükseklik	0.131	0.139	1.061	
Arazi Kullanımı	0.054	0.062	1.162	
Toplam	1.000			
	UZMAN 2			
	Max Özdeğer	1.011		
	CI	-0.996		
	CR	-1.107		

Ek 11. Coğrafya kriteri için Uzman 3 ve Uzman 4'e ait görüşler

	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	1	1/3	3	1
Bakı	3	1	5	3
Yükseklik	1/3	1/5	1	1/5
Arazi Kullanımı	1	1/3	5	1
Toplam	5.333	1.867	14.000	5.200
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	0.188	0.179	0.214	0.192
Bakı	0.563	0.536	0.357	0.577
Yükseklik	0.063	0.107	0.071	0.038
Arazi Kullanımı	0.188	0.179	0.357	0.192
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2	
Eğim	0.193	0.186	0.963	
Bakı	0.508	0.538	1.059	
Yükseklik	0.070	0.080	1.149	
Arazi Kullanımı	0.229	0.196	0.856	
Toplam	1.000			
	UZMAN 3			
	Max Özdeğer	1.007		
	CI	-0.998		
	CR	-1.109		
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	1	1/3	3	1
Bakı	3	1	5	3
Yükseklik	1/3	1/5	1	1/5
Arazi Kullanımı	1	1/3	5	1
Toplam	5.333	1.867	14.000	5.200
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	0.188	0.179	0.214	0.192
Bakı	0.563	0.536	0.357	0.577
Yükseklik	0.063	0.107	0.071	0.038
Arazi Kullanımı	0.188	0.179	0.357	0.192
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2	
Eğim	0.193	0.186	0.963	
Bakı	0.508	0.538	1.059	
Yükseklik	0.070	0.080	1.149	
Arazi Kullanımı	0.229	0.196	0.856	
Toplam	1.000			
	UZMAN 4			
	Max Özdeğer	1.007		
	CI	-0.998		
	CR	-1.109		

Ek 12. Coğrafya kriteri için Uzman 5 ve Uzman 6'ya ait görüşler

	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	1	5	3	1/3
Bakı	1/5	1	5	1/5
Yükseklik	1/3	1/5	1	1/7
Arazi Kullanımı	3	5	7	1
Toplam	4.533	11.200	16.000	1.676
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	0.221	0.446	0.188	0.199
Bakı	0.044	0.089	0.313	0.119
Yükseklik	0.074	0.018	0.063	0.085
Arazi Kullanımı	0.662	0.446	0.438	0.597
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2	
Eğim	0.263	0.239	0.907	
Bakı	0.141	0.107	0.756	
Yükseklik	0.060	0.071	1.192	
Arazi Kullanımı	0.536	0.583	1.089	
Toplam	1.000			
	UZMAN 5			
	Max Özdeğer	0.986		
	CI	-1.005		
	CR	-1.116		
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	1	1	3	1/3
Bakı	1	1	3	1/3
Yükseklik	1/3	3	1	1/5
Arazi Kullanımı	3	3	5	1
Toplam	5.333	8.000	12.000	1.867
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	0.188	0.125	0.250	0.179
Bakı	0.188	0.125	0.250	0.179
Yükseklik	0.063	0.375	0.083	0.107
Arazi Kullanımı	0.563	0.375	0.417	0.536
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2	
Eğim	0.185	0.182	0.980	
Bakı	0.185	0.182	0.980	
Yükseklik	0.157	0.145	0.922	
Arazi Kullanımı	0.472	0.492	1.042	
Toplam	1.000			
	UZMAN 6			
	Max Özdeğer	0.981		
	CI	-1.006		
	CR	-1.118		

