**T.C.**
**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

# COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ İLE FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ: ÇANAKKALE İLİ ÖRNEĞİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**CANAN KOCABALDIR**

**Tez Danışmanı**
**DOÇ. DR. MEHMET ALİ YÜCEL**

**ÇANAKKALE – 2021**

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

# COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ İLE FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ: ÇANAKKALE İLİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANAN KOCABALDIR

Tez Danışmanı
DOÇ. DR. MEHMET ALİ YÜCEL

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2019-2876

ÇANAKKALE – 2021

## ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Canan KOCABALDIR

31/08/2021

## TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL'e, "Proje Yazımı ve Akademik Sunum Teknikleri" dersiyle ufkumuzu açan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Levent GENÇ'e, son derece kritik olan anket aşamasında uzman desteği sağlamış olan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Sermet KOYUNCU ve Prof. Dr. Mustafa KURT'a, ve yine son derece kritik olan bir veri edinme sorununda yardımcı olan Harita Mühendisi Gökhan CAN'a, desteklerinden dolayı Çevre Mühendisi İrem Bengisu EROL, Jeofizik Mühendisi Turgay ACARTÜRK ve Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisi Mehmet SEVER'e ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Canan KOCABALDIR

Çanakkale, Ağustos 2021

# ÖZET

## COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TABANLI ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ İLE FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ İÇİN YER SEÇİMİ: ÇANAKKALE İLİ ÖRNEĞİ

Canan KOCABALDIR
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL
31/08/2021, 65

Hızlı nüfus artışı ve gelişen teknoloji sebebiyle enerji talebi giderek artarken, fosil yakıtların kullanımıyla enerji üretimi çevreye zarar vermektedir ve fosil yakıt rezervlerinin ileride tükenmesi beklenmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi, en çok araştırma ve yatırım yapılan yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer almaktadır. Kapsamlı bir yer seçimi analizi yapmak, uygun maliyetli ve iyi performans gösteren güneş enerjisi projeleri sağlamak için ilk adımdır. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Çok Kriterli Karar Analizi entegrasyonu ile daha güvenilir bir analiz yapılmakta, çeşitli kriterler ve kısıtlamalar hesaba katılarak harita üzerinde en uygun yerler belirlenebilmektedir. Yapılan çalışma kapsamında; CBS ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi yardımıyla Çanakkale ilinde Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali (GES) kurulabilecek uygun alanlar belirlenmiş ve bu alanların enerji talebini karşılama potansiyeli incelenmiştir. Ayrıca, uygun alanlar arasından seçilen arazilerin GES kapasitelerinin ve kurulum yapılması halinde geri ödeme sürelerinin analizi gerçekleştirilmiş ve bir GES sahasının termal incelemesi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tespit edilen en uygun alan miktarının, Çanakkale ilinin elektrik enerjisi ihtiyacının tamamını karşılama potansiyelinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA), Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY), Mekansal Planlama, Yer Seçimi Analizi, Güneş Enerjisi

## ABSTRACT

# SITE SELECTION FOR PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS USING GIS-BASED MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS: A CASE STUDY OF ÇANAKKALE PROVINCE, TURKEY

Canan KOCABALDIR

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Geographical Information Technologies

(Assoc. Prof. Dr. Mehmet Ali YÜCEL)

08/31/2021, 65

While energy demand is increasing gradually due to rapid population growth and developing technology, energy production with the use of fossil fuels harms the environment and fossil fuel reserves are expected to be depleted in the future. Therefore, renewable energy sources are needed. Solar energy is one of the most researched and invested renewable energy sources. Conducting a comprehensive site selection analysis is the first step to ensure cost-effective and well-performing solar projects. With the integration of Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis; a more reliable analysis is performed, and the most suitable areas can be determined by taking into account various criteria and restrictions. Within the scope of the study, suitable sites where a Photovoltaic Solar Power Plant (SPP) can be established in Çanakkale were determined by GIS and Analytical Hierarchy Process and the potential of these sites to meet the energy demand was examined. In addition, capacities of SPP of the lands selected among the suitable sites and their payback periods in case of installation were analyzed and a thermal investigation of a SPP field was carried out. It has been concluded that the most suitable sites that determined as results of these analyzes have the potential to meet the entire electrical energy need of Çanakkale province.



**Keywords:** Geographic Information System (GIS), Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), Analytical Hierarchy Process (AHP), Spatial Planning, Site Selection Analysis, Solar Energy

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**


JÜRİ ONAY SAYFASI……... i
ETİK BEYAN…… ii
TEŞEKKÜR…….. iii
ÖZET ……..…….…….. iv
ABSTRACT …….. v
İÇİNDEKİLER ……..…… vi
SİMGELER ve KISALTMALAR……..……. viii
TABLOLAR DİZİNİ…….…. ix
ŞEKİLLER DİZİNİ……..……...…….….. x

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ 1

İKİNCİ BÖLÜM
KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3

2.1. CBS Tabanlı ÇKKA Yöntemi İle Yapılan GES Yer Seçimi Çalışmaları..... 3

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM 11

3.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri.....……..... 11
3.2 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.....……... 13
3.2.1 Analitik Hiyerarşi Yöntemi.....…….…..…..... 14
3.3 Fotovoltaik Sistemlerle Elektrik Enerjisi Üretimi..... 15
3.4. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçimi Uygulaması.....……..... 16
3.4.1 Çalışma Alanı ve Coğrafi Özellikleri.....……..... 20
3.4.2 Yazılım ve Donanım Özellikleri.....……... 21
3.4.3 Konumsal Veri Temini..... 21
3.4.4 Projeksiyon Sistemi ve Dönüşümler..... 22

3.4.5 Kriter Ağırlıklarının AHY ile Hesaplanması..... 23
3.4.6 Fotovoltaik GES Yer Seçimi İçin Model Geliştirilmesi..... 25

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI 51

4.1. Sonuç Haritanın Değerlendirilmesi.....……..... 51
4.2. Mevcut Santrallerin İrdelenmesi.....……..... 52
4.3. Seçilen Alternatif Alanların Değerlendirilmesi..... 53
4.3.1 Santral Gücü İrdelemesi..... 54
4.3.2 Yatırımın Geri Dönüş Süresinin İrdelenmesi..... 56
4.4 İHA ile Termal Görüntüleme..... 58

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER 60

KAYNAKÇA ...……. 62
EKLER …….……. I
EK 1. ANKET FORMU.....……..... II
ÖZGEÇMİŞ ….……..... VI

## SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|---|---|
| FV | Fotovoltaik |
| GES | Güneş Enerjisi Santrali |
| CBS | Coğrafi Bilgi Sistemi |
| ÇKKV | Çok Kriterli Karar Verme |
| ÇKKA | Çok Kriterli Karar Analizi |
| AHY | Analitik Hiyerarşi Yöntemi |
| SYM | Sayısal Yükseklik Modeli |
| İHA | İnsansız Hava Aracı |
| AC | Alternatif Akım |
| DC | Doğru Akım |
| m | Metre |
| $m^2$ | Metrekare |
| $km^2$ | Kilometrekare |
| ha | Hektar |
| GWh | Gigawatt saat |
| MW | Megawatt |
| kWh | Kilowatt saat |
| % | Yüzde oranı |
| °C | Santigrat derece |
| MTA | Maden Tetkik Arama Enstitüsü |
| IEA | Uluslararası Enerji Ajansı |
| ÇED | Çevresel Etki Değerlendirmesi |
| NDVI | Normalize Edilmiş Bitki İndeksi |
| CLC | Corine Arazi Örtüsü |
| SSI | Mekansal Uygunluk İndeksi |
| WLC | Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon |
| SAW | Basit Toplamlı Ağırlıklandırma |
| ELECTRE | Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim Yöntemi |
| TOPSIS | İdeal Çözüme Benzerliğine Göre Tercih Sırası Tekniği |
| LIDAR | Light Detection and Ranging |
| DN | Piksel Değeri |

# TABLOLAR DİZİNİ


| Tablo No | Tablo Adı | Sayfa No |
|---|---|---|
| **Tablo 1** | Önceki çalışmalarda kullanılan ÇKKV teknikleri | 8 |
| **Tablo 2** | Önceki çalışmalarda kullanılan kriterler ve kullanım sıklıkları | 9 |
| **Tablo 3** | Önceki çalışmalarda kullanılan kısıtlamalar ve kullanım sıklıkları | 10 |
| **Tablo 4** | Karşılaştırma matrislerinin boyutlarına göre RI değerleri | 15 |
| **Tablo 5** | Çalışmada kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri | 21 |
| **Tablo 6** | Veri kaynakları | 22 |
| **Tablo 7** | AHY hesabının ikili karşılaştırma matrisleri | 24 |
| **Tablo 8** | Kriter gruplarının AHY hesaplarından elde edilen ağırlıklar (W matrisleri) | 25 |
| **Tablo 9** | Area Solar Radiation aracında kullanılan parametre değerleri | 28 |
| **Tablo 10** | Verileri kullanılan istasyonlar ve bilgileri | 32 |
| **Tablo 11** | Nispi nem enterpolasyonu için kriging yönteminde arama yarıçapı nokta sayısına göre hesaplanan RMSE, MAE ve $R^2$ değerleri | 34 |
| **Tablo 12** | Topoğrafya kriterlerine ait ağırlık, sınıf aralığı ve puan bilgileri | 37 |
| **Tablo 13** | İklim kriterlerine ait ağırlık, sınıf aralığı ve puan bilgileri | 39 |
| **Tablo 14** | Konum kriterlerine ait ağırlık, sınıf aralığı ve puan bilgileri | 42 |
| **Tablo 15** | Kısıtlama faktörlerine ait detaylar | 49 |
| **Tablo 16** | Uygunluk derecesine göre hesaplanan alan miktarları ve bu alanların çalışma bölgesine göre yüzdeleri | 51 |
| **Tablo 17** | Yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli (ÜP) hesabı | 52 |
| **Tablo 18** | Alternatif arazilerin analizinden elde edilen sonuçlar | 58 |

# ŞEKİLLER DİZİNİ


| Şekil No | Şekil Adı | Sayfa No |
|---|---|---|
| **Şekil 1** | CBS tabanlı ÇKKA analizi akış şeması | 17 |
| **Şekil 2** | Üst düzey kriterler ve kriterler | 17 |
| **Şekil 3** | Çalışma Alanı | 21 |
| **Şekil 4** | CBS tabanlı ÇKKA analizi için hazırlanan model | 26 |
| **Şekil 5** | Üretilen güneş irradyasyonu kriter haritası | 28 |
| **Şekil 6** | Üretilen güneşlenme süresi kriter haritası | 29 |
| **Şekil 7** | Üretilen eğim kriteri haritası | 30 |
| **Şekil 8** | Üretilen bakı kriteri haritası | 31 |
| **Şekil 9** | Üretilen yıllık ortalama sıcaklık kriteri haritası | 34 |
| **Şekil 10** | Gözlemlenen ve türetilen sıcaklık verilerinin ilişkisini gösteren grafik | 34 |
| **Şekil 11** | Üretilen yıllık ortalama nispi nem kriteri haritası | 35 |
| **Şekil 12** | Gözlemlenen ve türetilen nispi nem verilerinin ilişkisini gösteren grafik | 35 |
| **Şekil 13** | Yeniden Sınıflandırılmış Eğim Haritası | 37 |
| **Şekil 14** | Yeniden Sınıflandırılmış Bakı Haritası | 38 |
| **Şekil 15** | Yeniden Sınıflandırılmış Güneş İrradyasyonu Haritası | 40 |
| **Şekil 16** | Yeniden Sınıflandırılmış Güneşlenme Süresi Haritası | 40 |
| **Şekil 17** | Yeniden Sınıflandırılmış Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası | 41 |
| **Şekil 18** | Yeniden Sınıflandırılmış Yıllık Ortalama Nispi Nem Haritası | 41 |
| **Şekil 19** | Yeniden Sınıflandırılmış Enerji İletim Hatlarına Uzaklık Haritası | 43 |
| **Şekil 20** | Yeniden Sınıflandırılmış Trafo Merkezlerine Uzaklık Haritası | 44 |
| **Şekil 21** | Yeniden Sınıflandırılmış Su Kaynaklarına Uzaklık Haritası | 44 |
| **Şekil 22** | Yeniden Sınıflandırılmış Ulaşım Ağlarına Uzaklık Haritası | 45 |
| **Şekil 23** | Yeniden Sınıflandırılmış Yerleşim Alanlarına Uzaklık Haritası | 45 |

| | | |
|---|---|---|
| **Şekil 24** | Yeniden Sınıflandırılmış Fay Hatlarına Uzaklık Haritası | 46 |
| **Şekil 25** | Yeniden Sınıflandırılmış Maden ve Taş Ozağı Alanlarına Uzaklık Haritası | 46 |
| **Şekil 26** | Weighted Sum aracının çalışma mantığı (ağırlıklı toplama işlemi) | 47 |
| **Şekil 27** | Uygunluk haritasının kurulum yapılamaz alanlar dışlanmadan önceki hali | 48 |
| **Şekil 28** | Çanakkale İli Güneş Enerjisi Santrali Uygunluk Haritası | 50 |
| **Şekil 29** | Alternatiflerin Google Earth Görünümleri | 54 |
| **Şekil 30** | Panel yerleştirilmiş arazilerin SketchUp yazılımındaki görünümü | 56 |
| **Şekil 31** | Ölçülen FV hücre sıcaklıkları ve kamera DN değerlerinin ilişkisini gösteren grafik | 59 |
| **Şekil 32** | Üretilen termal ortomozaik | 59 |

# BİRİNCİ BÖLÜM
# GİRİŞ

Enerji talebi hızlı nüfus artışı sebebiyle giderek artmaktadır ve Dünya Enerji Forumu'nun tahminlerine göre fosil enerji kaynaklı rezervlerin önümüzdeki yüzyıl içerisinde tükenmesi beklenmektedir (Cengiz ve Mamiş, 2016). Ayrıca fosil yakıtların kullanımı Dünya'nın dengesinin bozulmasına; bunun sonucunda sıcaklık artışları, mevsimsel farklılıklar, su seviyelerinde yükselmeler gibi günümüzü ve geleceği bağlayan büyük sorunların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, enerji ihtiyacının sürdürülebilir şekilde karşılanabilmesini ve çevresel etkilerin en aza indirilmesini sağlamak için yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır (Ağaçsapan, 2018). Güneş enerjisi, en çok araştırma ve yatırım yapılan yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer almaktadır.

Çanakkale ilinde yenilenebilir enerji kaynaklarında çeşitlilik vardır, ancak potansiyel düşünüldüğünde yeterli seviyede değildir. Çanakkale'de yenilenebilir enerji kaynaklarında rüzgar enerjisi ilk sırada yer almakta; mevcut durumda rüzgar santralleri fosil yakıtlı, özellikle termik santraller ile enterkonnekte sistemde denge sağlamaktadır. Üretim kaynakları fosil yakıtlarda yerli ve ithal kömür kaynaklıdır. Yeni planlanan santraller içerisinde rüzgar dışındaki diğer yenilenebilir enerji santrallerinin de artırılması gerekmektedir (Özgören ve Koyuncu, 2018).

Uygun bir yer seçme, güneş enerjisi projeleri geliştirme yönünde kritik bir adımdır (Lopez vd., 2012). Kapsamlı bir güneş enerjisi tesisi analizi yapmak, uygun maliyetli ve iyi performans gösteren bir güneş enerjisi projesi sağlamak için ilk adımdır. Potansiyel yerlerin bilinmesi, yıllık elektrik üretim tahmini ve finansal uygulanabilirlik için stratejik bir dönüm noktasıdır (Sengupta vd., 2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) entegrasyonu ile; daha güvenilir bir analiz yapılmakta, çeşitli kriterler ve kısıtlamalar hesaba katılarak harita üzerinde en uygun yerler belirlenebilmektedir.

Bu çalışma, Çanakkale ilinin Güneş Enerjisi Santrali (GES) arazi kurulumuna uygun yerlerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür ve belirlenen uygun alanlar içerisinden seçilen arazilerin ayrıntılı incelemeleri yapılmıştır.

Beş bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümü giriş, ikinci bölümü literatür bildirimi, üçüncü bölümü materyal ve yöntem, dördüncü bölümü araştırma bulguları ve beşinci bölümü ise sonuç ve öneriler bölümüdür.

# İKİNCİ BÖLÜM
# KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

## 2.1. CBS Tabanlı ÇKKA Yöntemi İle Yapılan GES Yer Seçimi Çalışmaları

Daha ekonomik, daha verimli ve çevre üzerinde daha az etkili olacak bir güneş enerjisi projesini ortaya koyma yolunda yer seçmek için çeşitli kriterler ve kısıtlamalar göz önünde bulundurulmalıdır. Kriterler genellikle çalışma amacına, coğrafi referanslı veri tabanına erişebilirliğe ve mevcut literatüre göre türetilmektedir. Bu çalışmanın kriter ve kısıtlamalarını seçmek üzere detaylı bir literatür taraması yapılmış ve seçim yapmayı kolaylaştırmak adına; literatürde kullanılan Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) yöntemleri, kriterler ve kısıtlamalar tablolaştırılmıştır. Önceki çalışmalarda kullanılan; ÇKKA teknikleri Tablo 1'de, kriterler Tablo 2'de ve kısıtlama faktörleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 2'den anlaşılacağı üzere; en sık kullanılan kriterler güneş irradyasyonu, ulaşım ağına uzaklık, eğim, iletim hatlarına uzaklık, kentsel alanlara uzaklık ve bakıdır. Kısıtlama faktörlerinin en çok kullanılanları da; korunan alanlar, ulaşım ağı, yerleşim alanları, arazi kullanımı ve örtüsü ile eğim faktörleridir.

Li (2013); hem makro hem de mikro ölçekte güneş paneli kurulumu için en uygun alanları belirlemiştir. Mikro ölçekli analiz Waterloo Üniversitesi (Kanada) kampüs bina çatılarına güneş paneli yerleştirmeyi dikkate alırken, makro ölçekli analiz şehir seviyesinde yer üstü montajını dikkate almıştır. Çalışmada mikro ölçekli analiz için, optimum sahaların seçilmesinde güneş radyasyonu kullanılabilirliği ana kriter olarak kabul edilmiştir. Kampüste seçilen beş binanın aylık ve yıllık güneş radyasyonu haritaları ve bina çatılarındaki gölgeleri kolayca tanımlamak üzere her bina için bir gölge maskesi oluşturulmuştur. Güneş radyasyon haritalarını oluşturmak için ilk geri dönüş LIDAR verisi, binaları ve diğer arazi özelliklerini tanımlamak için 10 cm'lik bir ortofoto kullanılmıştır. Engeller sebebiyle üzerine gölge düşmeyen ve güneye bakan çatılar, çatı güneş enerjisi tesisatları için en yüksek potansiyele sahip alanlar olarak düşünülmüştür. Makro ölçekli analizde ise çevresel, ekonomik ve sistem verimliliği faktörleri ile ilişkili çok kriterli analiz gerçekleştirilmiştir. Önerilen metodolojinin gerçek dünyadaki uygulamasını değerlendirmek için, Ontario'da güneş enerjisi şirketleri tarafından uygulanan yaklaşımlar ve veri setlerini araştırmak için bir anket uygulanmış, elde edilen

yanıtlar daha iyi çok kriterli analiz için kullanılmıştır. Şirketlere; binalara güneş paneli kurulumu için uygun bölgeleri nasıl değerlendirdikleri, panellerin nereye yerleştirileceğini belirlerken hangi konum veya fiziksel faktörleri dikkate aldıkları, ne tür veri veya bilgi kaynakları kullandıkları, yere monte kurulum ile karşılaştırıldığında bina çatısında güneş paneli kurulumu konusundaki değerlendirmelerin nasıl değiştiği, kurulum projesinin tamamlanmasından sonra müşteriye ne tür bir bakımın kaç yıl boyunca sağlandığı, güneş panellerini monte ederken karşılaşılan en önemli zorlukların neler olduğu ve ne gibi önlemler alınabileceği ile şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemi için hangi ek faktörleri göz önünde bulundurmaları gerektiği sorulmuştur. Güneş radyasyonu hesaplamaları için makro ölçekte 10 m mekansal çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi kullanılmıştır. Tarım arazisi ve açık alan kullanımları, erişilebilirlik ve arazi boşluğu baz alınarak yere monte güneş panelleri yerleştirmek için en erişilebilir veya uygun arazi kullanımı olarak dikkate alınmıştır. Önemli kriterlerin ağırlıkları değiştirilerek yedi senaryo altında duyarlılık analizi yapılmıştır. Çevreye duyarlı alanlar gibi istenmeyen alanlar güneş paneli saha seçim sürecinden binary (uygun olan ve olmayan) veri formatına sınıflandırma yapılarak çıkarılmıştır. Eğimi %4'ün üzerideki alanlar; yerleşim alanlarının 100 m'lik tamponu ve anayollara 10 m ve daha yakın mesafedeki alanlar hariç tutulmuştur. Küçük ayrık alanlar filtrelenerek şehrin çevresinde bulunan dört potansiyel alan seçilmiştir. Waterloo bölgesindeki sahalar ziyaret edilip arazi doğrulaması verileri toplanarak seçilen alanların fizibilite (uygulanabilirlik) değerlendirilmesi yapılmıştır ve yer seçimi sonuçlarının gerçekçi olduğu sonucuna varılmıştır.

Uyan (2017); Konya ili Çumra ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanları Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanarak belirlemiştir. Arazi kullanımı kriterinde; marjinal tarım arazileri dışında kalan tarım arazileri, orman arazileri ve çevre koruma alanları kısıtlanmış bölge olarak tanımlanmış ve uygun alanlar için AHY ile ağırlık değerleri hesaplanmıştır. İlerideki gelişmeler göz önüne alınarak kentsel alanlar ile nehirler, göller, sulak alanlar, kıyı alanı ve baraj alanlarına 1000 m; korunan alanlara ve ulaşım alanlarına 100 m'lik tampon oluşturularak bu alanlar hariç tutulmuştur. Çevresel olarak uygun olmayan alanlar için maskeleme yapılmış, böylece bu alanlar çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Ana kriterler için ikili karşılaştırmalar matrisi, güneş enerjisi santralleri için yer seçimi konusunda çalışmalarda bulunmuş özel sektör temsilcileri ile Konya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ÇED Şube Müdürlüğü'nde

görevli uzmanlarla yapılan görüşmeler ile oluşturulmuştur. Verilerin çoğu 1:25000 ölçekli haritalardan sayısallaştırılmış, tüm bu veriler raster formata dönüştürülmüştür. ArcGIS ModelBuilder fonksiyonunda Ağırlıklı Çakıştırma ile en uygun alanlar belirlenmiştir.