Ek 13. Coğrafya kriteri için Uzman 7 ve Uzman 8'e ait görüşler

	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	1	1/3	1	1/3
Bakı	3	1	3	1
Yükseklik	1	1/3	1	1/3
Arazi Kullanımı	3	1	3	1
Toplam	8.000	2.667	8.000	2.667
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	0.125	0.125	0.125	0.125
Bakı	0.375	0.375	0.375	0.375
Yükseklik	0.125	0.125	0.125	0.125
Arazi Kullanımı	0.375	0.375	0.375	0.375
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2	
Eğim	0.125	0.125	1.000	
Bakı	0.375	0.375	1.000	
Yükseklik	0.125	0.125	1.000	
Arazi Kullanımı	0.375	0.375	1.000	
Toplam	1.000			
	UZMAN 7			
	Max Özdeğer	1.000		
	CI	-1.000		
	CR	-1.111		
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	1	1/3	1/3	1/3
Bakı	3	1	1	1
Yükseklik	3	1	1	1
Arazi Kullanımı	3	1	1	1
Toplam	10.000	3.333	3.333	3.333
	Eğim	Bakı	Yükseklik	Arazi Kullanımı
Eğim	0.100	0.100	0.100	0.100
Bakı	0.300	0.300	0.300	0.300
Yükseklik	0.300	0.300	0.300	0.300
Arazi Kullanımı	0.300	0.300	0.300	0.300
Toplam	1.000	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2	
Eğim	0.100	0.100	1.000	
Bakı	0.300	0.300	1.000	
Yükseklik	0.300	0.300	1.000	
Arazi Kullanımı	0.300	0.300	1.000	
Toplam	1.000			
	UZMAN 8			
	Max Özdeğer	1.000		
	CI	-1.000		
	CR	-1.111		

Ek 14. Ana kriterler için Uzman 1, Uzman 2, Uzman 3 ve Uzman 4'e ait görüşler

	İklim	Lojistik	Coğrafya			İklim	Lojistik	Coğrafya
İklim	1	5	3		İklim	1	5	1/3
Lojistik	1/5	1	1/3		Lojistik	1/5	1	1/3
Coğrafya	1/3	3	1		Coğrafya	1/3	3	1
Toplam	1.533	9.000	4.333		Toplam	1.533	9.000	1.667
	İklim	Lojistik	Coğrafya			İklim	Lojistik	Coğrafya
İklim	0.652	0.556	0.692		İklim	0.652	0.556	0.200
Lojistik	0.130	0.111	0.077		Lojistik	0.130	0.111	0.200
Coğrafya	0.217	0.333	0.231		Coğrafya	0.217	0.333	0.600
Toplam	1.000	1.000	1.000		Toplam	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2			Ağırlıklar	V1	V2
	0.633	1.946	3.072			0.469	1.333	2.841
	0.106	0.320	3.011			0.147	0.369	2.506
	0.260	0.790	3.033			0.384	0.982	2.559
Toplam	1.000				Toplam	1.000		
	Uzman 1					Uzman 2		
	Max Özdeğer	3.039				Max Özdeğer	2.635	
	CI	0.019				CI	-0.182	
	CR	0.033				CR	-0.314	
	İklim	Lojistik	Coğrafya			İklim	Lojistik	Coğrafya
İklim	1	5	1/3		İklim	1	5	3
Lojistik	1/5	1	1/3		Lojistik	1/5	1	1/3
Coğrafya	1/3	3	1		Coğrafya	1/3	3	1
Toplam	1.533	9.000	1.667		Toplam	1.533	9.000	4.333
	İklim	Lojistik	Coğrafya			İklim	Lojistik	Coğrafya
İklim	0.652	0.556	0.200		İklim	0.652	0.556	0.692
Lojistik	0.130	0.111	0.200		Lojistik	0.130	0.111	0.077
Coğrafya	0.217	0.333	0.600		Coğrafya	0.217	0.333	0.231
Toplam	1.000	1.000	1.000		Toplam	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2			Ağırlıklar	V1	V2
	0.469	1.333	2.841			0.633	1.946	3.072
	0.147	0.369	2.506			0.106	0.320	3.011
	0.384	0.982	2.559			0.260	0.790	3.033
Toplam	1.000				Toplam	1.000		
	Uzman 3					Uzman 4		
	Max Özdeğer	2.635				Max Özdeğer	3.039	
	CI	-0.182				CI	0.019	
	CR	-0.314				CR	0.033	

Ek 15. Ana kriterler için Uzman 5, Uzman 6, Uzman 7 ve Uzman 8'e ait görüşler

	İklim	Lojistik	Coğrafya			İklim	Lojistik	Coğrafya
İklim	1	5	1/3		İklim	1	5	3
Lojistik	1/5	1	1/3		Lojistik	1/5	1	1/3
Coğrafya	1/3	3	1		Coğrafya	1/3	3	1
Toplam	1.533	9.000	1.667		Toplam	1.533	9.000	4.333
	İklim	Lojistik	Coğrafya			İklim	Lojistik	Coğrafya
İklim	0.652	0.556	0.200		İklim	0.652	0.556	0.692
Lojistik	0.130	0.111	0.200		Lojistik	0.130	0.111	0.077
Coğrafya	0.217	0.333	0.600		Coğrafya	0.217	0.333	0.231
Toplam	1.000	1.000	1.000		Toplam	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2			Ağırlıklar	V1	V2
	0.469	1.333	2.841			0.633	1.946	3.072
	0.147	0.369	2.506			0.106	0.320	3.011
	0.384	0.982	2.559			0.260	0.790	3.033
Toplam	1.000				Toplam	1.000		
	Uzman 5					Uzman 6		
	Max Özdeğer	2.635				Max Özdeğer	3.039	
	CI	-0.182				CI	0.019	
	CR	-0.314				CR	0.033	
	İklim	Lojistik	Coğrafya			İklim	Lojistik	Coğrafya
İklim	1	1/3	3		İklim	1	1/3	3
Lojistik	3	1	5		Lojistik	3	1	5
Coğrafya	1/3	1/5	1		Coğrafya	1/3	1/5	1
Toplam	4.333	1.533	9.000		Toplam	4.333	1.533	9.000
	İklim	Lojistik	Coğrafya			İklim	Lojistik	Coğrafya
İklim	0.231	0.217	0.333		İklim	0.231	0.217	0.333
Lojistik	0.692	0.652	0.556		Lojistik	0.692	0.652	0.556
Coğrafya	0.077	0.130	0.111		Coğrafya	0.077	0.130	0.111
Toplam	1.000	1.000	1.000		Toplam	1.000	1.000	1.000
	Ağırlıklar	V1	V2			Ağırlıklar	V1	V2
	0.260	0.790	3.033			0.260	0.790	3.033
	0.633	1.946	3.072			0.633	1.946	3.072
	0.106	0.320	3.011			0.106	0.320	3.011
Toplam	1.000				Toplam	1.000		
	Uzman 7					Uzman 8		
	Max Özdeğer	3.039				Max Özdeğer	3.039	
	CI	0.019				CI	0.019	
	CR	0.033				CR	0.033	

Ek 16. TOPSIS analizi için kriter tablosunun oluşturulması

Kriter Ağırlıkları	0.193	0.401	0.132	0.119	0.125	0.334	0.387	0.096	0.134	0.05	0.208	0.37	0.135	0.287
--------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	------	-------	-------