Noorollahi vd. (2016); İran'da güneş enerjisinden yararlanmaya uygun bölgeleri CBS ve Bulanık AHY ile belirlemiştir. İran'ın siyasi bölümlerine dayanarak yapılan bu araştırmada, 1057 bölge için sonuçlar araştırılmış ve analizi yapılmıştır. Delphi yöntemi ile güneş enerjisi santrallerinin konumlandırılması üzerine bazı anketler hazırlanmış ve dört uzmana (akademi, hükümet, endüstri) verilmiştir. Uzman değerlendirmelerinden 14 tane kriter elde edilmiş, ancak çalışmanın daha da karmaşıklaşmasını önlemek için en düşük puana sahip üç kriter elenmiştir. Kısıtlamalarla ilişkili katmanlar oluşturulmuş ve AND mantığı ile bu katmanlar birleştirilerek ülkedeki uygun olmayan bölgeler haritası hazırlanmıştır. Eğimi %11'in üzerindeki alanlar; şehirlere 2000 m, köylere ve faylara 500 m mesafenin içinde olan alanlar; orman ve tarım arazileri; enerji iletim hatlarına 50 km'den daha uzak bölgeler; korunan alanlara 2 km ve daha yakın bölgeler, ulaşım alanlarına 50 km'den daha uzak ve 100 m'den daha yakın bölgeler; nehirlere, göllere, sulak alanlara ve barajlara 1 km'den daha kısa mesafeli bölgeler; güneş irradyasyonu 1300 kWh/$m^2$/yıl'dan daha düşük olan yerler hariç tutulmuştur. Super Decisions yazılımı kullanılarak Bulanık AHY ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve kriter katmanları oluşturulmuştur. Basit Toplamlı Ağırlıklandırma (SAW) yöntemi ile CBS katmanları üst üste bindirilmiş ve arazi uygunluk haritası elde edilmiştir.

Gerçek (2018); CBS ve AHY ile güneş enerjisi santralleri için Malatya ilinde en uygun yer seçimi yapmıştır. Eğimi %20'nin üzerindeki alanlar, şehirsel alanların 500 m tamponu içinde kalan alanlar; karayolları, gölet ve barajların 100 m tamponu içinde kalan alanlar; bakısı kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı olan alanlar, doğalgaz hattının 7 m sağı ve solunda kalan alanlar hariç tutulmuştur.

Yousefi vd. (2018); CBS tabanlı bir Boolean ve Bulanık Mantık Modeli kullanarak Güneş Enerjisi Santrali yer seçimi yapmıştır. Çalışmada eğimi %10'un üzerinde olan alanlar; kentsel alanlara 2 km'den yakın, 20 km'den uzak ve kırsal alanlara 500 m'den yakın, 7 km'den uzak alanlar; tarım ve orman alanının 100 m tamponu içinde kalan alanlar; korunan alanların 300 m tamponu içinde kalan alanlar; yollara 10 km'den uzak, 1 km'den

yakın alanlar; mevsimlik ve sürekli nehirlere 500 m'den yakın, 20 km'den uzak alanlar, ana fay hatlarının 1 km'lik tampon tamponu içinde kalan alanlar Boolean model ile hariç tutulmuştur. Dışlanan alanlara 0, uygun alanlara 1 atanmış ve ikili haritalar üretilmiştir. AND operatörü ile tüm katmanlar birleştirilmiştir. Bulanık Mantık'ta harita piksellerinin bulanıklaştırılması için çeşitli bulanık üyelik fonksiyonları uygulanmıştır. Haritalar bulanık operatörler kullanılarak birleştirilmiştir. Farklı katmanları birleştirmek için bulanık bir operatör, bir katmandaki faktörler arasındaki ilişkiye ve etkileşime göre seçilmektedir. Tüm katmanları tek bir operatörle birleştirmek gerekli olmadığı için; OR, Gamma ve SUM operatörleriyle bulanık çıkarım ağı kullanılmıştır. Her faktör için alanların uygunluğu, önceki çalışmalar ve anonim uzman görüşleri kullanılarak tanımlanmıştır. Sonuç harita, Bulanık haritaların ve Boolean haritalarının birleştirilmesi sonucu elde edilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, çeşitli iklimler için hibrit yenilenebilir enerji santrallerinin yer seçimi için farklı modeller geliştirmek üzere benzer bir yaklaşım önerilmiştir. Ayrıca seçilen alanların enerji çıkış potansiyelini tahmin etmek ve bu potansiyelin çalışma alanındaki enerji talebini ne kadar karşılayabileceğini araştırma önerilmiştir.

Tahri vd. (2015); Fas'ın Varzazat şehrinde yer seçimi çalışması yapmıştır. Analiz yöntemi olarak AHY kullanılmıştır. İklim, orografi, arazi kullanımı ve konum olarak dört kriter; arazi kullanımı, eğim, bakı, güneş radyasyonu, yollara uzaklık, kentsel alana uzaklık ve arazi yüzey sıcaklığı olarak yedi faktör kullanılmıştır. İklim (güneş radyasyonu ve arazi yüzey sıcaklığı), alanların potansiyel elektrik üretimini tanımladığından en önemli kriter olarak ortaya çıkmıştır. Daha sonra, eğim ve bakıyı içeren orografi kriteri gelmiştir. Arazi kullanımı kriterinde, alanların tarımsal olup olmadığını belirlemek için LANDSAT OLI 8 uydu verisine Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) formülü uygulanmıştır. Bununla birlikte bitki örtüsü endeksleri ve su yolu haritaları ikili sınıflandırmada ifade edilmiştir. Konum kriteri kentsel alan ve yollara uzaklığı içermektedir. Güneş ışınımı, eğim ve bakı; CBS yazılımıyla mekansal analiz uygulanarak SYM'den elde edilmiştir. Arazi yüzey sıcaklıkları, LANDSAT OLI 8 termal bandından, piksel değerleri (DN) spektral radyansa dönüştürülerek ve spektral radyans ERDAS Imagine yazılımı ile Kelvin ve Santigrat derece biriminde sıcaklığa dönüştürülerek elde edilmiştir. Şehir ve kasabaların 2 km'lik tamponu içinde kalan alanlar hariç tutulmuştur.

Zoghi ve vd. (2015); İran'ın İsfahan şehrinde yer seçimi için AHY, bulanık mantık ve Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (WLC) yöntemlerini kullanmıştır. Şehrin 500 m, korunan alanların 1 km, ulaşım ağının 250 m ve sulak alanın 500 m'lik tamponu içinde kalan alanlar ile yoğun orman tampon kullanılmadan hariç tutulmuştur.

Georgiou ve Skarlatos (2016), yüksek bitki örtüsü alanlarını dışlamak için NDVI indeksinde 0.45'lik bir eşik kullanmış, yüzey sularını ve yerleşim alanlarını da Modifiye Edilmiş Normalize Fark Su İndeksi (MNDWI) ve Normalize Edilmiş Yerleşim Alanı İndeksi (NDBI) kullanarak hariç tutmuştur. Uzman kararlarının öznelliğine karşı; uzmanlardan elde edilen ağırlıkların değiştirildiği ve tüm kriterlerin eşit ağırlıkta ele alındığı farklı senaryolar altında inceleme yapılarak duyarlılık analizi yapılmıştır. 45°'nin üzerinde eğimli alanlar; kent, ulusal orman, NATURA 2000 alanlarının, arkeolojik alanların ve kıyı çizgisinin 200 m; enerji iletim hatlarının 2 km; yüzey sularının 100 m; havaalanının 2 km'lik tamponları içinde; yol ağının 2500 m'lik tamponu dışında kalan alanlar ile doğu, batı, kuzey, kuzeydoğu, kuzeybatı bakılı alanlar hariç tutulmuştur.

Suh ve Brownson (2016), Ulleung Adası için Bulanık AHY yöntemini kullanarak yaptığı çalışmada; ArcGIS solar radiation aracının doğru meteorolojiye dayalı hesaplama yapamama problemine çözüm olarak araç çıktısı olan güneş radyasyonu değerlerini, meteoroloji tarafından 2010 yılında değişik noktalarda gözlemlenen verilerle korelasyonlarını kullanarak modifiye etmiştir ve böyle yapmanın atmosferik geçirgenlik girdisindeki değişkenliği azaltacağını belirtmiştir. Araç çıktısı olan güneşlenme saati değerlerini ise, bu değerler ile meteoroloji tarafından 20 yıl boyunca birkaç noktada gözlemlenmiş ortalama güneşlenme saatleri arasında bir regresyon denklemi kullanarak modifiye etmiştir. Yaz aylarında ortalama günlük sıcaklık kriterinde 2010 yazında 94 gün boyunca saat 9 ile 16 arasında gözlemlenen veriler kullanılmıştır. Diğer mevsimler için günlük ortalama sıcaklığın elektrik üretmek için 20°'nin altında yani uygun olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan tamponlar; hidrografik alanlar ve yamaç kayması alanları için 10 m'dir. Duyarlılık analizi ve model doğrulama yapılmıştır.

Garni ve Awasthi (2017); kriter haritalarını AHY'den elde ettiği ağırlıkları kullanarak Weighted Sum Overlay ile üst üste bindirmiştir. Daha sonra potansiyel alanların mekansal dağılımlarını uygunluk haritası üzerinde görselleştirmek için bir arazi uygunluk

endeksi (LSI) geliştirmiştir. Duyarlılık analizi yapılmıştır. Eğimi 5°'nin üstünde olan ve yerleşim alanlarının, korunan alanların 1 km'lik, majör yolların 500 m'lik tamponları içinde kalan alanlar hariç tutumuştur.

Doljak ve Stanojevic (2017); Sırbistan'daki 56 istasyondan toplanmış 1961-2010 dönemi için yıllık ortalama güneşlenme süresi, bağıl nem ve hava sıcaklığına ilişkin verileri ve öngösterge olarak EU DEM, coğrafi enlem ve boylam ile SAGA GIS yazılımında Regresyon Kriging yöntemini kullanarak enterpolasyon yapmıştır. Arazi kullanımına ilişkin veriler 100 m çözünürlüğe ve 25 ha minimum harita birimine (MMU) sahip uydu görüntülerine dayanan Corine Arazi Örtüsü (CLC) 2012'den alınmıştır. Daha yüksek katman çözünürlüğünün yanı sıra kabiliyet kategorisine dayalı olarak tarım arazisi haritalarının entegre edilmesiyle daha doğru sonuçların elde edilebileceği belirtilmiştir. CLC'de çayırlar ve meralar, doğal bitki örtüsü ile bulunan tarım alanları; doğal otlak alanları; fundalıklar; sert yapraklı bitki örtüsü; orman-çalılık geçiş alanları; çıplak kayalıklar; çok seyrek bitki örtüsüyle kaplı alanlar ve yanmış alanlar dışında kalan diğer tüm alanlar dışlanmıştır. NDVI kriter olarak ele alınıp yeşil yaprakların en yüksek yoğunluğunu gösteren 1'e yakın değerlere daha düşük puanlar verilmiştir. AHY sonucu elde edilen kriterler (iklim, orografi, bitki örtüsü) ve faktörler (güneş irradyasyonu, güneşlenme süresi vd.) için ağırlıklı katsayılar, her kriterin ve faktörün önemini gösteren mekansal uygunluk endeksinde (SSI) çarpan olarak kullanılmış ve Sırbistan toprakları için raster veri şeklinde SSI haritası elde edilmiştir. Ardından en yüksek SSI değerlerine sahip yerlerde yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli hesaplanmış ve enerji üretimindeki yıl içi değişkenliği tespit etmek üzere sekiz lokasyonda modül sıcaklıkları hesaplanmıştır.

Tablo 1

Önceki çalışmalarda kullanılan ÇKKV teknikleri (Kocabaldır ve Yücel, 2020)

| Çalışmalar | AHY | TOPSIS | Bulanık AHY | ELECTRE-TRI | Bulanık Mantık | WLC | SAW | Boolean |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Li (2013) - [a] | X | - | - | - | - | - | - | X |
| Uyan (2017) - [b] | X | - | - | - | - | - | - | - |
| Gerçek (2018) - [c] | X | - | - | - | - | - | - | - |
| Noorollahi vd. (2016) - [d] | - | - | X | - | - | - | - | - |
| Yousefi vd. (2018) - [e] | - | - | - | - | X | - | - | X |
| Tahri et al. (2015) - [f] | X | - | - | - | - | - | - | - |
| Zoghi vd. (2015) - [g] | X | - | - | - | X | X | - | X |
| Suh-Brownson (2016) - [h] | - | - | X | - | - | - | - | X |
| Sanchez-Lozano vd. (2013) - [i] | X | X | - | - | - | - | - | - |
| Sanchez-Lozano vd. (2014) - [j] | - | - | - | X | - | - | - | - |
| Doljak-Stanojevic (2017) - [k] | X | - | - | - | - | - | - | - |
| Garni-Awasthi (2017) - [l] | X | - | - | - | - | - | - | - |
| Georgiou-Skarlatos (2016) - [m] | X | - | - | - | - | - | X | - |
| Effat (2013) - [n] | X | - | - | - | - | - | - | - |

Tablo 2

Önceki çalışmalarda kullanılan kriterler ve kullanım sıklıkları (Kocabaldır ve Yücel, 2020)

| Kriterler | [ a ] | [ b ] | [ c ] | [ d ] | [ e ] | [ f ] | [ g ] | [ h ] | [ i ] | [ j ] | [ k ] | [ l ] | [ m ] | [ n ] | ∑ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eğim | X | X | - | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | - | 12 |
| Bakı | X | - | X | - | - | X | X | - | X | X | X | X | - | X | 9 |
| Güneş irradyasyonu | X | - | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | 13 |
| Su kaynaklarına uzaklık | X | - | X | - | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3 |
| Ulaşım ağına uzaklık | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | - | X | X | X | 13 |
| Enerji iletim hatlarına uzaklık | X | X | X | X | - | - | X | X | X | X | - | X | X | X | 11 |
| Trafo merkezlerine uzaklık | - | X | X | - | - | - | - | - | X | X | - | - | - | - | 4 |
| Kentsel alanlara uzaklık | - | X | X | X | X | X | X | - | X | X | - | X | - | X | 10 |
| Arazi kullanımı ve örtüsü | - | X | - | X | X | X | - | - | - | - | - | - | X | - | 5 |
| Doğalgaz hatlarına uzaklık | - | - | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Fay hatlarına uzaklık | - | - | X | - | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Kum içeriği | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Maden/Taş ocağı alanlarına uzaklık | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Ortalama sıcaklık | - | - | - | X | - | - | - | X | X | X | X | X | - | - | 6 |
| Yükseklik | - | - | - | X | X | - | X | - | - | - | - | - | X | - | 4 |
| Bulutlu günler | - | - | - | X | - | - | X | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Tozlu günler | - | - | - | X | - | - | X | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Nemlilik | - | - | - | X | - | - | X | - | - | - | X | - | - | - | 3 |
| Arazi Yüzey Sıcaklığı | - | - | - | - | - | X | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Güneşlenme süresi | - | - | - | - | - | - | X | X | - | - | X | - | - | - | 3 |
| Yağmurlu ve bulutlu günler | - | - | - | - | - | - | X | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Arazi kullanım kabiliyeti | - | - | - | - | - | - | - | - | X | X | - | - | - | - | 2 |
| Arsa alanları | - | - | - | - | - | - | - | - | X | X | - | - | - | - | 2 |
| NDVI | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X | - | - | - | 1 |
| Ana yollardan görüş açıklığı | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X | - | 1 |

Tablo 3

Önceki çalışmalarda kullanılan kısıtlamalar ve kullanım sıklıkları (Kocabaldır ve Yücel, 2020)

| Kısıtlamalar | [ a ] | [ b ] | [ c ] | [ d ] | [ e ] | [ f ] | [ g ] | [ h ] | [ i ] | [ j ] | [ k ] | [ l ] | [ m ] | [ n ] | ∑ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Korunan alanlar | X | X | - | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | - | 12 |
| Su kaynakları | X | X | X | X | X | X | X | X | X | - | - | - | X | - | 10 |
| Eğim | X | - | X | X | X | - | - | - | - | - | - | X | - | - | 5 |
| Ulaşım ağı | X | X | X | X | X | - | X | - | X | X | - | X | X | X | 11 |
| Yerleşim alanları | X | X | X | X | X | X | X | X | - | X | - | X | X | - | 11 |
| Doğalgaz boru hattı | - | - | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Arazi kullanımı (tarım arazileri ve orman alanları) | - | X | - | X | X | X | X | X | X | - | X | - | X | X | 10 |
| Bakı | X | - | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X | - | 3 |
| Güneş irradyasyonu | X | - | - | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Enerji iletim hatları | X | - | - | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Maden/Taş ocağı alanları | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Kum içeriği | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Arazi uygunluğu (sakıncalı bölge veya kullanımda olmayan alanlar) | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Fay hatları | - | - | - | X | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Yükseklik | - | - | - | - | X | - | - | X | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Yamaç kayması - kaya düşmesi alanları | - | - | - | - | - | - | - | X | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Yüksek peyzaj değerli alanlar | - | - | - | - | - | - | - | X | - | X | - | - | - | - | 2 |
| Askeri alanlar | - | - | - | - | - | - | - | - | X | X | - | - | - | - | 2 |
| Altyapı (örn: su altyapısı) | - | - | - | - | - | X | - | - | X | X | - | - | - | - | 3 |
| Halk ilgi alanları (LICs) | - | - | - | - | - | - | - | - | X | X | - | - | - | - | 2 |
| Arazi Kullanım Kabiliyeti | - | X | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |

# ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
# ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

## 3.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri

CBS; konuma dayalı işlemlerle elde edilen geometrik verilerin ve öznitelik verilerinin toplanması, saklanması, analizi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir. CBS sayesinde bilgi akışı hızlanmakta, daha verimli üretim ve envanter yönetimi sağlanmakta, iş verimliliği artmakta, etkili ve doğru analizler yapılmakta, veri güncelleme kolaylığı sağlanmakta ve zaman kaybı önlenmektedir (Yomralıoğlu, 2015).

CBS, mekansal bir karar destek sistemi geliştirmek için coğrafi bilgiden yararlanma potansiyelini göstermiştir. CBS'de kullanılan veriler geometrik veriler ve öznitelik verileri olarak ikiye ayrılmaktadır. Öznitelik verisi, geometrik verilerle ilişkili olan ve veri tabanında tutulan tablosal verilerdir. Geometrik veri; yeryüzü üzerindeki detaylara ilişkin, belli bir referans sistemindeki konum koordinatları ile ifade edilen verilerdir ve vektör ve raster veri olarak ikiye ayrılmaktadır. Vektör veri; gerçek dünya üzerindeki konumu bilinen, koordinat bilgisine sahip olan veriler olup nokta, çizgi ve çokgen olarak üçe ayrılmaktadır. Raster veri, piksellere bağlı olarak temsil edilen veridir. Hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, farklı özellik ve formatlarda taranmış kağıt haritalar raster formatındadır (Yomralıoğlu, 2015).

Geometrik verilerin ve öznitelik verilerinin bellirli bir koordinat sistemi uzayında modellenmesi ve model sonuçlarının irdelenip yorumlanması işlemlerinin tümü mekansal analiz olarak tanımlanmaktadır (Yomralıoğlu, 2015). Mekansal analiz; en uygun yer bulma, yangın-sel-deprem-heyelan gibi afetler açısından riskli bölgeleri belirleme, eğim-bakı gibi yüzey analizlerini gerçekleştirme, güneşlenme süresini hesaplama, demografik analizleri gerçekleştirme ve bir noktadan diğer noktaya en az maliyetle ulaşımı sağlama vb. işlemleri kapsamaktadır (Kahraman ve Ünsal, 2014). Mekansal analiz türleri dokuz başlık altında toplanabilir (Yomralıoğlu, 2015):

- Konumsal Sorgulamalar: Geometrik bilgilerden tablosal bilgilere veya bunun tersi veya tablosal bilgiden yine tablosal bilgiye erişme işlemleridir.
- Çakıştırma (Overlay) Analizleri: Aynı koordinat sistemi içerisinde bulunan farklı özelliklere sahip harita katmanlarının üst üste çakıştırılarak bindirilmesidir.
- Yakınlık (Tampon) Analizi: Herhangi bir coğrafi detayın çevresindeki diğer detaylara olan uzaklıklarının irdelenmesidir. Referans kabul edilen detayın etrafında istenen uzaklıkta yeni bir bölge ya da istenen uzaklıklarda yeni bölgeler oluşturulur.
- Sınır İşlemleri: Ayırma (clipping), silme, güncelleştirme, kenarlaştırma-birleştirme ve sınır kaldırma işlemlerini kapsayan işlemlerdir.
- Ağ Analizleri: Şebeke yapısına sahip, çizgi tabanlı coğrafi varlıkların bağlantı şekillerinden, karar vermeye yönelik sonuç çıkarma işlemleridir.
- Geometrik İşlemler: Koordinat tayini, uzunluk ölçme, açı ölçme, alan ölçme işlemlerini kapsamaktadır.
- Sayısal Yükseklik Analizleri: Eğim hesabı, bakı hesabı, görünürlük analizi, kesit çıkarma ve hacim hesabı işlemlerini kapsamaktadır.
- Grid Analizleri: Raster yapıdaki veriler kullanılarak yapılan işlemlerdir.
- İstatistiksel Analizler: Öznitelik tablosundaki kayıtların toplam değeri, en büyük ve en küçük değeri veya bu kayıtların ortalaması ya da standart sapmasının sorgulanması, verilerin sıklık derecesi, normal dağılımda olup olmadıklarının irdelenmesi işlemlerini kapsamaktadır.

CBS'nin diğer tekniklerle entegrasyonu, politika yapıcıların seçimlerini iyileştirmeleri ve çeşitli öznel ve çelişkili kriterleri göz önünde bulundurarak seçeneklerini optimize etmeleri için daha iyi bir görüş geliştirir. CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Verme aracı; düzenli depolama alanı seçimi, şehir planlama ve yenilenebilir enerji alanları gibi farklı uygulamalar için en uygun yerleri elde etmek üzere genel olarak mekansal analizde uygulanmaktadır. İki alanı birleştirme, onların avantajlarını bir araya getirir ve en uygun yer seçimi için daha güvenilir bir karar sunar (Garni ve Awasthi, 2018).

### 3.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

CBS-ÇKKV'nin araştırması; WLC, AHY, ELECTRE (Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim Yöntemi) ve TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğine Göre Tercih Sırası Tekniği) gibi oldukça az sayıda yaklaşıma odaklanmıştır (Garni ve Awasthi, 2018). Saaty tarafından geliştirilen AHY, yer alternatiflerinin sıralamasını kolaylaştırmak için en çok uygulanan ÇKKV aracıdır. (Garni ve Awasthi, 2018). Yenilenebilir ve konvansiyonel enerji planlaması, enerji kaynaklarının tahsisi, bina enerji yönetimi ve elektrik hizmetleri planlaması dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere birçok alanda birçok yazar tarafından popüler bir şekilde kullanılmıştır (Pohekar ve Ramachandran, 2003). CBS ve AHY entegrasyonunda; AHY, kriter haritaları katmanlarıyla ilişkili ağırlıkları tahmin etmek için bir araç olarak CBS'ye entegre edilmiştir. Ağırlıklar tahmin edildikten sonra, WLC gibi bir kombinasyon kuralı kullanılarak kriter katmanlarıyla birleştirilirler (Garni ve Awasthi, 2018). AHY'nin bağımsız bir yöntem olarak kullanılmasının yanı sıra; TOPSIS, WLC ve bulanık metotlar dahil olmak üzere diğer ÇKKV teknikleri ile AHY entegrasyonu üzerine de çalışmalar vardır. AHY ve TOPSIS'in birlikte kulllanıldığı çalışmalarda; AHY kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için, TOPSIS ise farklı alternatifleri uygunluklarına göre sıralamak için kullanılmaktadır.

İdeal nokta yöntemleri, karar alternatiflerini bazı referans noktalarından ayrılmalarına göre sıralamaktadır. Seçilen alternatifin, pozitif ideal çözüme en kısa ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip olması gerekmektedir. Nihai sıralama, yakınlık indeksi kullanılarak elde edilmektedir. En popüler CBS tabanlı ideal nokta yöntemi TOPSIS'tir (Garni ve Awasthi, 2018).

Outranking (Üstünlük) metotları, her karar kriterindeki alternatiflerin ikili olarak karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu yaklaşımın ana prosedürü uyum ve uyumsuzluk ölçülerini uygulamaktır. Uyum ölçüsü, alternatif i'nin rakip alternatif j'den daha kötü olmadığı uyum kümesine, tüm kriterlerin alt kümesine dayanırken; uyumsuzluk, alternatif i'nin rakip alternatif j'den daha kötü olduğu uyumsuzluk kümesine dayanır (Malczewski ve Rinner, 2015). Üstünlük yaklaşımlarının amacı, diğer alternatiflere ağır basan ve başka hiçbir alternatifin egemenliğinde olmayan bir alternatif bulmaktır. Üstünlük ayrıca en iyi

alternatifi bulmak için kriterlerin ağırlıklarının bilinmesini de gerektirir (Cho, 2003). Uyum ve uyumsuzluk ölçülerine dayalı olarak her bir alternatif için toplam puanı hesaplamak için birçok formül vardır. CBS ile bütünleşmiş en yaygın teknikler ELECTRE ve PROMETHEE'dir (Malczewski ve Rinner, 2015).

### 3.2.1. Analitik Hiyerarşi Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Yöntemi, karmaşık problemlerin çözümünde birbiriyle ilişkili kriterleri analiz etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemle ağırlıkların belirlenmesi oldukça sağlıklı sonuçlar vermektedir (Uyan 2017). Genel olarak, AHY uluslararası bilimsel topluluk tarafından karmaşık karar problemlerinin çözülmesini kolaylaştırmak için sağlam ve esnek bir ÇKKV tekniği olarak kabul edilmiştir (Elkarmi ve Mustafa 1993). AHY hesabının adımları aşağıdaki biçimdedir:

- Kriterlerin önemlilik bakımından ikili karşılaştırmalarının yapılmasıyla ikili karşılaştırmalar matrisi (A matrisi) oluşturulur. İkili karşılaştırmalar EK-1'deki önem dereceleri tablosuna (karşılaştırma ölçeği) göre yapılır.
- İkili karşılaştırmalar matrisi, matristeki her bir elemanın kendi sütun toplamına bölünmesiyle normalize edilir.
- Öncelikler vektörü (w vektörü), normalize edilmiş matrisin satır ortalamalarının alınmasıyla elde edilir ve bu vektördeki değerler her bir kriter için hesaplanan ağırlıklardır.
- Tutarlılık oranı hesaplanır. Bunun için öncelikle tutarlılık indeksi (CI) eşitliğinde kullanılacak olan $\lambda_{max}$ hesaplanır. $\lambda_{max}$; A matrisi ile w vektörünün çarpımından elde edilen vektörün elemanlarının, w vektöründe kendilerine karşılık gelen elemanlara bölünmesiyle elde edilen vektör elemanlarının ortalaması alınarak elde edilir. Tutarlılık indeksi eşitliği, Denklem 3.1'de verilmiştir. Tutarlılığı değerlendirebilmek için Rassal İndeks (RI) değerinin bilinmesi gerekmektedir, karşılaştırmalar matrislerinin boyutlarına göre değişen RI değerleri Tablo 4'te verilmiştir. CI değeri hesaplanıp RI değerinin öğrenilmesinin ardından tutarlılık oranı (CR) Denklem 3.2 ile hesaplanır. CR'nin 0.1'den küçük çıkması

karşılaştırmalar matrisinin tutarlı olduğunu gösterir ve aksi durumda ikili karşılaştırmaların yeniden yapılması gerekir.

$$CI = \frac{\lambda \max - n}{n-1} \quad (3.1)$$

Tablo 4

Karşılaştırma matrislerinin boyutlarına göre RI değerleri (Wang, 2010)

| **n** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **RI** | 0 | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 | 1.51 | 1.53 | 1.56 | 1.57 | 1.59 |

$$CR = \frac{\text{CI}}{\text{RI}} \quad (3.2)$$

### 3.3. Fotovoltaik Sistemlerle Elektrik Enerjisi Üretimi

Güneş pili (veya fotovoltaik hücre), yüzeyine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren silikon temelli (deniz kumu) yarı iletken bir maddedir. Güneş pilleri üretim şekillerine göre çeşitlere ayrılmaktadır. Monokristal silikon hücreli güneş pilleri, tek kristalli olup yüksek verimli (%20) ve uzun ömürlü fakat diğer çeşitlerine göre pahalıdır. Polikristal silikon hücreli güneş pilleri ise verimlilik kapasitelerinin (%16) maliyete oranının yüksek olmasından dolayı en sık üretilen ve en çok kullanılan teknolojidir. FV hücreler FV sistemlerin en küçük birimidir. Çok sayıda fotovoltaik hücrenin seri veya paralel olarak bağlanması ile panel, panellerin seri veya paralel bağlanması ile dizi oluşur ve diziler de güç santralini oluşturur. Güneş panelleri güneş ışınlarını DC (doğru akım) elektrik enerjisine çeviren modüllerdir. Fotovoltaik sistemin ikinci önemli elemanı olan çeviriciler, DC gücü AC (alternatif akım) güce çeviren elektronik cihazlardır (Cezim, 2013). Doğru akım günlük hayatta kullandığımız birçok elektriksel cihaza uygun değildir, çeviricilerin gerekliliği bu yüzdendir.

FV sistemlerin kullanım şekli olarak şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı sistemler olarak iki çeşit uygulaması vardır. Şebeke bağlantılı sistemler transformatörlerle orta ve yüksek gerilim hatlarına bağlanırlar ve üretilen elektriğin şebekeye satışı yapılır. Şebekeden bağımsız sistemler ise enerjinin şebekeye verilerek satılmadığı, tesisin sadece kendi enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan sistemlerdir (Cezim, 2013).

Güneş enerjisi ile elektrik üretiminin üstünlükleri için; temiz ve ekolojik olması, ülkenin enerji sektöründeki bağımsızlığına katkı sağlaması ve elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde elektrik enerjisinden yararlanma imkanı sağlaması sayılabilir. Kusur olarak da; güneş ışınımının kış aylarında az olması ve geceleri hiç olmaması, sistemin gölge yapacak engel içermeyen çevreye sahip geniş arazi gerektirmesi ve mevzuat açısından engellere maruz kalması söz konusudur (Cezim, 2013).

### 3.4. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçimi Uygulaması

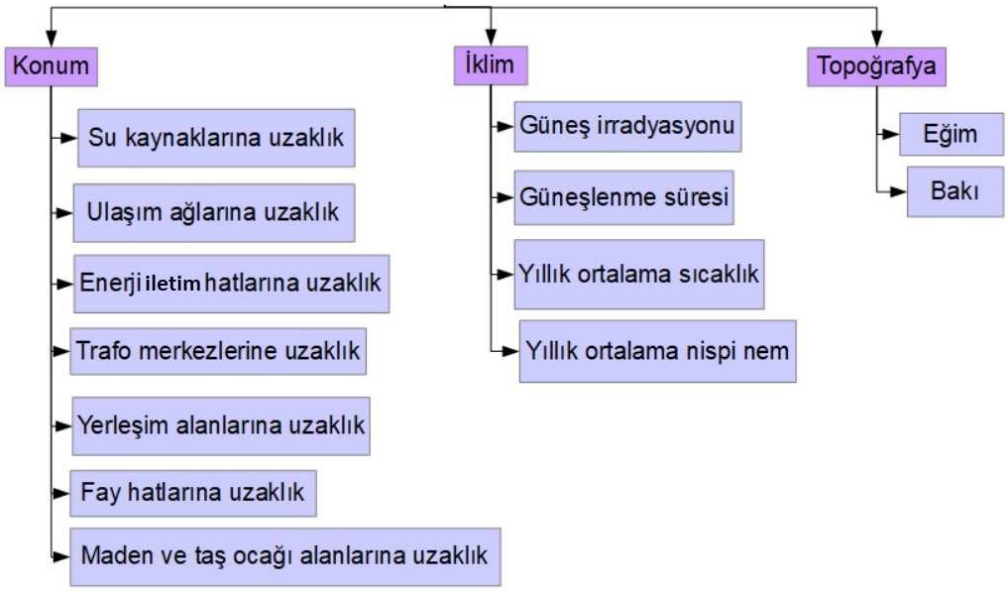
CBS tabanlı ÇKKA yöntemiyle yapılan yer seçimi çalışmaları, yer seçimine etki eden çeşitli kriterlerin ve kısıtlamaların dikkate alınmasıyla gerçekleştirilen mekansal analiz işlemlerine dayanır. Bu tür bir çalışmanın tamamlanmasıyla elde edilen çıktı, çalışma bölgesindeki uygunluk durumlarını ve kullanılamayacak alanları gösteren bir haritadır. Çanakkale ili için gerçekleştirilen bu çalışma için; Şekil 1 akış şemasını göstermektedir ve işlem adımları şu şekildedir:

- Çalışmanın kriterlerinin ve kısıtlama faktörlerinin belirlenmesi
- Veri temini ve katmanların hazırlanması
- Kriter ağırlıklarının AHY ile hesaplanması ve çakıştırma analizinde bu ağırlıkların kullanımıyla uygunluk haritasının elde edilmesi
- Kısıtlama faktörlerinin ikili katman altında birleştirilmesi ile elde edilen kurulum yapılamaz alanların uygunluk haritasından hariç tutulması ile sonuç haritanın üretimi




Şekil 1. CBS tabanlı ÇKKA analizi akış şeması

Kriterlerin ve kısıtlamaların seçilmesi, literatürdeki kullanım sıklığı ve yasal düzenlemeler dikkate alınarak ve verinin elde edilip edilemeyeceğine göre yapılmıştır. Şekil 2 seçilen kriterleri göstermektedir.




Şekil 2. Üst düzey kriterler ve kriterler

Seçilen kısıtlama faktörleri ise; maden - taş ocağı alanları, çayır ve meralar, ormanlar, sulama alanları, mutlak tarım - dikili tarım ve özel ürün arazileri, barajlar ile akarsu - göl ve deniz sahil şeritleri, içme ve kullanma suyu temin edilen su kaynakları, sulak alanlar, karayolları, diri faylar, yerleşim alanları, eğim, bakı, arazi kullanım kabiliyeti, askeri ve askeri yasak bölgeler, korunan alanlar ve heyelan alanlarıdır. Seçilen kriterlerin ve kısıtlamaların yer seçimine etkileri şu şekilde ele alınmıştır:

- Belirli bir zaman aralığında birim alana düşen güneş enerjisi miktarı, yani güneş irradyasyonu; literatürün büyük çoğunluğunda en önemli karar kriteri olarak öne çıkmıştır. Güneşlenme süresi ise, güneş ışınımı olmadığında enerji üretimi olmayacağı için önemli bir kriterdir. Arazilerin güneş irradyasyonu değerleri ve güneşlenme süreleri arttıkça doğru orantılı olarak elektrik üretimi potansiyelleri ve dolayısıyla uygunlukları da artacaktır.
- Eğim kriterinde eğimin az olması hafriyat maliyetleri açısından en uygunken, bakı kriterinde arazilerin güney cepheli olması en uygundur. Çünkü güney yamaçlar kuzey yamaçlara göre daha uzun süreli ve daha dik olarak güneş ışınlarını almaktadır.
- Literatürde ortamın hava sıcaklığının artmasının panel verimini azalttığı belirtilmektedir. Fotovoltaik hücre sıcaklığındaki bir artış, voltajda bir düşüşe ve elektrik akımında hafif bir artışa neden olmaktadır. Sıcaklık; azınlık taşıyıcısı ömrü, taşıyıcı hareketliliği ve difüzyon gibi bazı parametreleri de etkilemekte ve güneş hücrelerinde rekombinasyonu arttırmaktadır (Bayrakci ve ark., 2014). Çalışmalar 25°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hücre sıcaklığındaki her 1°C artış için, üretilen enerji miktarında yaklaşık % 0.4 - % 0.5 arasında azalma olduğunu göstermiştir (Noorollahi, 2016).
- Nem, güneş ışığının ışınım seviyesini ve fotovoltaik hücre muhafazasına girişini etkilemektedir. Bu nedenle nemdeki artış, güneş panellerinin verimliliği ile ters orantılıdır.
- Su kaynaklarına taşkın riski sebebiyle hem fazla yakınlık istenmemekte hem de panellerin temizliği amacıyla fazla uzaklık istenmemektedir.
- Ulaşım ağlarına uzaklık kriterinde; santral kurulumunda nakliyatı sağlamak adına yapılacak yeni yollar ve altyapı çalışmaları için ek maliyetlerden

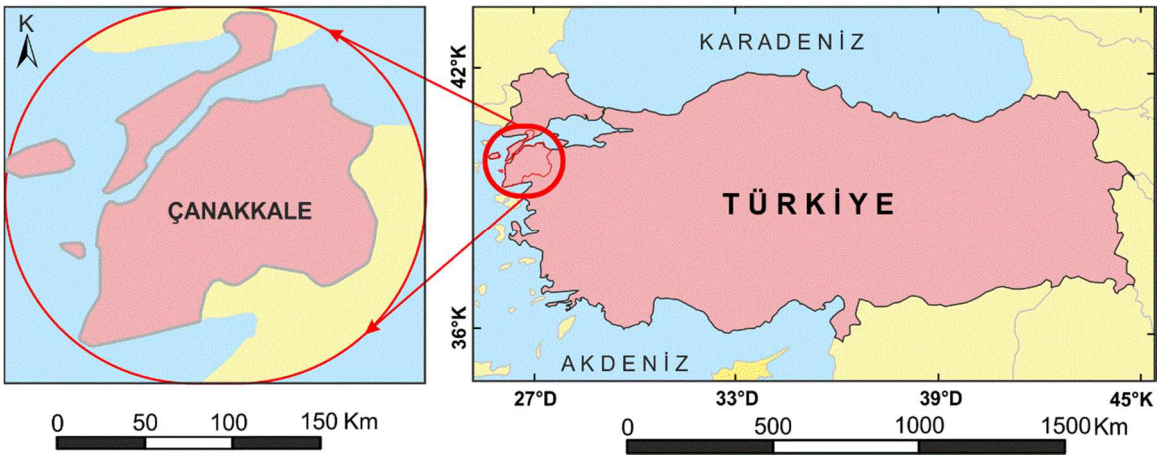
kaçınma amacıyla yollara yakınlık istenmektedir. Yakınlık arttıkça uygunluk artmaktadır.

- Santralin enerji iletim hatlarına ve trafo merkezlerine yakın olması, yeni hatların kurulmasının yüksek maliyetinden kaçınmanın yanı sıra iletimdeki güç kaybını en aza indirmeye yardımcı olmaktadır. Yakınlık arttıkça uygunluk artmaktadır.
- Yerleşim alanlarına uzaklık kriterinde tüketiciye yakınlık ekonomik açıdan faydalıdır, yakınlık arttıkça uygunluk artmaktadır. Fakat ilerideki alansal gelişmeleri göz önünde bulundurularak bu alanların belli bir tampon mesafesi içinde kurulum tercih edilmemektedir.
- Fay hatlarına uzaklık kriteri, olabilecek depremlerin santrale olumsuz etkisinden kaçınmak için dikkate alınan bir kriterdir. Uygunluk ile ters orantılıdır.
- Maden / Taş ocağı alanlarına uzaklık kriterinde, tozlanma sebebiyle bu alanlara yakınlık istenmemektedir. Bu alanlara yakınlık arttıkça uygunluk azalmaktadır.
- 26 Nisan 2018 tarihli Tarım Arazilerinin Korunması, Kullanılması ve Planlanmasına Dair Uygulama Talimatı hükümleri uyarınca; mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri, sulu tarım arazileri, sulu-kuru I, II, III, IV. sınıf tarım arazileri ve çevre arazilerde tarımsal kullanım bütünlüğünü bozan alanlarda, güneş enerjisine dayalı başvurular kabul edilmemektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018).
- 4 Nisan 2014 tarihli ve 28962 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği uyarınca; güneş santralleri, sulak alan koruma bölgelerinde yapılması bakanlık iznine tabi olan faaliyetlerden olup, tampon bölgede uygulama esaslarına tabidir. Tampon bölge; varsa sürdürülebilir koruma bölgesi, yoksa hassas koruma bölgesi sınırından itibaren en az 2500 metre mesafeden geçen bölgedir (Resmi Gazete, 2014).
- 28 Ekim 2017 tarihli ve 30224 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik uyarınca; güneş ve rüzgar enerji santrali kurulmasına, orta mesafeli ve uzun mesafeli koruma alanlarında, Bakanlığın ilgili düzenleyici işlemlerinde yer alan hükümlerin sağlanması şartıyla izin verilebilmektedir (Resmi Gazete, 2017).

- 17 Nisan 1990 tarihli 20495 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Kıyı Kanunu'nda; deniz, tabii ve suni göl ve akarsular için kıyı kenar çizgisinden itibaren kara yönünde yatay olarak en az 100 metre genişliğindeki alan sahil şeridi olarak tanımlanmıştır (Resmi Gazete, 1990).
- Şenlik (2017), biyolojik çeşitlilik ve ekosistem açısından hassas bölgeler kategorisinde yer alan; doğal sit alanları, orman alanları, sulak alanlar, su toplama havzaları, çayırlık alanlar, verimli meralar, sazlık ve bataklık alanlar, milli parklar, yaban hayatı koruma ve geliştirme bölgeleri, özel çevre koruma bölgeleri, tabiatı koruma alanları, kıyı ve sahil bölgeleri ile kuru göl yatakları, nehir yatakları, tuzlalar ve deltalar üzerinde GES kurmak bir yana bu hassas bölgelerin etki alanı içinde veya yakınında yer seçimi yapılmaması gerektiğini belirtmiştir.

### 3.4.1. Çalışma Alanı ve Coğrafi Özellikleri

Çalışma alanı, Çanakkale il sınırları içerisinde kalan tüm alanı kapsamaktadır. Şekil 3, çalışma alanını göstermektedir. Çanakkale; Türkiye'nin kuzeybatısında, Avrupa ve Asya kıtalarını birbirinden ayıran Çanakkale Boğazı'nın iki yakasında bulunmaktadır. İlin toplam alanı 9933 $km^2$ olup 671 km'lik kıyı şeridine sahiptir. Topoğrafya olarak genellikle dağ ve tepelerle kaplı alanların vadilerle parçalanmış olduğu engebeli bir görünümdedir. Akarsu ağızlarında ve geniş tabanlı vadilerde görülen ovalar Çanakkale'de az yer kaplamaktadır. İl yüzölçümünün %55'i ormanlık alandan oluşmaktadır. İklimi geçiş iklimi özellikleri göstermektedir, genel karakteriyle Akdeniz iklimi özelliklerini yansıtır. Maksimum sıcaklık +35.8°C ile Ağustos ayında, minimum sıcaklık -4.2°C ile Şubat ayındadır. Yılın büyük bir kısmı rüzgarlı geçmektedir, kuzey rüzgarları egemendir. Yaz aylarında yağış miktarı oldukça düşüktür. Ortalama nem oranı %72.6'dır. Karla örtülü gün sayısı en fazla 8 gün kadardır (Anonim, 2021).




Şekil 3. Çalışma Alanı

### 3.4.2. Yazılım ve Donanım Özellikleri

Çalışmada verilerin hazırlanması ve mekansal analizlerin gerçekleştirilmesi için ESRI firmasının ArcGIS yazılımının 10.3.1 sürümü kullanılmıştır. Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Microsoft Excel kullanılmıştır. Diğer analizler için; Google Earth, SketchUp, RETScreen Expert ve Agisoft Metashape Professional 1.5.1 yazılımları da kullanılmıştır. Donanım olarak Lenovo marka Y50-70 model dizüstü bilgisayar kullanılmıştır ve bu bilgisayarın özellikleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5

Çalışmada kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri

| İşletim Sistemi | İşlemci | RAM | Grafik Kartı | Depolama |
|---|---|---|---|---|
| Windows 7 (64-bit) | Intel® Core™ i7-4710HQ CPU @ 2.50GHz (Dört Çekirdekli) | 16 GB | GeForce GTX 860M (4GB) | SSD |

### 3.4.3. Konumsal Veri Temini

Temin edilmesi gereken veriler, çalışmada kullanılacak olan kriter ve kısıtlamaların seçilmesinden sonra kamu kurumlarından ve ücretsiz coğrafi veri sağlayan internet siteleri aracılığıyla temin edilmiştir. Tablo 6 veri kaynaklarını göstermektedir.