FID	landr	elevr	aspr	slopr	watr	roadr	settr	linesr	transr	humir	prepr	tempr2	sunshiner	solarr2
0	2	3	1	2	1	3	1	1	1	1	1	3	5	2
1	3	2	3	3	1	1	1	1	1	2	1	4	1	1
2	2	2.05764	3	2	1	3	1	1	1	1	1	3	5	2
3	3	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	5	5	1
4	2	3	1	2	1	3	1	3	1	2	1	4	5	1
5	2.47428	2	3	2.47428	1	3	1	1	1	1	1	5	5	2
6	3	2.00437	3	3	1	3	1	3	1	2	1	4	5	2
7	3	3	1	3	3	3	1	1	1	2	1	3	5	2
8	2	1	1	2	1	3	1	1	1	1	1	5	5	2
9	2.14063	3	1	1.84763	3	3	1	1	1	2	1	3	5	2
10	2	2	3	2.64804	1	3	1	1	1	1	2	5	5	1
11	3	2	3	3	1	3	1	3	1	2	1	4	5	1
12	2.28789	2.93838	1.57579	3	3	3	1	1	1	2	1	3	5	2
13	2	3	1	2	1	3	1	3	1	2	1	4	5	1
14	3	1	3	1	1	1	1	1	1	2	1	4	1	1
15	2.43069	3	1	2	1	3	1	3	1	2	1	4	5	2
16	3	1	1	3	1	3	1	3	1	2	1	4	5	2
17	2.5077	2.00379	3	3	1	3	1	1	1	1	2	5	5	1
18	2	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	4	5	2
19	2	3	3	2	1	3	1	1	1	2	1	4	5	2
20	2	3	2.96381	2	1	3	1	1	1	1	1	3	5	2
21	2.98808	3	1	2	1	3	1	3	1	2	1	4	5	2
22	3	3	1	3	1	3	1	3	1	2	1	4	5	1
23	2	3	1	1	1	3	1	1	1	2	1	4	5	2
24	2	3	1	1.2231	1	3	1	1	1	2	1	4	5	2
25	2.24072	1	1	2	1	3	1	1	1	1	1	5	1	1
26	2	1	1	2	1	3	1	3	1	2	1	4	5	1
27	2	2	3	1	1	3	1	1	1	1	1	5	1	2
28	3	2	3	3	1	3	1	1	1	2	1	4	5	2
29	2	2	3	2	1	3	1	3	1	2	1	4	5	2
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9998	2	2.3193	1.0681	3	3	3	1	1	1	2	1	3	5	2
9999	3	2	3	2.22875	1	3	1	3	3	1	2	5	5	2
10000	2	2	3	2	1	3	1	3	3	1	2	5	1	2