Tablo 6

Veri kaynakları

| Veri | Kaynak | Ölçek / Çözünürlük | Veri Tipi |
|---|---|---|---|
| Çanakkale il ve ilçe sınırları | T.C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü | | Vektör/Çokgen |
| Sayısal Yüzey Modeli (ASTER GDEM v2) | ASTER ve NASA | 30 m | Raster |
| Arazi kullanım kabiliyet sınıflaması, mutlak tarım, dikili tarım ve özel ürün arazileri, çayır-mera alanları, orman alanları, baraj-göl-akarsular, sulak alanlar, sulama alanları, yerleşim alanları | Çanakkale İl Tarım ve Orman Müdürlüğü | 1:25.000 | Vektör/Çokgen |
| Kentsel gelişme alanları, askeri ve askeri yasak bölgeler, korunan alanlar, içme ve kullanma suyu temin edilen su kaynaklarının koruma alanları | Çevre Düzeni Planı - T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı CBS Genel Müdürlüğü (geoportal) | 1:100.000 | Sayısallaştırma-Vektör/Çokgen |
| Sit alanları | Çanakkale Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü | 1:25.000 | Vektör/Çokgen |
| Diri faylar | MTA Yer Bilimleri ve Harita Görüntüleyici Çizim Editörü | 1:25.000 | Sayısallaştırma-Vektör/Çizgi |
| Heyelan alanları | | | Sayısallaştırma-Vektör/Çokgen |
| Maden ve taş ocağı alanları | Çanakkale İl Tarım ve Orman Müdürlüğü | 1:25.000 | Vektör/Çokgen |
| | Avrupa Çevre Ajansı Corine Arazi Örtüsü (CLC) 2018 | 100 m | |
| | OpenStreetMap | | |
| Ortalama yıllık sıcaklık ve bağıl nem | Çanakkale Meteoroloji Müdürlüğü | | Öznitelik |
| Enerji iletim hatları ve trafo merkezleri (2018) | Türkiye Elektrik İletim A.Ş. 2. Bölge Müdürlüğü BURSA | | Vektör/Çizgi |
| Ulaşım ağları | OpenStreetMap | | Vektör/Çizgi |

### 3.4.4. Projeksiyon Sistemi ve Dönüşümler

CBS uygulamalarında doğru sonuçların elde edilebilmesi için kullanılan tüm verilerin ortak koordinat sisteminde olması gerekmektedir. Çalışmada tüm verilerin, UTM Dilim 35 (WGS84) projeksiyon koordinat sistemine dönüştürülmesi işlemi ArcGIS yazılımında gerçekleştirilmiştir.

### 3.4.5. Kriter Ağırlıklarının AHY İle Hesaplanması

AHY hesabında kriter sayısının 9'u aşmaması gerekmektedir (Saaty, 2003; Goepel, 2014). Bu çalışmanın kriter sayısının 13 olmasından dolayı, AHY hesabında kriter grupları ayrı ayrı kendi aralarında karşılaştırılmıştır ve üst düzey kriterlerin (konum, iklim ve topoğrafya) hesaplanan ağırlıklarına oranlama yapılarak her bir kriterin final ağırlığı elde edilmiştir. Örneğin; iklim üst düzey kriterinin ağırlığının 0.6333 ve güneş irradyasyonu kriterinin ağırlığının 0.5334 olduğu dikkate alındığında, oranlama "1'de 0.5334 ise 0.6333'te kaçtır" şeklinde olup, güneş irradyasyonu kriterinin final ağırlığı olarak 0.3378 değeri elde edilmiştir. Hesaplamayı dört ayrı AHY hesabı şeklinde yürütmek, 13 kriterin tek bir matriste ele alındığı duruma göre, ikili karşılaştırma sayısını 78'den 31'e düşürmüştür. Böylece hem uzmanların işi kolaylaştırılmış hem de tutarlılığı sağlamak kolaylaşmıştır. AHY hesabını yapabilmek için uzman görüşlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Uzmanların önem derecelendirmesini yapabileceği bir anket formu hazırlanarak uzmanlara mail yoluyla gönderilmiştir. Hazırlanan bu anket fomu EK-1'de verilmiştir. Beş adet elektrik mühendisinden geri dönüş alınmıştır ve her bir uzmandan gelen derecelendirmenin AHY hesabı yapılarak tutarlılık kontrolü yapılmıştır. Sonrasında beş uzmanın derecelendirmesi ile literatürdeki derecelendirmeler dikkate alınarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur ve bu matrisler Tablo 7'de verilmiştir. Hesaplama sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 8'de ve üst düzey kriterlerin ağırlıkları ile kriterlerin final ağırlıkları Tablo 12-13 ve 14'te gösterilmiştir. Tutarlılık oranı; üst düzey kriterlerin AHY hesabı için 0.0334, konum kriterlerinin AHY hesabı için 0.0692 ve iklim kriterlerinin AHY hesabı için 0.0289 olarak hesaplanmıştır ve bu değerlerin 0.1'in altında olduğunun tespitiyle ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 7

AHY hesabının ikili karşılaştırma matrisleri

| **Üst düzey** | Konum | İklim | Topoğrafya |
|---|---|---|---|
| Konum | 1 | **0.33** | **3** |
| İklim | 3 | 1 | **5** |
| Topoğrafya | 0.33 | 0.20 | 1 |

| **Konum** | Su kayn. | Ulaşım | Enerji iletim hatları | Trafo merkezi | Yerleşim | Fay hattı | Maden/ Taş ocağı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Su kaynaklarına uzaklık | 1 | **0.33** | **0.14** | **0.20** | 1 | **3** | **3** |
| Ulaşım ağlarına uzaklık | 3 | 1 | **0.20** | **0.20** | **3** | **7** | **5** |
| Enerji iletim hatlarına uzaklık | 7 | 5 | 1 | 1 | **5** | **9** | **9** |
| Trafo merkezlerine uzaklık | 5 | 5 | 1 | 1 | **5** | **9** | **9** |
| Yerleşim alanlarına uz. | 1 | 0.33 | 0.20 | 0.20 | 1 | **7** | **7** |
| Fay hatlarına uzaklık | 0.33 | 0.14 | 0.11 | 0.11 | 0.14 | 1 | 1 |
| Maden/Taş ocağı alanlarına uz. | 0.33 | 0.20 | 0.11 | 0.11 | 0.14 | 1 | 1 |

| **İklim** | Güneş irradyasyonu | Güneşlenme süresi | Yıllık ort. sıcaklık | Yıllık ort. nispi nem |
|---|---|---|---|---|
| Güneş irradyasyonu | 1 | **2** | **7** | **7** |
| Güneşlenme süresi | 0.50 | 1 | **5** | **5** |
| Yıllık ort. sıcaklık | 0.14 | 0.20 | 1 | **2** |
| Yıllık ort. nispi nem | 0.14 | 0.20 | 0.50 | 1 |

| **Topoğrafya** | Eğim | Bakı |
|---|---|---|
| Eğim | 1 | **2** |
| Bakı | 0.50 | 1 |

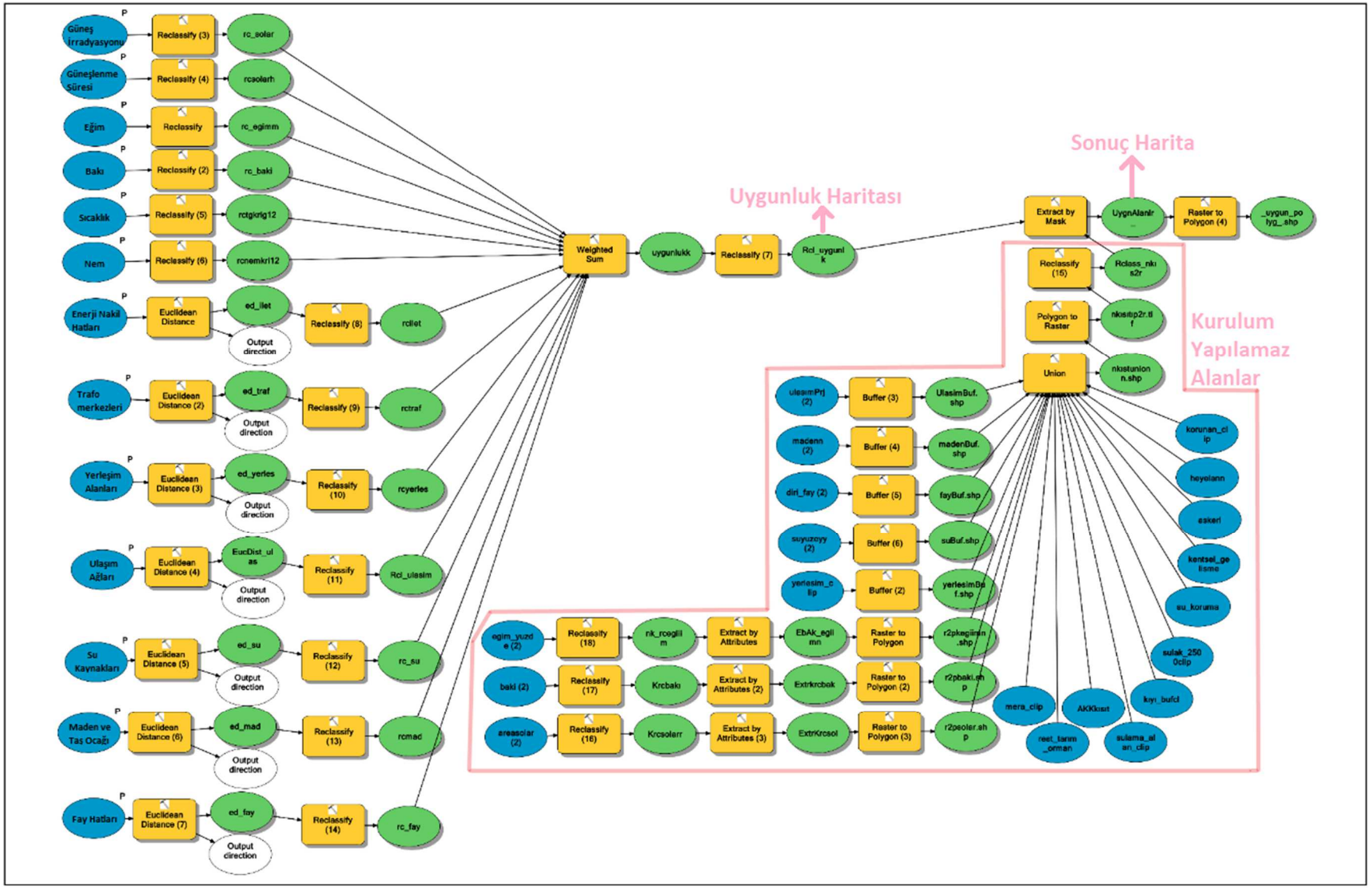
Tablo 8

Kriter gruplarının AHY hesaplarından elde edilen ağırlıklar (W matrisleri)

| İklim Kriterleri | Ağırlıklar (W) | Konum Kriterleri | Ağırlıklar (W) | Topoğrafya Kriterleri | Ağırlıklar (W) |
|---|---|---|---|---|---|
| Güneş İrradyasyonu | 0.5334 | Enerji iletim hatlarına uz. | 0.3366 | Eğim | 0.6667 |
| | | Trafo merkezlerine uz. | 0.3204 | | |
| Güneşlenme Süresi | 0.3195 | Ulaşım ağlarına uz. | 0.1321 | | |
| | | Yerleşim alanlarına uz. | 0.0975 | | |
| Yıllık Ortalama Sıcaklık | 0.0866 | Su kaynaklarına uz. | 0.0627 | | |
| | | Maden/Taş ocağı al. uz. | 0.0257 | Bakı | 0.3333 |
| Yıllık Ortalama Nispi Nem | 0.0606 | Fay hatlarına uz. | 0.0250 | | |
| Toplam | 1 | Toplam | 1 | Toplam | 1 |

### 3.4.6. Fotovoltaik GES Yer Seçimi İçin Model Geliştirilmesi

Yer seçimi çalışmasının uygulama adımlarını gerçekleştirmek üzere ArcGIS ModelBuilder üzerinde model (iş akışı) geliştirilmiştir. Model oluşturmak, iş akışında herhangi bir değişiklik yapılması gerektiğinde (ağırlıkları değiştirmek, yeni bir kriter ya da kısıtlama eklemek, parametreleri ya da sınıf aralıklarını değiştirmek vb.) hemen küçük bir düzenleme yaparak hızlı ve kolay bir biçimde uygulamayı tamamlama açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. Oluşturulan model, içerisindeki tüm araçlara girilen değerlerin-parametrelerin hepsini saklamakta, böylelikle herhangi bir detay unutulduğunda hızlıca kontrol ederek hatırlama imkanı sunmaktadır. Kontrol etmeye imkan tanıması sayesinde hataları minimize etme açısından da yararlıdır. Şekil 4, bu çalışma için hazırlanmış olan modeli göstermektedir ve devamında modelde gerçekleşen aşamaların açıklaması yapılmıştır. Çalışmanın piksel boyutu, kulanılan sayısal yükseklik modelinin mekansal çözünürlüğü olan 30 m olarak seçilmiştir ve ArcGIS yazılımında Geoprocessing sekmesi > Environments > Raster Analysis ile ayarlanmıştır.




Şekil 4. CBS tabanlı ÇKKA analizi için hazırlanan model

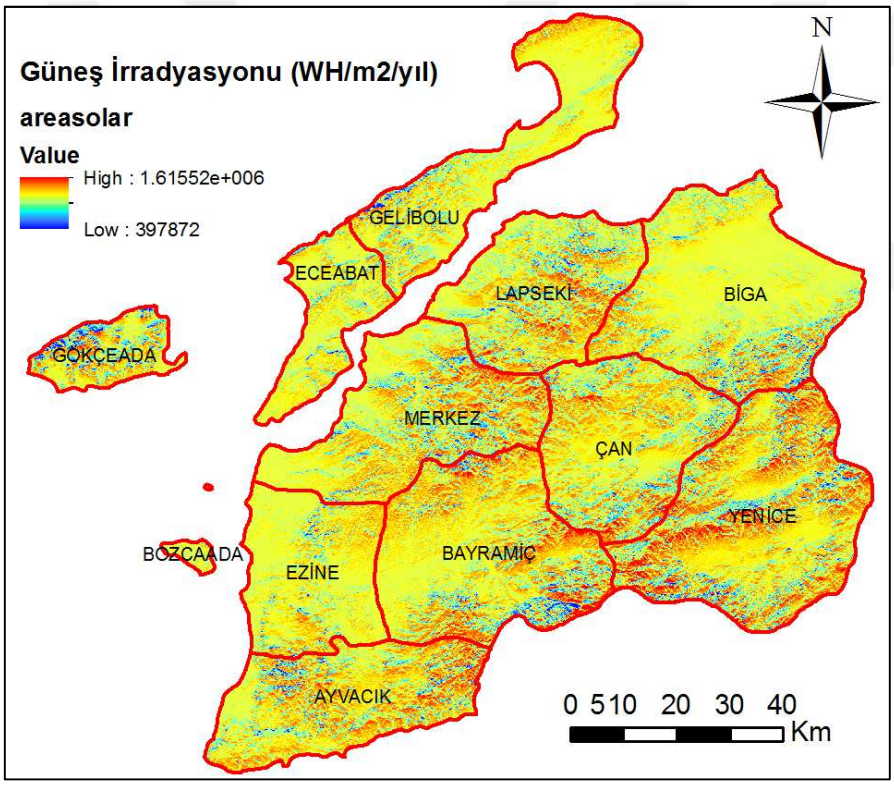
### *Güneş İrradyasyonu, Güneşlenme Süresi, Eğim ve Bakı Kriter Katmanlarının Hazırlanması*

Bu haritaları üretebilmek için gerekli olan sayısal yükseklik verisi olarak, 30 m çözünürlüklü ASTER GDEM v2 kullanılmıştır. ArcGIS yazılımı, güneş radyasyonu analiz araçları ile, belirli bir zaman periyodu için coğrafi alanın güneş ışınımı haritasının yapımına olanak sağlamaktadır. Güneş irradyasyonu ve güneşlenme süresi haritaları, Tablo 9'daki parametrelerin ArcGIS Area Solar Radiation aracında kullanılmasıyla elde edilmiştir. Bu parametreler Doljak ve Stanojevic (2017)'in Sırbistan için gerçekleştirdikleri GES yer seçimi çalışmasında kullandığı parametrelerdir ve girdi sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğünün bu çalışmanınkiyle benzerliği, parametre girdilerinin teknik raporlara göre belirlenmiş olması ve yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyelini hesaplamış olmaları sebebiyle onların çalışmasına ait değerler kullanılmıştır. Haritalar ArcGIS yazılımı tarafından 13 saatte tamamlanmıştır. Şekil 5 ve 6, oluşturulan bu haritaları göstermektedir. Yüzeye ulaşan güneş radyasyonu miktarı; dünyanın kendi etrafında dönüşünden ve güneş etrafındaki dönüşünden, bulut örtüsü ve su buharı da dahil olmak üzere atmosferik zayıflama etkileri gibi çevresel faktörlerden ve yükseklik, eğim gibi topografik etkilerden etkilenmektedir. Solar Radiation aracı, güneşin azimut ve konumundaki değişimleri ve aynı zamanda girdi SYM'deki yüzey nesnelerini veya topoğrafyaya bağlı gölgeleme etkilerini dikkate almaktadır. Bu araç, girdi olarak eğim ve bakı katmanları oluşturmak için kullanılan SYM'yi kullandığı için, birleştirilen katmanlar arasında mükemmel bir eşleşme sağlaması açısından avantajlıdır. Aracın bulut kaplamasını doğrudan dikkate almamasından dolayı, bu etkilerin hesaba katılması için kullanıcının geçirgenliği (transmissivity) ve dağınık oranı (diffuse proportion) değiştirmesinin gerekmesi ise bu aracın dezavantajıdır (Carl, 2014).

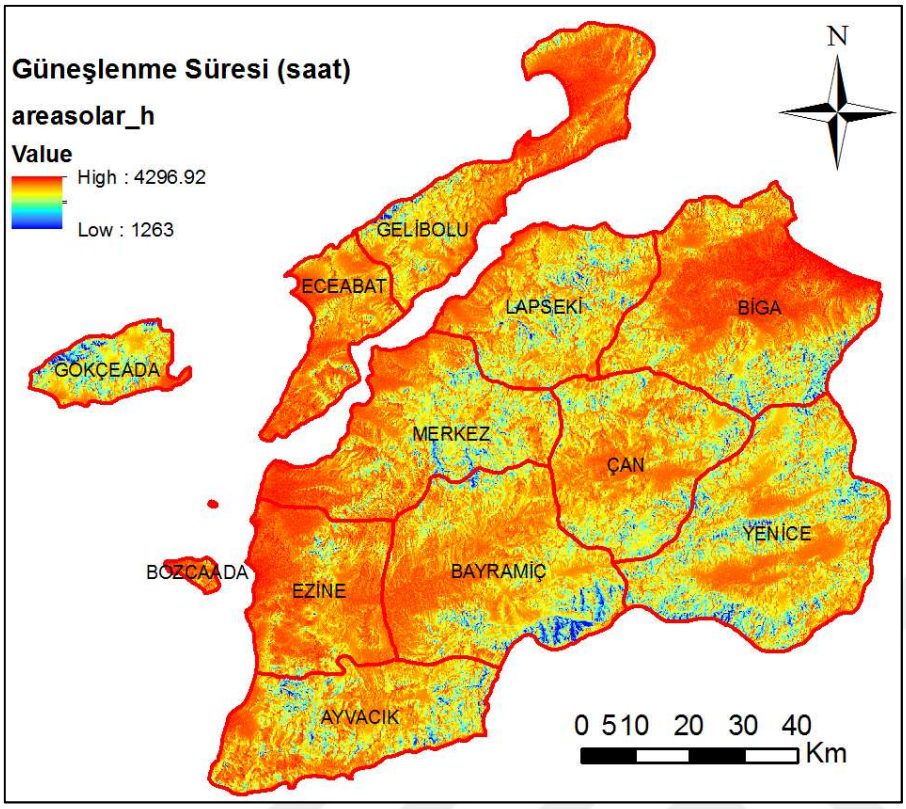
Tablo 9

Area Solar Radiation aracında kullanılan parametre değerleri

| Parametre | Değer | Parametre | Değer |
|---|---|---|---|
| DEM | ASTER GDEM v2 | Slope and Aspect Input Type | FROM_DEM |
| Latitude | 40.1 | Calculations Directions | 32 (Varsayılan) |
| Sky Size | 512 | Zenith Divisions | 16 |
| Time Configuration | Multiple days in a year (2018) | Azimuth Divisions | 16 |
| Day Interval | 1 | Diffuse Model Type | Standard overcast sky |
| Hour Interval | 1 | Diffuse Proportion | 0.3 (Varsayılan) |
| Z Factor | 1 (Varsayılan) | Transmissivity | 0.5 (Varsayılan) |