Ek 17. TOPSIS analizi için normalizasyon işleminin yapılması

FID	landr	elevr	aspr	slopr	watr	roadr	settr	linesr	transr	humir	prepr	tempr2	sunshin er	solarr2
1	0.0085	0.0431	0.0149	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0104	0.0177	0.0263	0.0332	0.0351
98	57	36	11	51	23	34	87	78	1	71	25	62	31	
2	0.0128	0.0287	0.0448	0.0417	0.0171	0.0127	0.0230	0.0148	0.0216	0.0208	0.0177		0.0066	0.0175
97	71	07	17	51	74	34	87	78	2	71		0.0351	52	65
3	0.0085	0.0296	0.0448	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0104	0.0177	0.0263	0.0332	0.0351
98	07	11	51	23	34	87	78	1	71	25	62	31		
4	0.0128	0.0143	0.0149	0.0139	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0104	0.0177	0.0438	0.0332	0.0175
97	86	36	06	51	23	34	87	78	1	71	75	62	65	
5	0.0085	0.0431	0.0149	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0175
98	57	36	11	51	23	34	6	78	2	71	0.0351	62	65	
6	0.0106	0.0287	0.0448	0.0344	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0104	0.0177	0.0438	0.0332	0.0351
37	71	07	07	51	23	34	87	78	1	71	75	62	31	
7	0.0128	0.0288	0.0448	0.0417	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0351
97	34	07	17	51	23	34	6	78	2	71	0.0351	62	31	
8	0.0128	0.0431	0.0149	0.0417	0.0514	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0208	0.0177	0.0263	0.0332	0.0351
97	57	36	17	52	23	34	87	78	2	71	25	62	31	
9	0.0085	0.0143	0.0149	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0104	0.0177	0.0438	0.0332	0.0351
98	86	36	11	51	23	34	87	78	1	71	75	62	31	
10	0.0092	0.0431	0.0149	0.0256	0.0514	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0208	0.0177	0.0263	0.0332	0.0351
02	57	36	93	52	23	34	87	78	2	71	25	62	31	
11	0.0085	0.0287	0.0448	0.0368	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0104	0.0355	0.0438	0.0332	0.0175
98	71	07	23	51	23	34	87	78	1	41	75	62	65	
12	0.0128	0.0287	0.0448	0.0417	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0175
97	71	07	17	51	23	34	6	78	2	71	0.0351	62	65	
13	0.0098	0.0422	0.0235	0.0417	0.0514	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0208	0.0177	0.0263	0.0332	0.0351
35	7	36	17	52	23	34	87	78	2	71	25	62	31	
14	0.0085	0.0431	0.0149	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0175
98	57	36	11	51	23	34	6	78	2	71	0.0351	62	65	
15	0.0128	0.0143	0.0448	0.0139	0.0171	0.0127	0.0230	0.0148	0.0216	0.0208	0.0177	0.0066	0.0175	
97	86	07	06	51	74	34	87	78	2	71	0.0351	52	65	
16	0.0104	0.0431	0.0149	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0351
49	57	36	11	51	23	34	6	78	2	71	0.0351	62	31	
17	0.0128	0.0143	0.0149	0.0417	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0351
97	86	36	17	51	23	34	6	78	2	71	0.0351	62	31	
18	0.0107	0.0288	0.0448	0.0417	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0104	0.0355	0.0438	0.0332	0.0175
8	26	07	17	51	23	34	87	78	1	41	75	62	65	
19	0.0085	0.0143	0.0149	0.0278	0.0514	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0351
98	86	36	11	52	23	34	87	78	2	71	0.0351	62	31	
20	0.0085	0.0431	0.0448	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0351
98	57	07	11	51	23	34	87	78	2	71	0.0351	62	31	
21	0.0085	0.0431	0.0442	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0104	0.0177	0.0263	0.0332	0.0351
98	57	67	11	51	23	34	87	78	1	71	25	62	31	
22	0.0128	0.0431	0.0149	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0351
45	57	36	11	51	23	34	6	78	2	71	0.0351	62	31	
23	0.0128	0.0431	0.0149	0.0417	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0175
97	57	36	17	51	23	34	6	78	2	71	0.0351	62	65	
24	0.0085	0.0431	0.0149	0.0139	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0351
98	57	36	06	51	23	34	87	78	2	71	0.0351	62	31	
25	0.0085	0.0431	0.0149	0.0170	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0351
98	57	36	08	51	23	34	87	78	2	71	0.0351	62	31	
26	0.0096	0.0143	0.0149	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0148	0.0216	0.0104	0.0177	0.0438	0.0066	0.0175
33	86	36	11	51	23	34	87	78	1	71	75	52	65	
27	0.0085	0.0143	0.0149	0.0278	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0216	0.0208	0.0177		0.0332	0.0175
98	86	36	11	51	23	34	6	78	2	71	0.0351	62	65	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9998	0.0107	0.0431	0.0149	0.0278	0.0514	0.0127	0.0230	0.0446	0.0216	0.0416	0.0177	0.0263	0.0332	0.0351
91	57	36	11	52	74	34	6	78	41	71	25	62	31	
9999	0.0085	0.0143	0.0149	0.0278	0.0514	0.0127	0.0230	0.0446	0.0216	0.0416	0.0177	0.0263	0.0332	0.0351
98	86	36	11	52	74	34	6	78	41	71	25	62	31	
1000	0.0128	0.0287	0.0448	0.0417	0.0171	0.0383	0.0230	0.0446	0.0650	0.0104	0.0355	0.0438	0.0332	0.0351
0	97	71	07	17	51	23	34	6	33	1	41	75	62	31

Ek 18. TOPSIS analizi için normalize değerlerin ağırlık değerleri ile çarpılması

FID	landr	elevr	aspr	slopr	watr	roadr	settr	linesr	transr	humir	prepr	tempr 2	sunshin er	solarr 2
1	0.0024	0.0058	0.0055	0.0057	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0013	0.0021	0.0034	0.01333	0.0067
68	26	26	85	58	35	11	61	4	01	15	75	8	8	8
2	0.0037	0.0038	0.0165	0.0086	0.0008	0.0017	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.00266	0.0033
01	84	79	77	58	12	11	61	4	03	15	33	8	9	9
3	0.0024	0.0039	0.0165	0.0057	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0013	0.0021	0.0034	0.01333	0.0067
68	96	79	85	58	35	11	61	4	01	15	75	8	8	8
4	0.0037	0.0019	0.0055	0.0028	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0013	0.0021	0.0057	0.01333	0.0033
01	42	26	92	58	35	11	61	4	01	15	92	8	9	9
5	0.0024	0.0058	0.0055	0.0057	0.0008	0.0051	0.0022	0.0172	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0033
68	26	26	85	58	35	11	84	4	03	15	33	8	9	9
6	0.0030	0.0038	0.0165	0.0071	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0013	0.0021	0.0057	0.01333	0.0067
53	84	79	57	58	35	11	61	4	01	15	92	8	8	8
7	0.0037	0.0038	0.0165	0.0086	0.0008	0.0051	0.0022	0.0172	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0067
01	93	79	77	58	35	11	84	4	03	15	33	8	8	8
8	0.0037	0.0058	0.0055	0.0086	0.0025	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0034	0.01333	0.0067
01	26	26	77	73	35	11	61	4	03	15	75	8	8	8
9	0.0024	0.0019	0.0055	0.0057	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0013	0.0021	0.0057	0.01333	0.0067
68	42	26	85	58	35	11	61	4	01	15	92	8	8	8
10	0.0026	0.0058	0.0055	0.0053	0.0025	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0034	0.01333	0.0067
41	26	26	44	73	35	11	61	4	03	15	75	8	8	8
11	0.0024	0.0038	0.0165	0.0076	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0013	0.0042	0.0057	0.01333	0.0033
68	84	79	59	58	35	11	61	4	01	29	92	8	9	9
12	0.0037	0.0038	0.0165	0.0086	0.0008	0.0051	0.0022	0.0172	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0033
01	84	79	77	58	35	11	84	4	03	15	33	8	9	9
13	0.0028	0.0057	0.0087	0.0086	0.0025	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0034	0.01333	0.0067
23	07	08	77	73	35	11	61	4	03	15	75	8	8	8
14	0.0024	0.0058	0.0055	0.0057	0.0008	0.0051	0.0022	0.0172	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0033
68	26	26	85	58	35	11	84	4	03	15	33	8	9	9
15	0.0037	0.0019	0.0165	0.0028	0.0008	0.0017	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.00266	0.0033
01	42	79	92	58	12	11	61	4	03	15	33	8	9	9
16	0.0029	0.0058	0.0055	0.0057	0.0008	0.0051	0.0022	0.0172	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0067
99	26	26	85	58	35	11	84	4	03	15	33	8	8	8
17	0.0037	0.0019	0.0055	0.0086	0.0008	0.0051	0.0022	0.0172	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0067
01	42	26	77	58	35	11	84	4	03	15	33	8	8	8
18	0.0030	0.0038	0.0165	0.0086	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0013	0.0042	0.0057	0.01333	0.0033
94	91	79	77	58	35	11	61	4	01	29	92	8	9	9
19	0.0024	0.0019	0.0055	0.0057	0.0025	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0067
68	42	26	85	73	35	11	61	4	03	15	33	8	8	8
20	0.0024	0.0058	0.0165	0.0057	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0067
68	26	79	85	58	35	11	61	4	03	15	33	8	8	8
21	0.0024	0.0058	0.0163	0.0057	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0013	0.0021	0.0034	0.01333	0.0067
68	26	79	85	58	35	11	61	4	01	15	75	8	8	8
22	0.0036	0.0058	0.0055	0.0057	0.0008	0.0051	0.0022	0.0172	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0067
87	26	26	85	58	35	11	84	4	03	15	33	8	8	8
23	0.0037	0.0058	0.0055	0.0086	0.0008	0.0051	0.0022	0.0172	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0033
01	26	26	77	58	35	11	84	4	03	15	33	8	9	9
24	0.0024	0.0058	0.0055	0.0028	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0067
68	26	26	92	58	35	11	61	4	03	15	33	8	8	8
25	0.0024	0.0058	0.0055	0.0035	0.0008	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0067
68	26	26	38	58	35	11	61	4	03	15	33	8	8	8
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
9998	0.0024	0.0058	0.0055	0.0067	0.0008	0.0051	0.0022	0.0172	0.0072	0.0026	0.0021	0.0046	0.01333	0.0033
68	26	26	31	58	35	11	84	4	03	15	33	8	9	9
9999	0.0024	0.0058	0.0055	0.0028	0.0025	0.0051	0.0022	0.0057	0.0072	0.0026	0.0021	0.0034	0.01333	0.0067
68	26	26	92	73	35	11	61	4	03	15	75	8	8	8
10000	0.0030	0.0058	0.0055	0.0057	0.0025	0.0017	0.0022	0.0172	0.0072	0.0052	0.0021	0.0034	0.01333	0.0067
97	26	26	85	73	12	11	84	4	05	15	75	8	8	8
MİN	0.0024	0.0019	0.0055	0.0028	0.0008	0.0017	0.0022	0.0057	0.0072	0.0013	0.0021	0.0011	0.00266	0.0033
V+	68	42	26	92	58	12	11	61	4	01	15	58	8	9
MAX	0.0037	0.0058	0.0165	0.0086	0.0025	0.0051	0.0066	0.0172	0.0217	0.0065	0.0105	0.0057	0.01333	0.0169
V-	01	26	79	77	73	35	34	84	21	06	74	92	8	51