Şekil 5. Üretilen güneş irradyasyonu kriter haritası

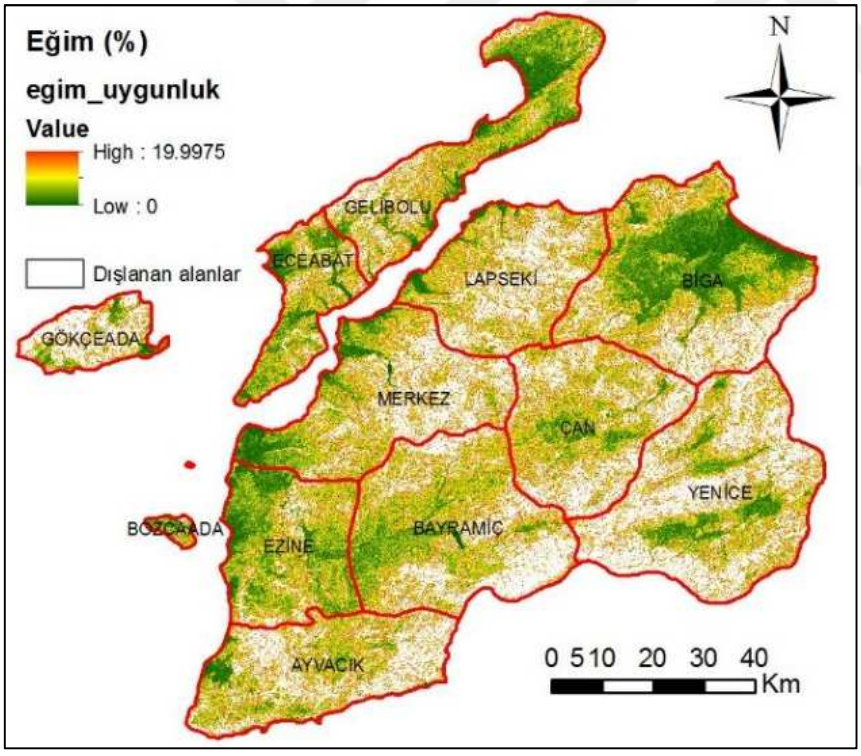



Şekil 6. Üretilen güneşlenme süresi kriter haritası

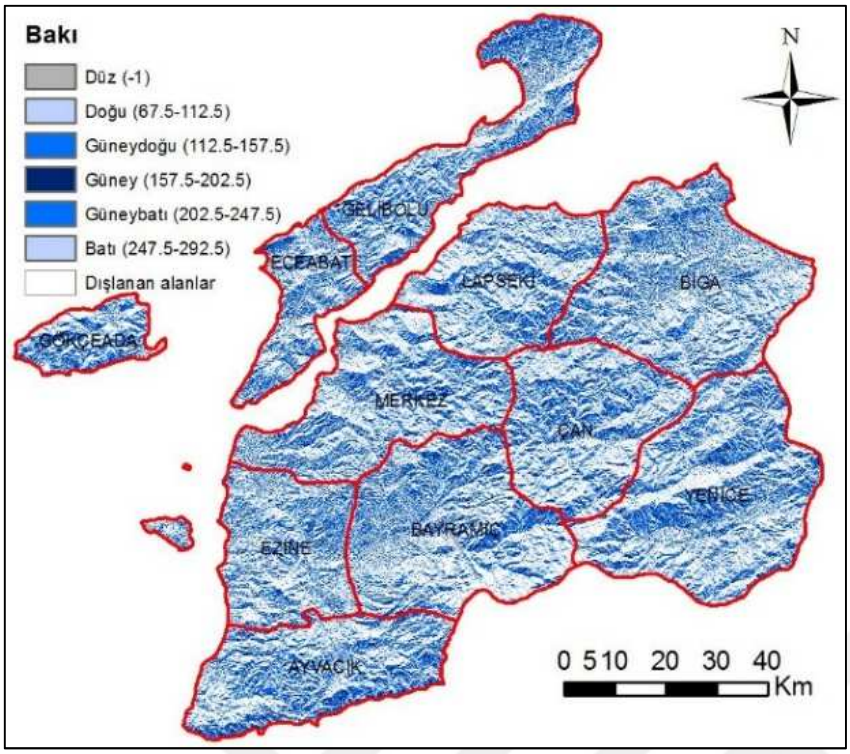
Güneş irradyasyonu haritasındaki geniş sarı bölgelere ve bu bölgelere karşılık gelen güneşlenme süresi haritasındaki geniş kırmızı alanlara bakıldığında (özellikle Biga, Ezine, Bayramiç ilçeleri), bu alanlar bu kriterler açısından daha uygun görünmektedir. Çünkü güneş irradyasyonu haritasındaki azınlıkta olan irradyasyonu en yüksek kırmızı alanların fazla eğimli olması sebebiyle, bu alanların çoğunluğunun dışlanacak olduğu ve bu yüzden kullanılabilirliklerinin seyrek olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Eğim ve bakı haritalarını oluşturmak üzere, sırasıyla Slope ve Aspect araçları kullanılmıştır. Şekil 7 ve 8, üretilen eğim ve bakı haritalarını dışlanan alanlarıyla beraber göstermektedir. Uygulamanın herhangi bir aşamasında, bu katmanlar bu dışlama yapılmış halleriyle kullanılmamış; Slope ve Aspect araçlarından çıktıkları halleriyle, yani dışlama yapılmamış halleriyle yeniden sınıflandırma işlemine girmişlerdir. Hazırlanan modelden görülebileceği üzere, dışlama işlemi daha sonra gerçekleştirilmiştir. Haritaların bu şekilde gösterimi, yalnızca kolay yorumlanabilirliği sağlama amaçlıdır.

Eğim kriteri için; Şenlik (2017), yer seçiminde en ekonomik eğim değerinin %1 ile %3 aralığı olduğunu belirtmiştir. En ekonomik eğim aralığının üstüne çıkıldıkça yapılacak masraf artacağı için uygunluk giderek azalacaktır. Literatürde belirli bir eğimi aşan alanların genellikle hariç tutulduğu görülmüştür. Bu çalışmanın eşik değeri olan %20, diğer çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Eğim haritası incelendiğinde; Çanakkale ilinin kuzey, batı ve doğu kısımlarında az eğimli, güney ve orta kısımlarında orta eğimli alanların fazla olduğu görülmektedir. Az eğimli bölgelerde tarım alanları daha fazladır ve bu durum, tarım alanlarının kısıtlama altında olması sebebiyle, eğim için en uygun bölgelerin büyük çoğunluğu uygunluk haritasından dışlanmış olacağı için bu bölgelerin seçilemeyeceğini, daha çok orta eğimli bölgelerin seçenek olarak kalacağını göstermektedir. Bakı haritası incelendiğinde ise, bakı açısından kurulum yapılabilecek alan miktarının oldukça fazla olduğu görülmektedir.




Şekil 7. Üretilen eğim kriteri haritası




Şekil 8. Üretilen bakı kriteri haritası

### *Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Ortalama Nispi Nem Kriter Katmanlarının Hazırlanması*

İklim araştırmalarında genellikle en az 30 yıllık ölçülmüş verilere gereksinim vardır (Hepbilgin, 2018). Bununla birlikte diğer süreler amaca bağlı olarak kullanılabilmektedir (Demircan vd., 2013). Çanakkale ilindeki 30 yıllık verisi olan istasyonların sayısının enterpolasyon ile yüzey oluşturmada yetersiz kalacak olması sebebiyle, 14 istasyonun 5 yıllık dönemine ait aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama nispi nem verileri bu çalışma için dikkate alınmıştır. Bu aylık veriler aritmetik ortalamaları alınarak yıllık ortalama haline getirilmiştir. Kayıtlardaki eksik değerler, Türkeş vd. (2002)'nin yaklaşımıyla tamamlanmıştır. Dizide bir aylık eksik değer bulunması halinde, bu eksik değer, kendinden bir önceki ve bir sonraki yılın aynı ayının ortalamaları ile tamamlanırken; üst üste iki ayın eksik olması durumunda, birinci eksik ay, kendisinden önceki iki yılın aynı ayının ortalamasıyla ve ikinci ay ise, kendinden sonraki iki yılın aynı ayının ortalamasıyla tamamlanmıştır. Tablo 10, verileri kullanılan istasyonlara ait bilgileri içermektedir. İstasyonların enlem-boylam bilgilerine, Meteoroloji Genel Müdürlüğü web sitesindeki

‘İstasyon Bilgileri Veritabanı’ kısmından ulaşılmıştır ve tablodaki yükselti değerleri, 30 m mekansal çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinden elde edilen değerlerdir.

Tablo 10

Verileri kullanılan istasyonlar ve bilgileri

| İstasyon Adı | İstasyon Numarası | Enlem | Boylam | İstasyon Yüksekliği (m) | Kayıt Dönemi |
|---|---|---|---|---|---|
| Bayramiç | 18436 | 39.8147°K | 26.5906°D | 82 | 2014-2018 |
| Biga | 18084 | 40.2331°K | 27.2636°D | 20 | |
| Biga / Kemer Köyü | 17614 | 40.4088°K | 27.0600°D | 53 | |
| Bozcaada | 17111 | 39.8326°K | 26.0728°D | 21 | |
| Çan | 18437 | 40.0161°K | 27.0564°D | 131 | |
| Çanakkale | 17112 | 40.1415°K | 26.3993°D | 4 | |
| Çanakkale Havalimanı | 17113 | 40.1380°K | 26.4266°D | 9 | |
| Çanakkale/Ayvacık | 18435 | 39.6081°K | 26.3958°D | 324 | |
| Çanakkale / Yenice | 18085 | 39.9344°K | 27.2661°D | 249 | |
| Ezine | 17671 | 39.7739°K | 26.3456°D | 57 | |
| Gelibolu | 17773 | 40.4081°K | 26.6417°D | 39 | |
| Gelibolu Milli Parkı | 18580 | 40.2083°K | 26.2817°D | 36 | |
| Gökçeada | 17110 | 40.1910°K | 25.9075°D | 71 | |
| Lapseki | 18438 | 40.3400°K | 26.6964°D | 23 | |

Yıllık ortalama sıcaklık kriter katmanının hazırlanmasında Demircan vd. (2013)’nin kullandığı Lapse Rate tekniği kullanılmıştır. Lapse Rate (LR), sıcaklığın yükseklikle değişimi olarak tanımlanmaktadır. LR, havadaki nem miktarına bağlı olarak 0.5 ila 1°C arasında değişmektedir. Genel tanımlayıcı amaçlar için 100 metrede 0.5°C azaldığı varsayılmaktadır. Uygulama adımları olarak, istasyonlara ait sıcaklık değerleri Denklem 3.3’te belirtilen formül ile deniz seviyesine indirgenmiş, sonrasında enterpolasyon uygulanmıştır. Ardından; deniz yüzeyine indirgenmiş sıcaklıklar ($T_d$), enterpolasyon yüzeyinden, Create Fishnet aracı ile üretilen 1 km çözünürlüklü grid noktalarına Extract Multi Values to Points aracı ile çekilmiştir. Grid noktalarının yükseklikleri de yine Extract Multi Values to Points aracı ile sayısal yükseklik modelinden çekilmiştir. Denklem 3.4 uygulanarak grid noktalarındaki sıcaklıklar ($T_g$) elde edilmiştir. Ardından enterpolasyon uygulanmıştır. Enterpolasyon yönteminin seçilmesinde IDW, kriging ve spline yöntemleri denenmiş ve kriging yöntemine karar verilmiştir. ArcGIS yazılımının spatial analiz modülündeki kriging aracına girilen parametreler; kriging metodu için ordinary, semivaryogram modeli için spherical (Tural (2011); yüksek lisans tezinde, sıcaklık ve nem

için en iyi değerleri spherical ve circular kriging enterpolasyon tekniklerinin verdiğini belirtmiştir.) ve arama yarıçapı nokta sayısı için 12'dir. Spatial analiz modülüyle enterpolasyon sonucu oluşan sürekli yüzeylerde, mevcut istasyon noktalarında da hesaplama yapıldığı için, oluşan yeni değerler ile enterpolasyon girdisi olan mevcut istasyon noktalarının ölçülmüş değerleri karşılaştırılarak doğruluk kontrolü yapılabilmektedir. Bu yöntem ArcGIS Spatial Analiz kitabındaki "Sürekli Yüzeylerin Doğruluğunun Ölçülmesi" başlığı altında belirtilenlere göre uygulanmıştır (Kahraman ve Ünsal, 2014). Arama yarıçapı nokta sayısına karar vermek için 2, 7 ve 12 arama yarıçapı nokta sayılı nispi nem haritaları üretilerek deneme yapılmış; karesel ortalama hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve $R^2$ değerleri Excel'de hesaplanmıştır ve bu değerler Tablo 11'de verilmiştir. Karesel ortalama hata değeri, tahmin edilen değerlerin ölçülen değerlerden yaklaşık olarak ne kadar farklı olduğunu gösterirken; 0 ile 1 arasında değişen $R^2$ değeri, 1'e yakın olduğunda mükemmel bir uyumu temsil etmektedir. Nispi nem haritaları için deneme yapıldıktan sonra, sıcaklık haritası için deneme yapılmasına gerek görülmemiş ve 12 arama yarıçapı nokta sayısı için elde edilen değerler (RMSE = 0.09, MAE = 0.07, $R^2$ = 0.99) uygun bulunmuştur. Yıllık ortalama nispi nem kriter katmanının hazırlanmasında Lapse Rate gibi bir teknik uygulanmamış olup direkt yıllık ortalama sıcaklık kriter katmanı için belirtilen parametreler kullanılarak kriging enterpolasyonu yapılmıştır. Şekil 9 ve 11, sırasıyla yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama nispi nem kriter haritalarını gösterirken; Şekil 10 gözlemlenen ve türetilen sıcaklık verilerinin ilişkisini ve Şekil 12 gözlemlenen ve türetilen nispi nem verilerinin ilişkisini göstermektedir.

$$T_d = T_i + (h_i * 0.005) \quad (3.3)$$

$T_d$ = Deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklık
$T_i$ = İstasyonun ortalama sıcaklığı
$h_i$ = İstasyonun yüksekliği

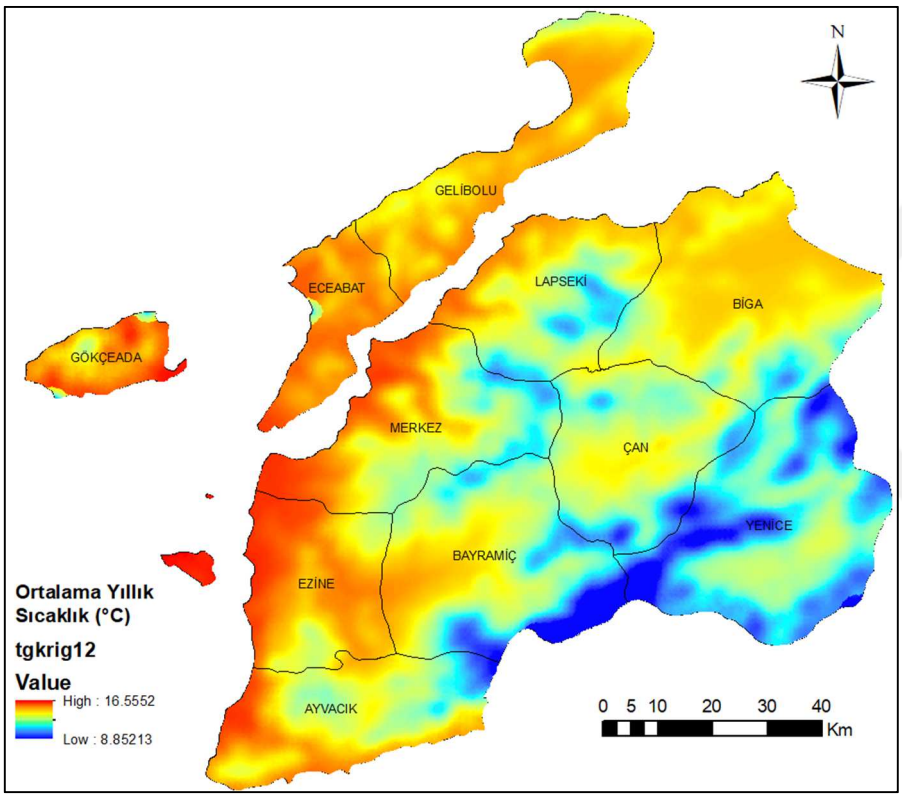
$$T_g = T_d - (h_g * 0.005) \quad (3.4)$$

$T_g$ = Grid noktalarındaki sıcaklıklar
$h_g$ = Grid noktalarının yükseklikleri

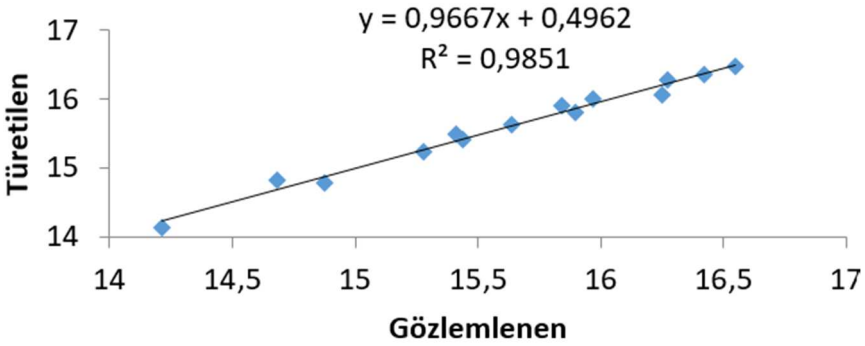
Tablo 11

Nispi nem enterpolasyonu için kriging yönteminde arama yarıçapı nokta sayısına göre hesaplanan RMSE, MAE ve $R^2$ değerleri

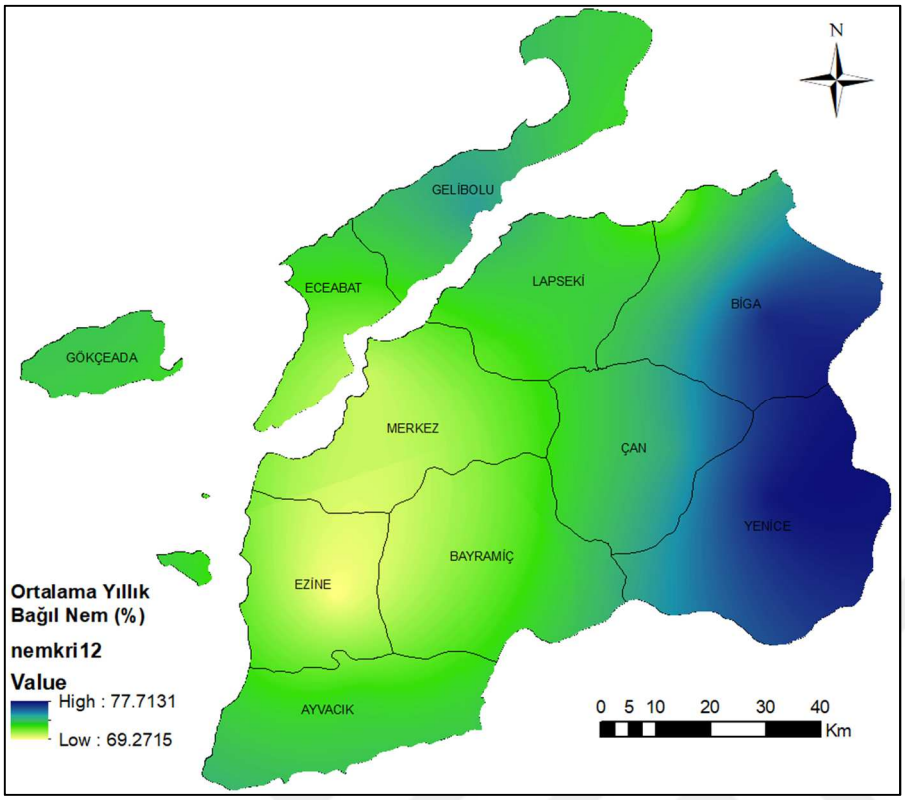
| Arama Yarıçapı Nokta Sayısı | RMSE | MAE | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| 2 nokta | 0.91 | 0.80 | 0.93 |
| 7 nokta | 0.93 | 0.74 | 0.95 |
| 12 nokta | 0.91 | 0.73 | 0.96 |



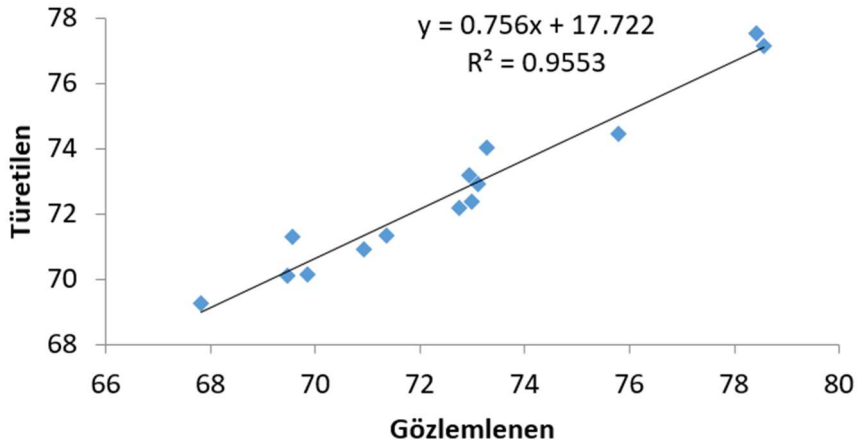

Şekil 9. Üretilen yıllık ortalama sıcaklık kriteri haritası




Şekil 10. Gözlemlenen ve türetilen sıcaklık verilerinin ilişkisini gösteren grafik




Şekil 11. Üretilen yıllık ortalama nispi nem kriteri haritası




Şekil 12. Gözlemlenen ve türetilen nispi nem verilerinin ilişkisini gösteren grafik

Enlem derecesi, rakım, bakı, bitki örtüsü gibi faktörler sıcaklığı etkilemektedir. Yıllık ortalama sıcaklık haritası incelendiğinde, Çanakkale ilinin güney kısmındaki belirgin düşük sıcaklık, bu kısma karşılık gelen Kaz Dağları'nın yükseltisinin fazla olması ve yoğun bitki örtüsünün serinletici etkisiyle ve bakı açısından kuzey yamaçlı alanların fazlalığıyla açıklanabilir. Sıcaklığın kıyı bölgelerinde karaya göre daha fazla olması, bu

bölgelerdeki düşük rakım, yapılaşma ve ağaçlık alanların azlığı ve denizel etkilerle açıklanabilir. Yıllık ortalama nispi nem haritası incelendiğinde, kıyı kesimlerdeki düşük değerler, boğaz rüzgarının bu kesimlerdeki nemi azaltmasıyla açıklanmıştır. Sıcaklık ile nispi nemin ters orantılı olduğu bilgisi dikkate alındığında, üretilen bu iki haritanın bu bilgiye uyumlu olduğu da görülmektedir.

### *Öklid Uzaklığı İle Uzaklık Değeri İçeren Kriter Katmanlarının Oluşturulması*

Konum kriterlerinin katmanlarının hazırlanmasında Euclidean Distance aracı kullanılmıştır. Euclidean Distance, girdi katmandaki coğrafi objelere olan uzaklığı ölçen ve bu uzaklık değerlerini içeren bir raster katmanı çıktı veren bir araçtır.

### *Kriter Katmanlarının Yeniden Sınıflandırılması*

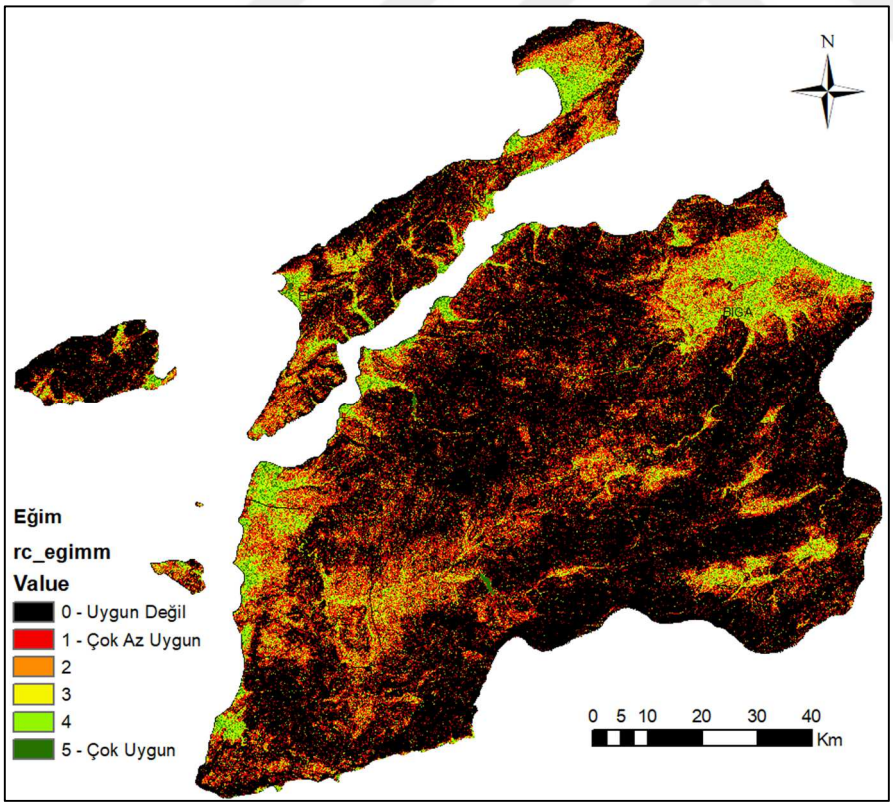
Yer seçimi analizinde, çakıştırma analizine girecek katmanların yeniden sınıflandırılmış raster katmanlar olması gerekmektedir. Bu yüzden tüm kriter katmanları çakıştırma analizi öncesinde Reclassify aracı ile "çok uygun, uygun, orta uygun, az uygun, çok az uygun, uygun değil" şeklinde 6 adet uygunluk sınıfına ayrılmıştır. Yeniden sınıflandırılmış haritalar, Şekil 13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24 ve 25'te verilmiştir.

Yer seçimi analizinin bu aşamasında öncelikle, uygunluk sınıflarının sınıf aralıklarının belirlenmesi ve bu sınıfların puanlanması gerekmektedir. Çakıştırma analizinde, yani ağırlıklı toplama işleminde, bu puanlar hesaba katılmaktadır. Bu çalışmada puanlar 0'dan 5'e kadar verilmiştir; '0' uygun olmayan alanları temsil ederken 1'den 5'e kadar uygunluk artmaktadır. Bu şekilde yapılan bir puanlamaya göre ağırlıklı toplama sonrası elde edilen raster pikselleri 0'dan 5'e kadar değer alır. Tablo 12-13 ve 14; kriterlerin sınıf aralıkları ve puanları bilgisini içermektedir. Sınıf aralıklarına karar verilirken, literatürden yararlanılmıştır ve sınıflandırma yöntemleri olarak Equal Interval, Natural Breaks (Jenks) ve Manual Interval kullanılmıştır.

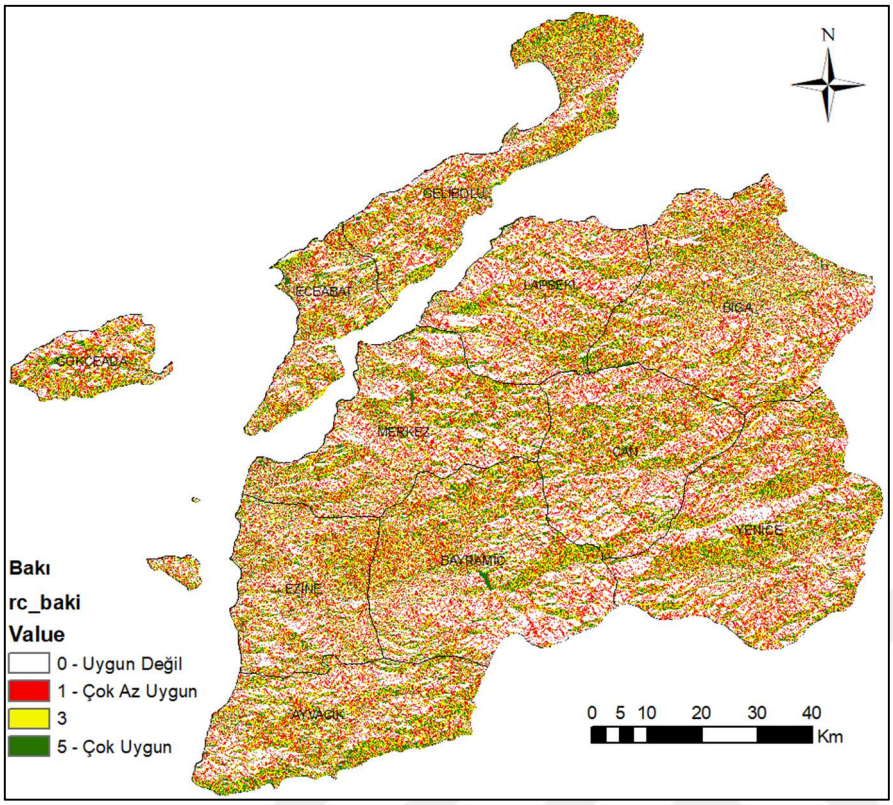
Tablo 12

Topoğrafya kriterlerine ait ağırlık, sınıf aralığı ve puan bilgileri

| Üst Düzey Kriter Ağırlığı (W) | Üst Düzey Kriter | Kriter Final Ağırlığı | Kriter | Sınıf | Puan |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.106 | Topoğrafya | 0.071 | Eğim (%) | >10 | 0 |
| | | | | 5-10 | 1 |
| | | | | 4-5 | 2 |
| | | | | 3-4 | 3 |
| | | | | 1-3 | 4 |
| | | | | <1 | 5 |
| | | 0.035 | Bakı | K,KD,KB | 0 |
| | | | | D,B | 1 |
| | | | | GD,GB | 3 |
| | | | | Düz araziler, G | 5 |




Şekil 13. Yeniden Sınıflandırılmış Eğim Haritası

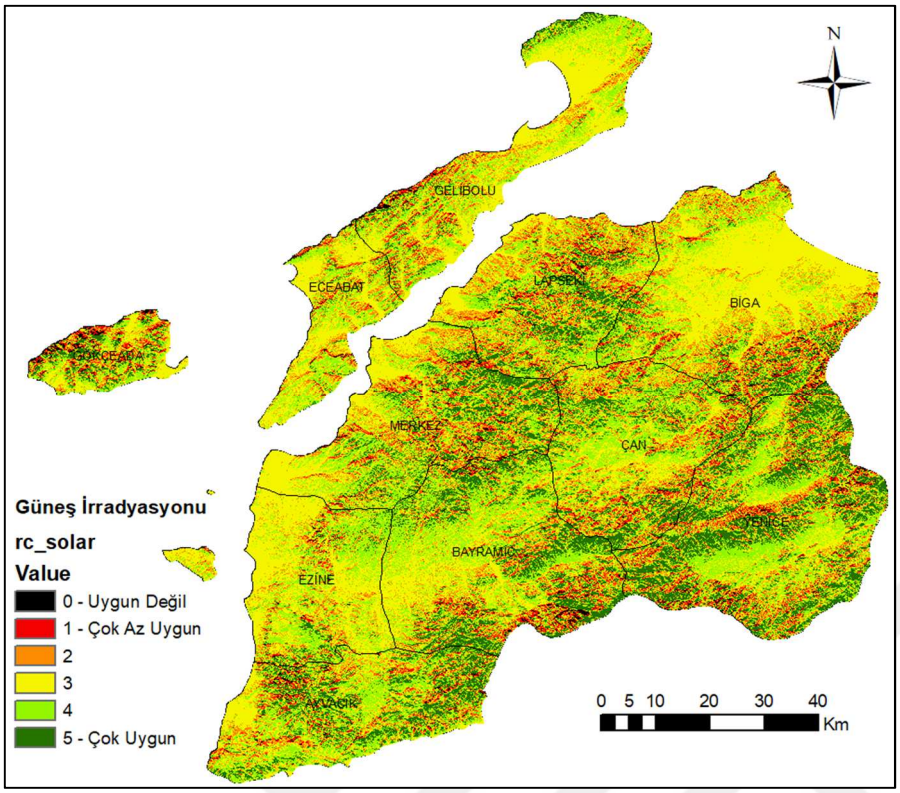



Şekil 14. Yeniden Sınıflandırılmış Bakı Haritası

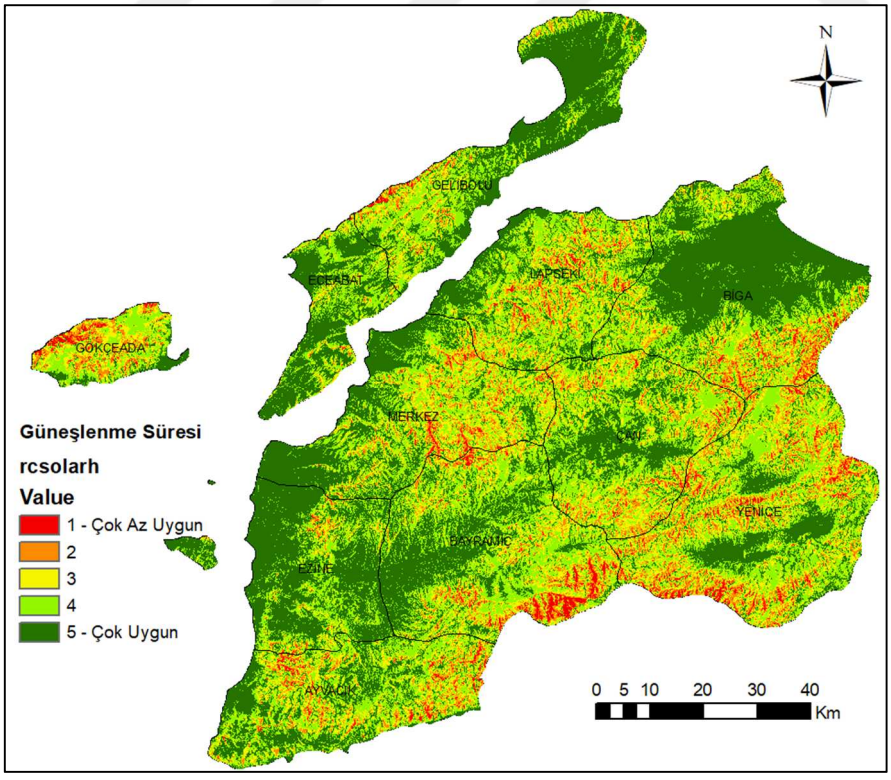
Tablo 13

İklim kriterlerine ait ağırlık, sınıf aralığı ve puan bilgileri

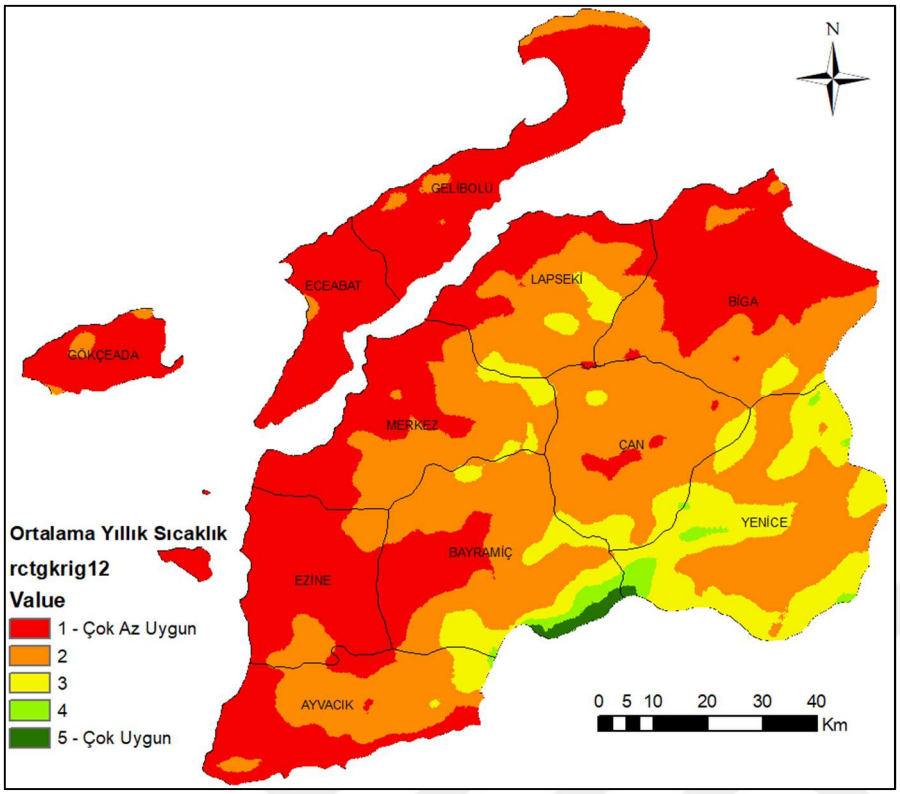
| Üst Düzey Kriter Ağırlığı (W) | Üst Düzey Kriter | Kriter Final Ağırlığı | Kriter | Sınıf | Puan |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.633 | İklim | 0.338 | Güneş irradyasyonu (kWh) | <1010 | 0 |
| | | | | 1010 – 1128.459 | 1 |
| | | | | 1128.459 – 1209.636 | 2 |
| | | | | 1209.636 – 1271.712 | 3 |
| | | | | 1271.712 – 1338.563 | 4 |
| | | | | >1338.563 | 5 |
| | | 0.202 | Güneşlenme süresi (saat) | <3265.858 | 1 |
| | | | | 3265.858 - 3597.693 | 2 |
| | | | | 3597.693 - 3822.867 | 3 |
| | | | | 3822.867 - 4012.487 | 4 |
| | | | | >4012.487 | 5 |
| | | 0.055 | Yıllık ort. sıcaklık (°) | >15.015 | 1 |
| | | | | 13.474 - 15.015 | 2 |
| | | | | 11.933 - 13.474 | 3 |
| | | | | 10.393 - 11.933 | 4 |
| | | | | <10.393 | 5 |
| | | 0.038 | Yıllık ort. nispi nem (%) | >76.025 | 1 |
| | | | | 74.336 - 76.025 | 2 |
| | | | | 72.648 - 74.336 | 3 |
| | | | | 70.96 - 72.648 | 4 |
| | | | | <70.96 | 5 |



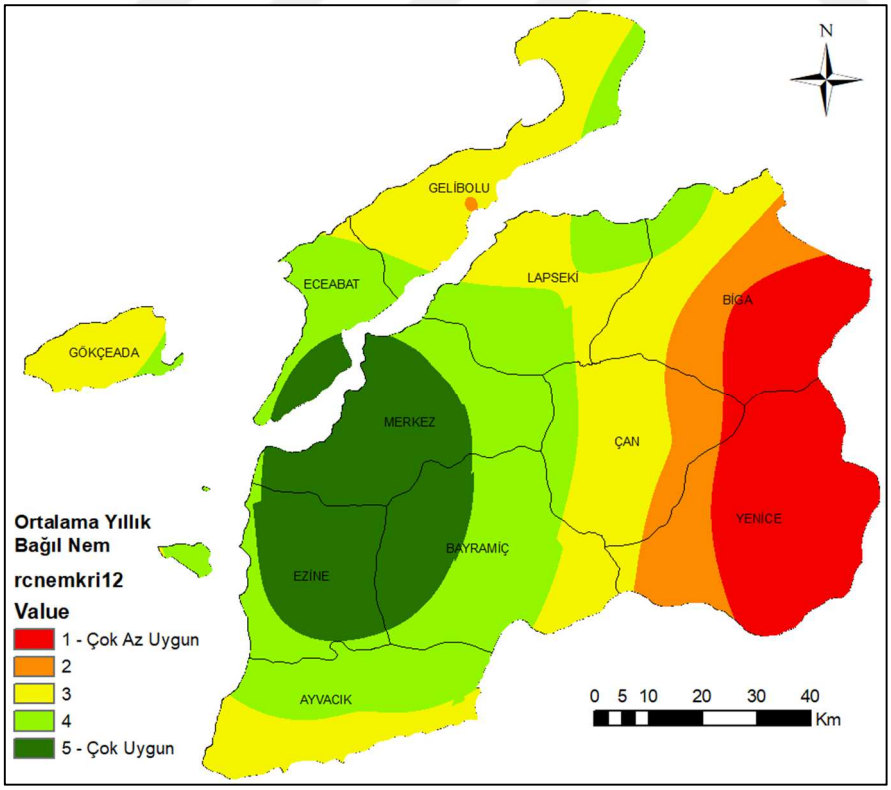

Şekil 15. Yeniden Sınıflandırılmış Güneş İrradyasyonu Haritası




Şekil 16. Yeniden Sınıflandırılmış Güneşlenme Süresi Haritası




Şekil 17. Yeniden Sınıflandırılmış Yıllık Ortalama Sıcaklık Haritası



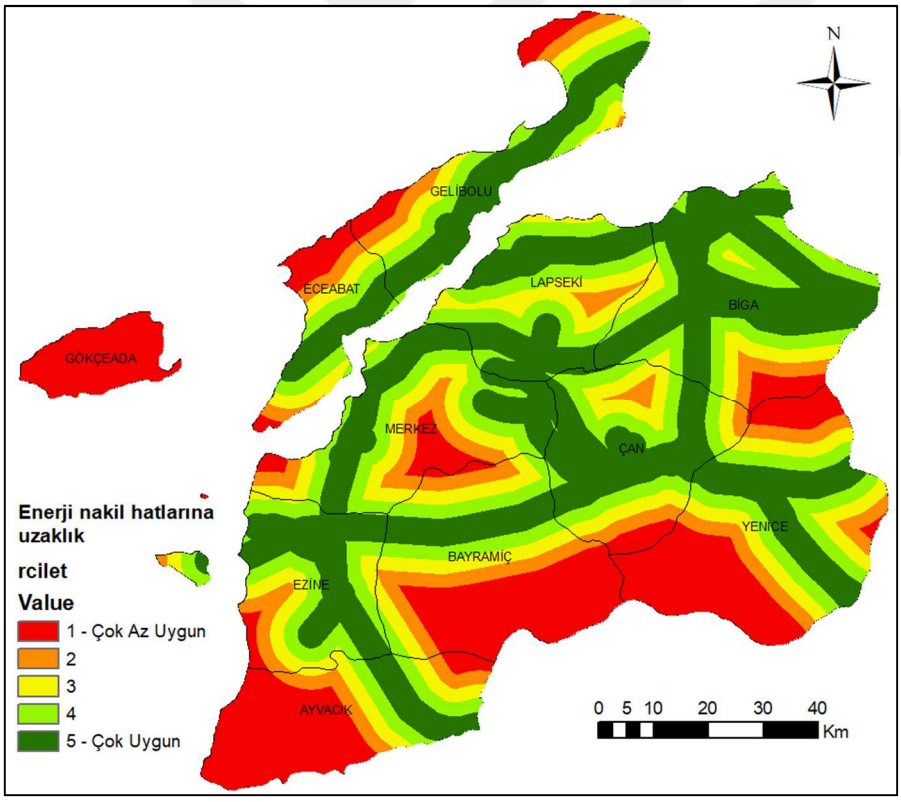

Şekil 18. Yeniden Sınıflandırılmış Yıllık Ortalama Nispi Nem Haritası

Tablo 14

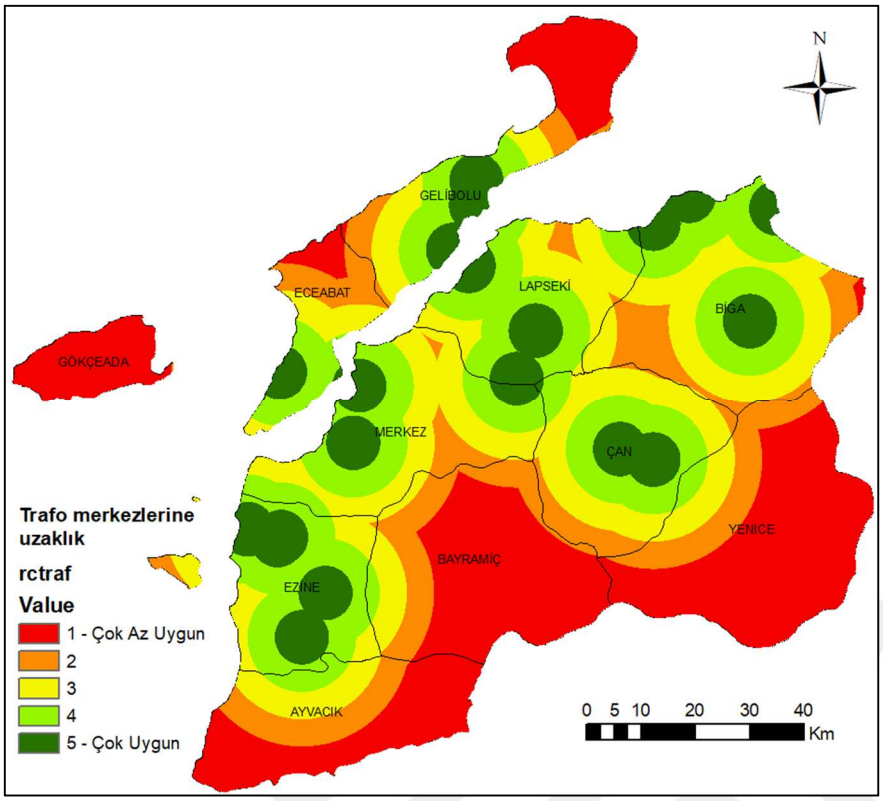
Konum kriterlerine ait ağırlık, sınıf aralığı ve puan bilgileri

| Üst Düzey Kriter Ağırlığı (W) | Üst Düzey Kriter | Kriter Final Ağırlığı | Kriter | Sınıf | Puan |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.26 | Konum | 0.016 | Su kaynaklarına uzaklık (m) | <100 | 0 |
| | | | | >10000 | 1 |
| | | | | 7500-10000 | 2 |
| | | | | 5000-7500 | 3 |
| | | | | 2500-5000 | 4 |
| | | | | 100-2500 | 5 |
| | | 0.034 | Ulaşım ağlarına uzaklık (m) | <100 | 0 |
| | | | | >4500 | 1 |
| | | | | 3000-4500 | 2 |
| | | | | 2000-3000 | 3 |
| | | | | 1000-2000 | 4 |
| | | | | 100-1000 | 5 |
| | | 0.088 | Enerji iletim hatlarına uzaklık (m) | >10000 | 1 |
| | | | | 7500 - 10000 | 2 |
| | | | | 5000 - 7500 | 3 |
| | | | | 2500-5000 | 4 |
| | | | | <2500 | 5 |
| | | 0.083 | Trafo merkezlerine uzaklık (m) | >20000 | 1 |
| | | | | 15000-20000 | 2 |
| | | | | 10000-15000 | 3 |
| | | | | 5000-10000 | 4 |
| | | | | <5000 | 5 |
| | | 0.025 | Yerleşim alanlarına uzaklık (m) | <500 | 0 |
| | | | | >10000 | 1 |
| | | | | 7500-10000 | 2 |
| | | | | 5000-7500 | 3 |
| | | | | 2500-5000 | 4 |
| | | | | 500-2500 | 5 |