Ek 19. Si değerlerinin elde edilmesi ve nokta değerlerinin sıralanması

FID	si+	Si-	Pi
1	0.01288	0.026542	0.673275
2	0.013217	0.027683	0.676848
3	0.016649	0.0242	0.592429
4	0.012189	0.028604	0.7012
5	0.017192	0.025224	0.594681
6	0.017407	0.023949	0.579095
7	0.021085	0.020676	0.49511
8	0.014041	0.026072	0.649968
9	0.012919	0.026724	0.674111
10	0.012969	0.026306	0.669783
11	0.017325	0.02495	0.59018
12	0.020809	0.022539	0.519945
13	0.014317	0.024907	0.634999
14	0.017192	0.025224	0.594681
15	0.011724	0.02848	0.708391
16	0.017531	0.023554	0.573293
17	0.017849	0.023686	0.570258
18	0.017645	0.024906	0.585324
19	0.012734	0.026471	0.675198
20	0.017218	0.0238	0.580231
21	0.016843	0.024132	0.588948
22	0.017566	0.023543	0.572706
23	0.01795	0.025027	0.582344
24	0.012881	0.026715	0.67468
25	0.012898	0.026582	0.673314
26	0.006453	0.03013	0.823608
27	0.016748	0.025521	0.603786
28	0.013062	0.026826	0.672542
29	0.017657	0.023671	0.572761
30	0.020443	0.020915	0.505706
31	0.017192	0.025224	0.594681
32	0.017376	0.025133	0.591236
33	0.012734	0.026735	0.67736
34	0.017479	0.023535	0.573831
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
9998	0.025294	0.014385	0.362544
9999	0.017256	0.024978	0.591427
10000	0.013	0.026291	0.669139

ÖZGEÇMİŞ

Şura KIRCALI

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2020-2025	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2018-2020	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2013-2017	Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Konya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1-Kırcalı, Ş., & 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 (SCI-Expanded)

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Kırcalı Ş., Selim S. (2019). Güneş Enerji Santrallerinin İklim Kriterleri Kapsamında Analitik Hiyerarşi Süreciyle Yer Seçimi: Antalya/Türkiye Örneği, IDES'19 International Design and Engineering Symposium 2019-12 (Özet Bildiri/Bildiri Kitabı Tam Metin)