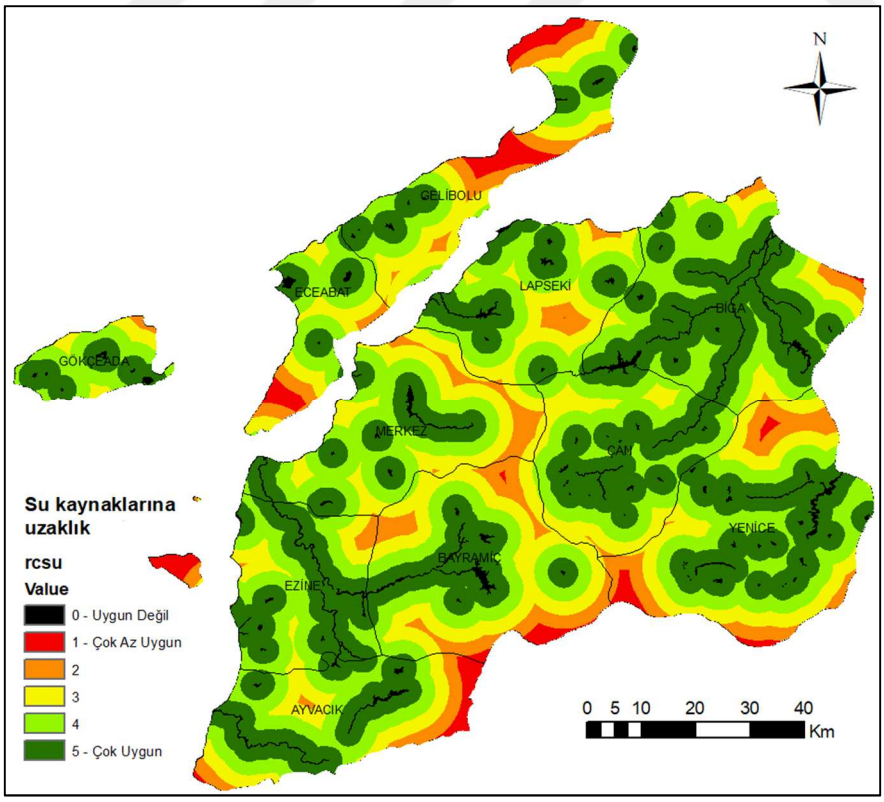
| | | | |
|---|---|---|---|
| 0.007 | Fay hatlarına uzaklık (m) | <300 | 0 |
| | | 300-5000 | 1 |
| | | 5000-10000 | 2 |
| | | 10000-15000 | 3 |
| | | 15000-20000 | 4 |
| | | >20000 | 5 |
| 0.007 | Maden ve taş ocağı alanlarına uzaklık (m) | <200 | 0 |
| | | 200-5000 | 1 |
| | | 5000-10000 | 2 |
| | | 10000-15000 | 3 |
| | | 15000-20000 | 4 |
| | | >20000 | 5 |



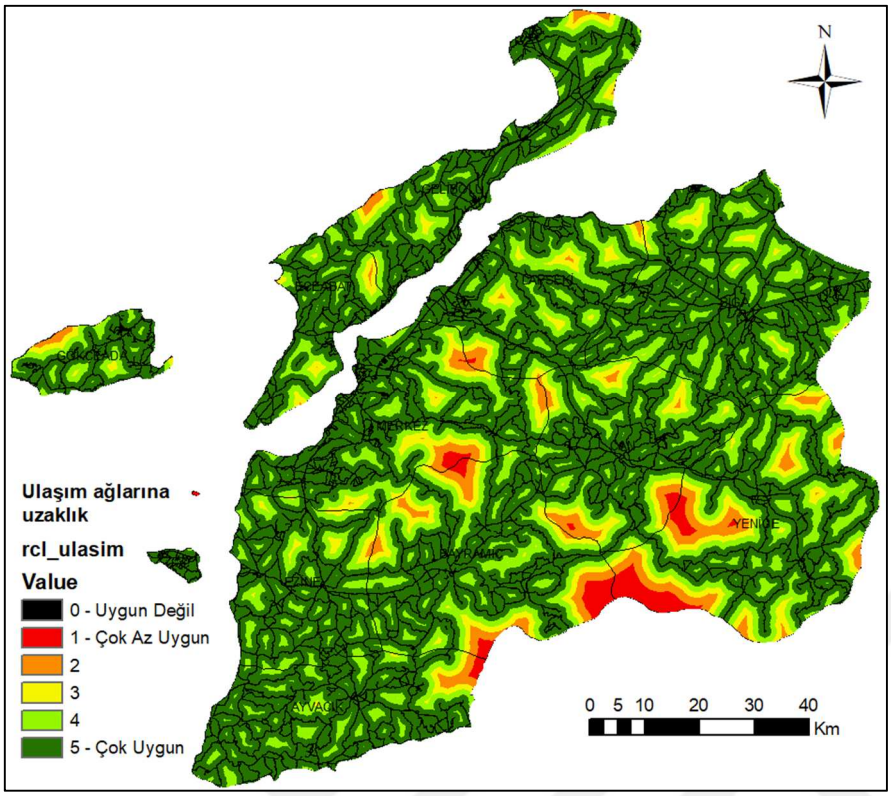

Şekil 19. Yeniden Sınıflandırılmış Enerji İletim Hatlarına Uzaklık Haritası



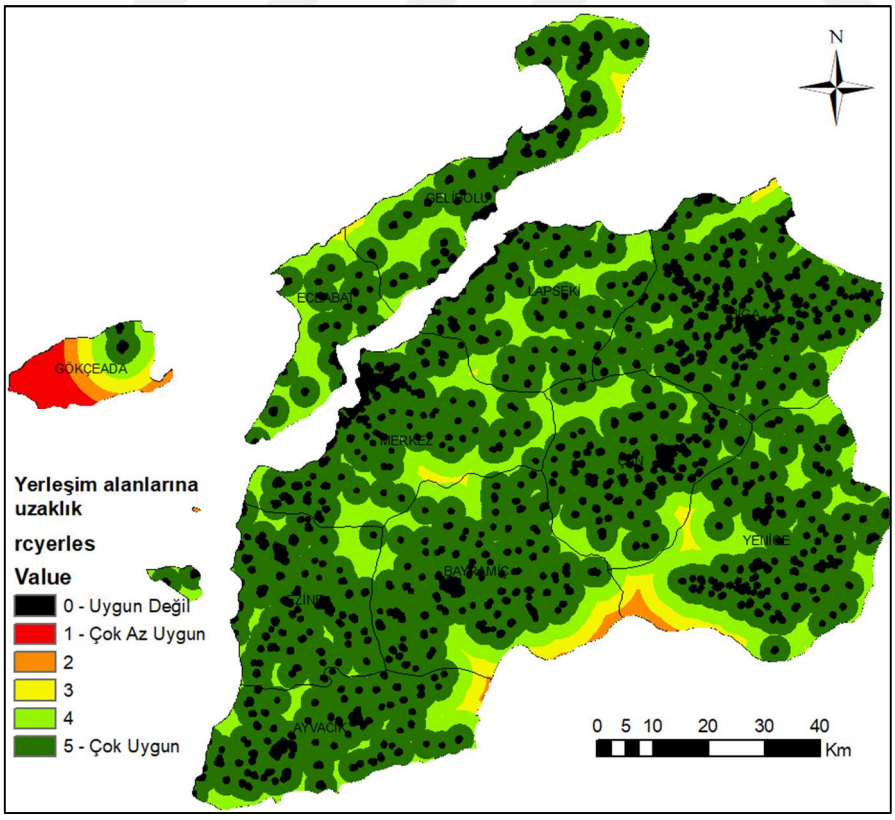

Şekil 20. Yeniden Sınıflandırılmış Trafo Merkezlerine Uzaklık Haritası



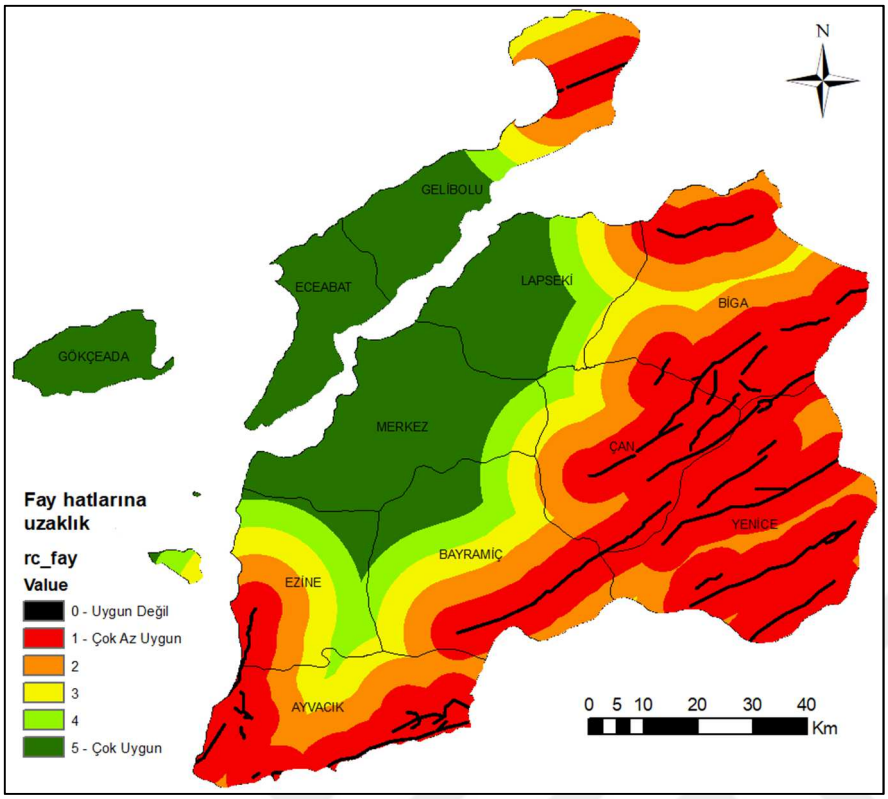

Şekil 21. Yeniden Sınıflandırılmış Su Kaynaklarına Uzaklık Haritası



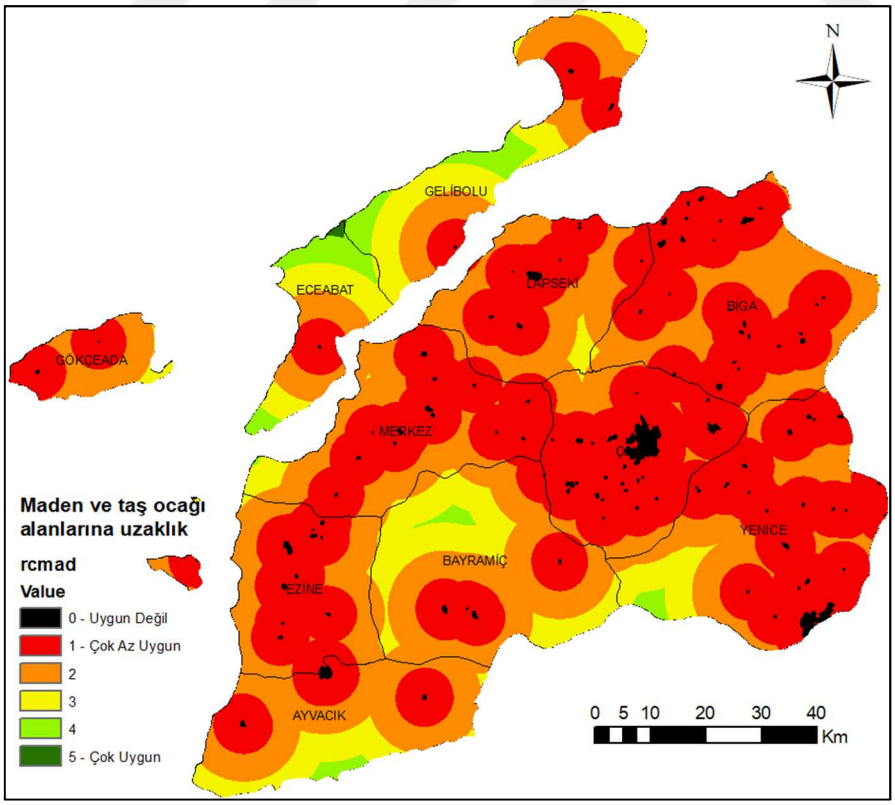

Şekil 22. Yeniden Sınıflandırılmış Ulaşım Ağlarına Uzaklık Haritası




Şekil 23. Yeniden Sınıflandırılmış Yerleşim Alanlarına Uzaklık Haritası



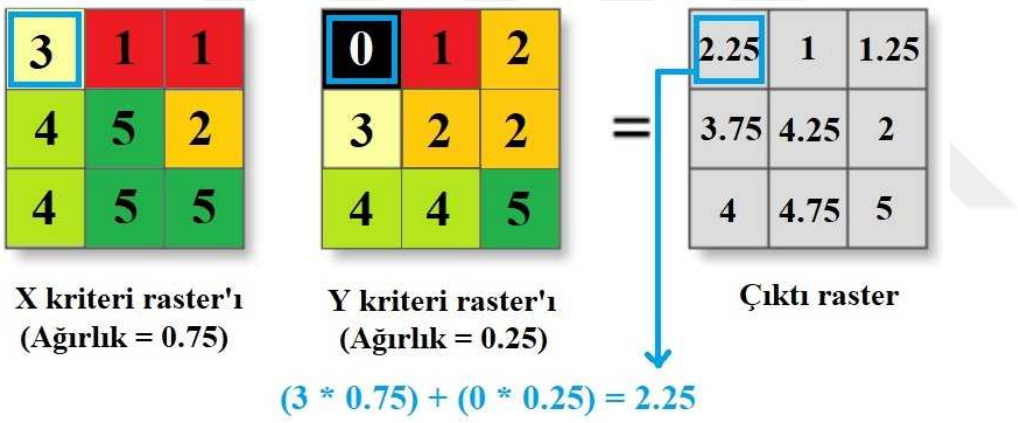

Şekil 24. Yeniden Sınıflandırılmış Fay Hatlarına Uzaklık Haritası



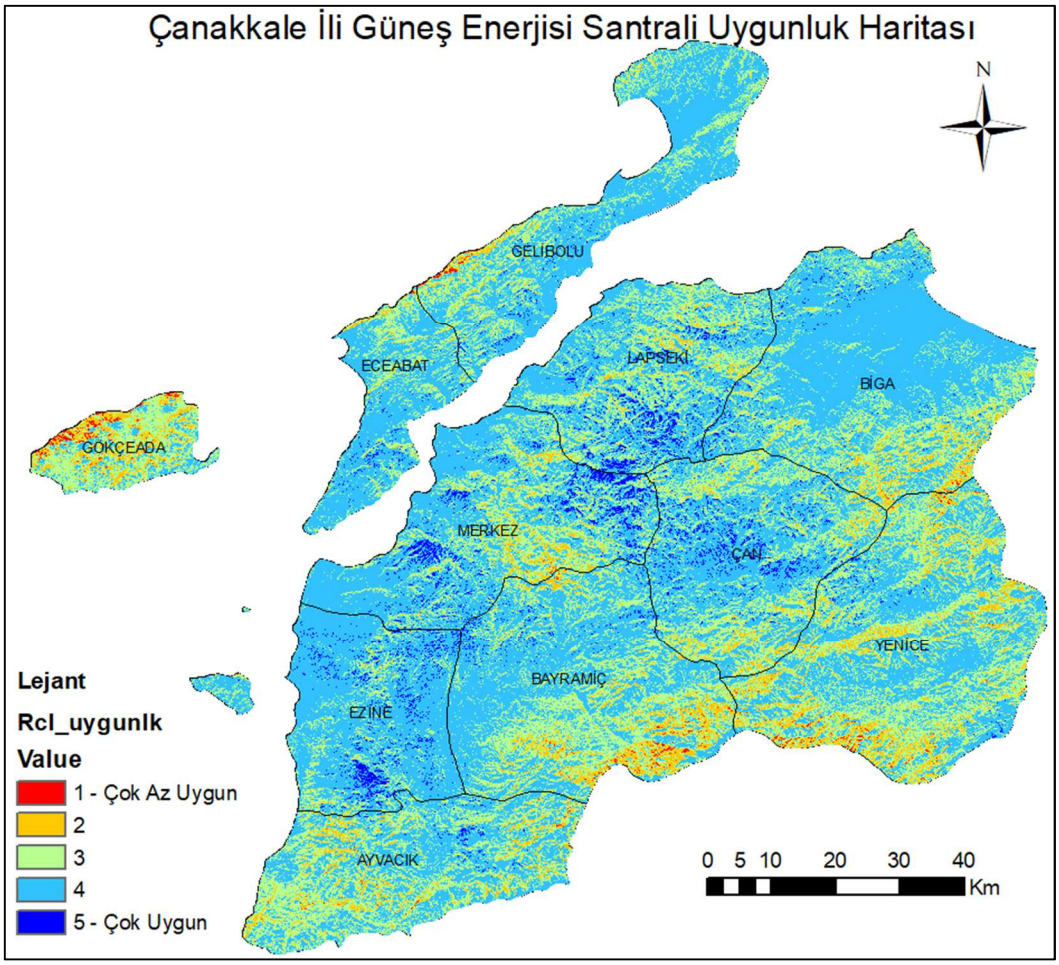

Şekil 25. Yeniden Sınıflandırılmış Maden ve Taş Ozağı Alanlarına Uzaklık Haritası

### *Yeniden Sınıflandırılmış Kriter Katmanlarının Çakıştırılması*

Çakıştırma analizinde, Weighted Overlay aracının ondalıklı sayı kabul etmemesi sebebiyle ağırlıklar yüzdeye çevrilip yuvarlandığında; 0.035 ile 0.038 kriter ağırlıklarının ikisinin de 4 ve 0.034 ile 0.025 kriter ağırlıklarının ikisinin de 3 olarak ağırlıklı toplama işlemine katılacağı, yani eşit olmadıkları halde eşitmiş gibi dikkate alınacak olan kriter ağırlıklarının varlığı nedeniyle, Weighted Sum aracı kullanılmıştır. Kriterleri çakıştırma mantığı Şekil 26'da gösterilmiştir. Weighted Sum aracı çalıştırıldığında, uygunluk sınıflarına ayrılmamış şekilde, ağırlıklı toplama işlemi sonuçlarından oluşan bir raster vermektedir. Bu sebeple bu aracın çıktısı, Reclassify aracı ile eşit aralıklı olarak beş adet uygunluk sınıfına ayrılmıştır ve oluşan bu harita Şekil 27'de gösterilmiştir.




Şekil 26. Weighted Sum aracının çalışma mantığı (ağırlıklı toplama işlemi)




Şekil 27. Uygunluk haritasının kurulum yapılamaz alanlar dışlanmadan önceki hali

### *Kurulum Yapılamaz Alanların Haritalanması ve Uygunluk Haritasından Hariç Tutulması*

Yer seçimi çalışmalarında; çeşitli yasal düzenlemeler sebebiyle veya ekonomik, verimlilik vb. açılardan uygun olmayan alanlar için kısıtlama faktörleri bir araya getirilerek kurulum yapılamaz alanlar elde edilir ve bu alanlar, çakıştırma analizi sonucu elde edilmiş uygunluk haritasından hariç tutularak sonuç harita üretilir. Kısıtlama faktörlerinin belirlenmesinde literatür ve ülkemizdeki yasal düzenlemeler dikkate alınmıştır. Tablo 15, kısıtlama faktörleri hakkında bilgileri içermektedir.

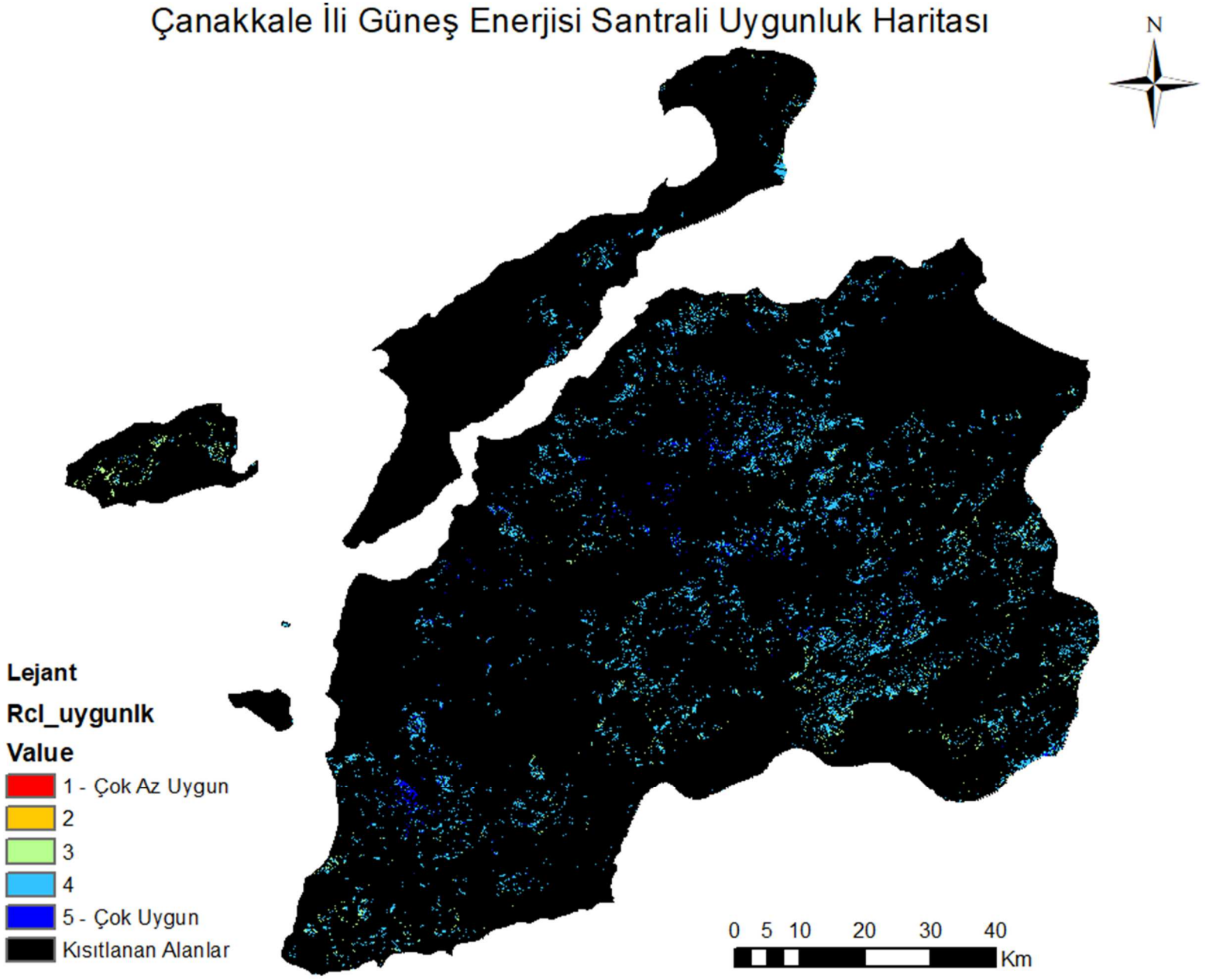
Geliştirilen modelin "Kurulum Yapılamaz Alanlar" kısmında; tüm kısıtlama katmanları Union aracı ile birleştirilmiştir. Bu katmanların hazırlanmasında tampon mesafesi olan katmanlar için Buffer aracı kullanılmış ve raster veri tipindeki katmanlar

için, bu raster katmanların kısıtlı sınıflarını elde etmek üzere Extract by Attributes aracı kullanılıp sonrasında Raster to Polygon aracı ile vektöre çevirme işlemi uygulanmıştır. Union aracından elde edilen çıktı, Polygon to Raster aracı ile raster veriye çevrilmiştir. Sonrasında bu raster veri, Reclassify aracı ile, yalnızca 0 ve 1 değerlerini içeren ikili katman haline getirilmiştir. Son olarak; elde edilmiş olan bu kurulum yapılamaz alanlar, Extract by Mask aracı ile hariç tutularak sonuç harita elde edilmiştir. Şekil 28, Çanakkale ilinin GES uygunluk haritasını göstermektedir.

Tablo 15

Kısıtlama faktörlerine ait detaylar

| Kısıtlama Faktörleri | Tampon Mesafeleri | Kısıtlanan Sınıflar |
|---|---|---|
| Maden / taş ocağı alanları | 200 m | - |
| Çayır-Mera, orman, sulama alanları; mutlak tarım, dikili tarım ve özel ürün arazileri | - | - |
| Deniz-akarsu-göl sahil şeritleri ve barajlar | 100 m | - |
| İçme ve kullanma suyu temin edilen su kaynakları | Mutlak ve kısa mesafeli koruma alanları | - |
| Sulak alanlar | 2500 m | - |
| Karayolları | 100 m | - |
| Diri faylar | 300 m | - |
| Yerleşim alanları | 500 m + Çevre Düzeni Planı'ndaki kentsel gelişme alanları | - |
| Eğim | - | %20'den fazla eğimli alanlar |
| Arazi Kullanım Kabiliyeti | - | I-II-III ve IV. sınıflar |
| Bakı | - | Kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı |
| Askeri ve askeri yasak bölgeler | - | - |
| Korunan alanlar | - | - |
| Heyelan alanları | - | Aktif heyelanlar ile sığ heyelan alanları |
| Güneş İrradyasyonu | - | < 1010 kWh |




Şekil 28. Çanakkale İli Güneş Enerjisi Santrali Uygunluk Haritası

# DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
# ARAŞTIRMA BULGULARI

## 4.1. Sonuç Haritanın Değerlendirilmesi

Sonuç haritanın üretilmesiyle elde edilen uygunluk derecesine göre alanların miktarı ve çalışma bölgesine göre yüzdeleri hesaplanmış ve Tablo 16'da gösterilmiştir. Çalışma bölgesinin %96'sının izin verilmeyen alan olması; son yasal düzenlemelerle araziye kurulum yapabilme imkanının zorlaşmış olması sebebiyle, yasal düzenlemelerdeki kısıtlarla birlikte literatürdeki verimlilik, ekonomik vb. açılardan uygulananların tamamen ele alınması sonucu karşılaşılan bir durum olmuştur. Böylelikle geriye kalan uygun bölgeler için GES projelerinin red alma ihtimali minimize edilmiş ve en uygun alanları seçme başarısı artırılmıştır. Çalışma alanında kurulum yapılabilir bölgeler içerisinde "5 - Çok Uygun" sınıflı alanların miktarca az olduğu ve "4 - Uygun" sınıfındaki alan miktarının en fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 16

Uygunluk derecesine göre hesaplanan alan miktarları ve bu alanların çalışma bölgesine göre yüzdeleri

| Sınıf | Alan ($m^2$) | Alan (ha) | Yüzde (%) |
|---|---|---|---|
| 5 - Çok Uygun | 26369341.3634 | 2636.9341 | 0.2688 |
| 4 - Uygun | 321755708.4643 | 32175.5708 | 3.2799 |
| 3 - Orta Uygun | 47110985.8991 | 4711.0986 | 0.4802 |
| 2 - Az Uygun | 168652.0315 | 16.8652 | 0.0017 |
| 1 - Çok Az Uygun | 851.7779 | 0.0852 | 0.00001 |
| İzin Verilmeyen | 9415911911 | 941591.1911 | 95.9837 |

Yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli (ÜP); Doljak ve Stanojevic (2017)'in GES yer seçimi çalışmasında kullanmış olduğu Denklem 4.1'in bu çalışmada "5 - Çok Uygun" ve "4 - Uygun" sınıflı alanlar için kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 17'de verilmiştir.

$$ÜP = Gİ \times A \times AF \times \eta \quad (4.1)$$

ÜP = Üretim Potansiyeli (GWh/yıl)
Gİ = Birim alan başına yıllık güneş radyasyonu miktarı (Wh/$m^2$/yıl)
A = Uygun arazi toplam alanı ($m^2$)
AF = Alan faktörü
η = Panel verimi

Denklem 4.1'deki alan faktörü, minimum gölgeleme etkisi ile fotovoltaik paneller tarafından kaplanabilecek maksimum arazi yüzdesidir ve Doljak ve Stanojevic (2017)'in kullandığı değer olan %70 olarak alınmıştır. Panel verimi değeri olarak da, ticari silikon modüllerin ortalama verimliliği olan %16 alınmıştır (IEA, 2014). Gİ için, ArcGIS Area Solar Radiation aracı ile üretilen güneş irradyasyonu haritası kullanılmıştır. Her bir çokgenin ortalama güneş irradyasyonu değerini elde etmek için ArcGIS yazılımının Raster to Point aracı kullanılmış ve join işlemi uygulanmıştır. Ardından, öznitelik tablosunda elde edilen bu değerlerin çok uygun ve uygun sınıflı çokgenler için ortalamalarına bakılmıştır. Çanakkale'nin yıllık elektrik enerjisi tüketimi 3880 GWh'tır (Şenlik vd., 2018). Bu bilgiye göre, çok uygun alanların hepsine panel kurulumu yapıldığında, Çanakkale'nin elektrik ihtiyacının %101'inin karşılanacağı sonucuna ulaşılmıştır. ÜP formülünün sadece radyasyona değindiği, başka faktörleri dikkate almadığı ve bu yüzden hassas sonuç veremeyeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 17

Yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli (ÜP) hesabı

| Uygunluk Sınıfı | Güneş İrradyasyonu (kWh/$m^2$/yıl) | Alan ($m^2$) | Yıllık Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyeli (ÜP) (GWh/yıl) | Birim alan başına ÜP (kWh/m2/yıl) |
|---|---|---|---|---|
| 5 – Çok Uygun Alan | 1329.94 | 26369341.36 | 3927.79 | 148.95 |
| 4 – Uygun Alan | 1306.75 | 321755708.46 | 47090.91 | 146.36 |

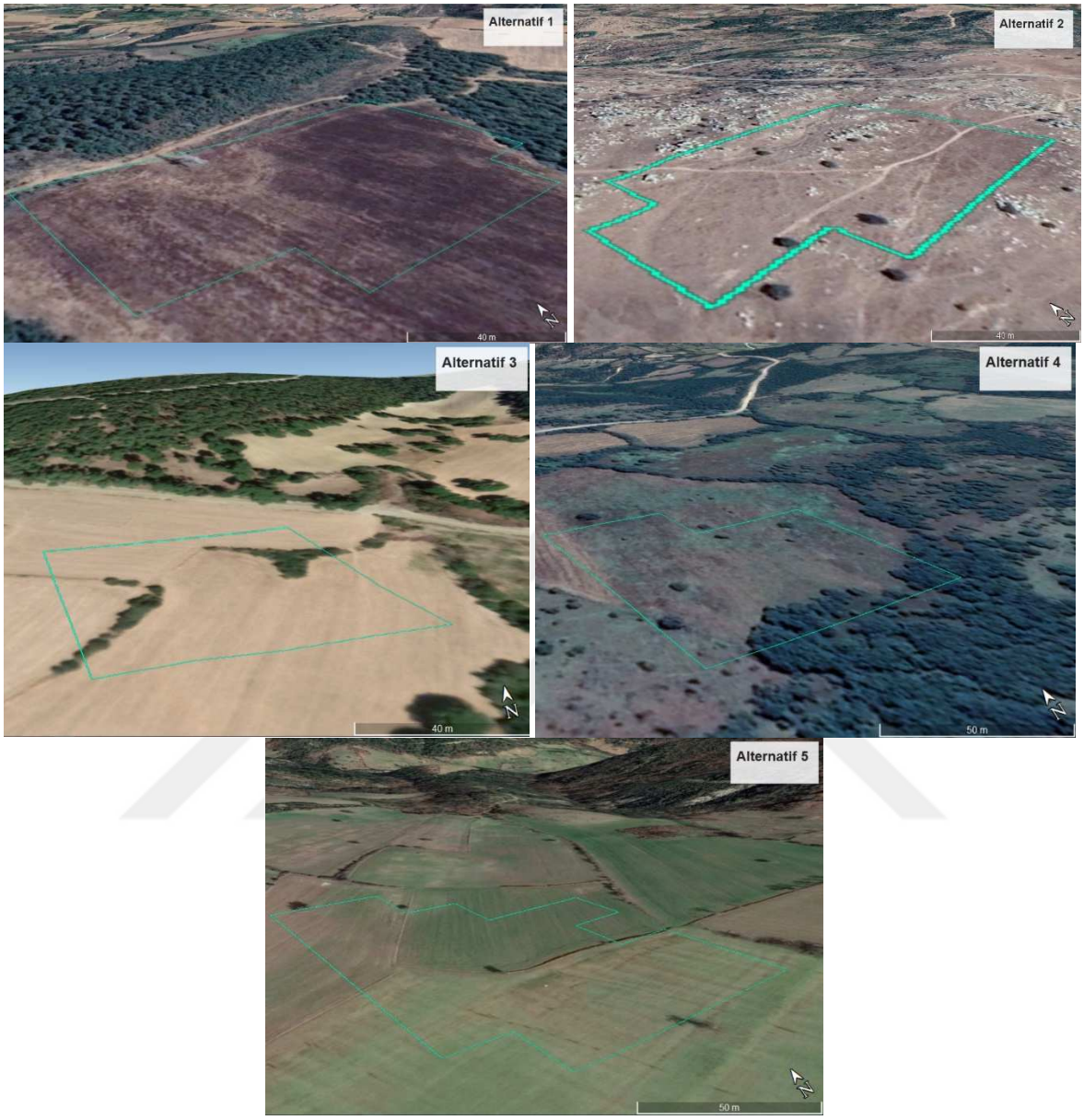
### 4.2. Mevcut Santrallerin İrdelenmesi

Mevcut santrallerin uygun olan alanlara kurulup kurulmadığının incelemesi yapılmıştır. Beş adet mevcut GES tespit edilmiştir. Bunlardan biri merkez ilçede, diğer dördü Çan ilçesinde bulunmaktadır. Hepsi 1 MW gücündedir. İçlerinden biri orta uygun, onun haricindeki tüm GES'ler uygun sınıfındadır. Üç adet GES bakı kısıtlamasına girmektedir. Bir GES de arazi kullanım kabiliyeti (III. sınıf) ve özel ürün arazisi olması

bakımından kısıtlanan alandadır. Bu kısıtlar dışında sulama alanı ve orman alanı gibi kısıtlamalara uğrayan GES'ler de vardır; ancak daha önceki yasal düzenlemelere göre bu türdeki alanlara, altenatif alan bulunmaması durumunda izin verilebilmekteydi.

### 4.3. Seçilen Alternatif Alanların Değerlendirilmesi

CBS tabanlı ÇKKV analizi ile elde edilen uygun alanların içinde çokgenler çevrilerek 15 adet alternatif, ayrıntılı inceleme gerçekleştirmek üzere seçilmiştir. Çokgenler çevrilirken yani alternatifler seçilirken, altlık olarak uygun alanlar haritasının yanında yeniden sınıflandırılmış eğim haritası da kullanılmıştır. Böylece seçilen arazilerin eğiminin %6'dan fazla olmaması sağlanmıştır. Ancak seçilen 15 alternatifin uydu görüntüsü altlığı ile incelenmesi sonucu ağaç miktarı fazla olan araziler elenmiş ve alternatif sayısı 5'e düşmüştür. Seçilen alternatiflerin Google Earth görünümleri Şekil 29'da ve bu alternatiflere ait ilçe ve hektar bilgileri Tablo 18'de gösterilmiştir.

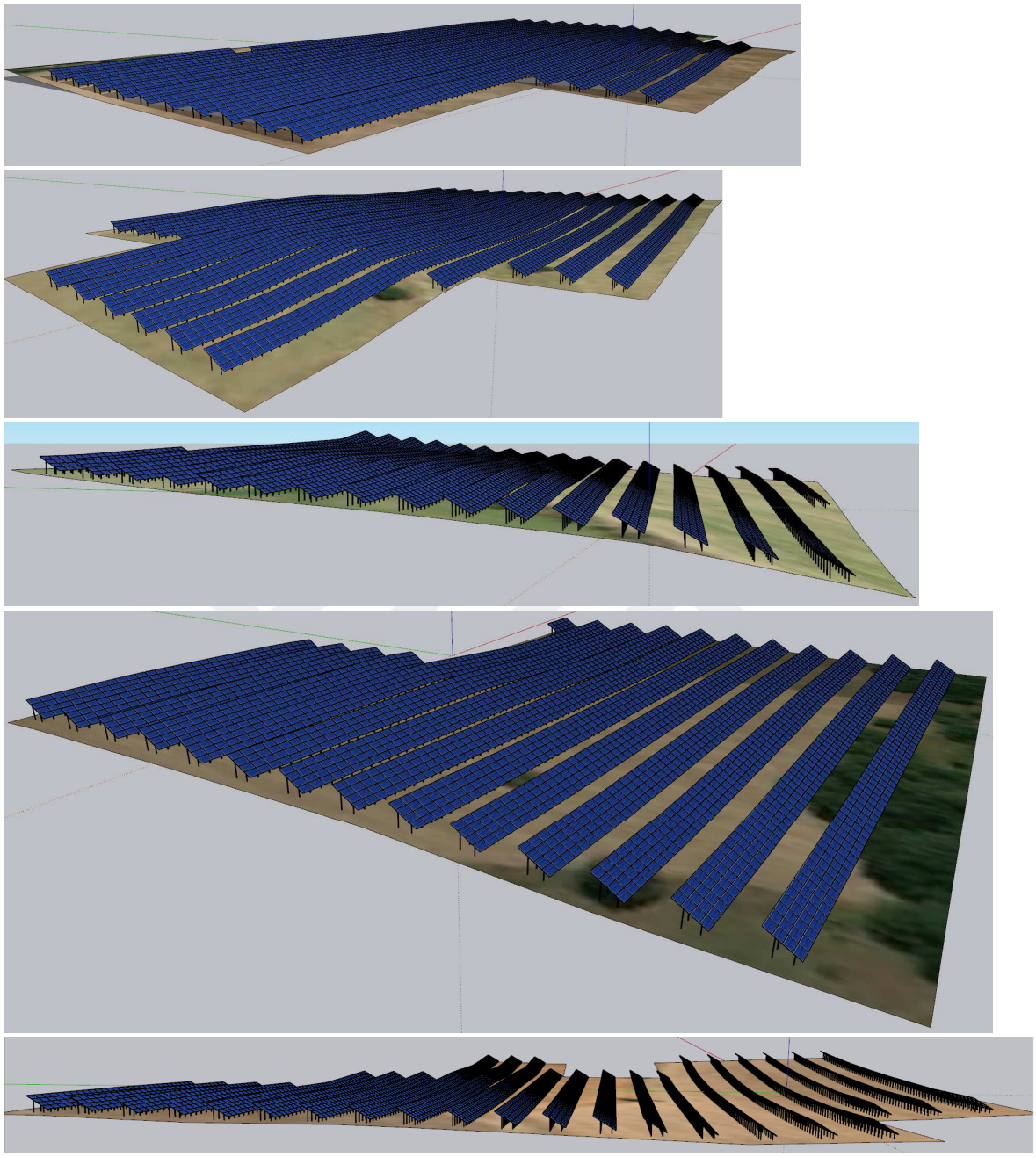



Şekil 29. Alternatiflerin Google Earth Görünümleri

### 4.3.1. Santral Gücü İrdelemesi

Seçilen arazilere kaç panel sığabileceği bilgisini elde etmek için, SketchUp yazılımında Skelion eklentisi kullanılarak panel yerleştirme işlemi yapılmıştır. Skelion eklentisinin veritabanında çeşitli marka ve güçlerde paneller gerçek ebatlarında bulunmaktadır; ayrıca veritabanına kullanıcı tarafından ebat, güç, ağırlık ve teknoloji bigileri girilerek mevcut olmayan marka veya modelde yeni güneş panelleri de eklenebilmektedir. Ayrıca Google Earth'ten aktarılan eğimli arazi üzerine panel yerleşimi

yapmaya imkan tanımaktadır. FV enerji raporu üretmek üzere PVGIS ile bağlantı kurma özelliği de önemli bir avantajıdır. Skelion eklentisi direkt olarak konstrüksiyonlu bir şekilde yerleşim yapmadığı için; öncelikle konstrüksiyon, SketchUp component'i olarak oluşturulmuştur. Konstrüksiyon; üst üste dört adet yatay konumlu panel taşıyabilecek şekilde, panel eğim açısı 30 derece (Atlım vd. (2019) Balıkesir ili için yaptığı çalışmada panellerin güney yönünde 28 ile 30 derece arasında kurulmasının uygun olduğunu ve ayrıca literatürde ülkemiz için bu açının 30-35 derece arasında olduğunun bilindiğini belirtilmiştir.) ve en alttaki panelin alt kenarının yerden yüksekliği 60 cm olacak şekilde oluşturulmuştur. Konstrüksiyon üzerine yerleştirilen paneller, 280 watt gücünde olup teknolojisi kristal silikondur. Sonrasında bu component veritabanına eklenmiş ve "Insert solar components" penceresinde seçilmiştir. "Insert solar components" penceresinde seçilen diğer girdiler; "Pitch" için "Pitch at solstice noon" ve "Method" için "Optimum Line (best fitting to optimum orientation)" olmuştur. Penceredeki "Pitch" bölümünün amacı, gölgelenme durumunu dikkate alarak iki sıra arasında bırakılacak mesafeyi belirlemektir. Gölge analizi için gölge boyunun en uzun olduğu 21 Aralık tarihi dikkate alınmaktadır. "Pitch at solstice noon", 21 Aralık öğle vaktindeki gölgelenme mesafesi anlamına gelmektedir. Panel yerleştirilmiş arazilerin görünümü Şekil 30'da ve arazilere yerleştirilen panel sayıları, santral güçleri ve santrallerin yıllık elektrik üretimleri bilgileri Tablo 18'de verilmiştir. Ancak, bu değerlerin GES tasarımı konusunda deneyimli bir uzman tarafından elde edilmemiş olduğu; daha gerçekçi sonuçların yerinde arazi incelemeleri, zemin etüdü gibi daha detaylı çalışmalar gerektirdiği unutulmamalıdır. Bu konuda sarfedilecek daha fazla çaba, tezin kapsamını aşmaktadır ve multidisipliner bir çalışma gerektirmektedir. Bu yüzden bu tez için gerçekleştirilen GES tasarımı ve yatırımın geri dönüş süresi hesabı, ilgililere ön fikir sağlama amacıyla yapılmıştır.



Şekil 30. Panel yerleştirilmiş arazilerin SketchUp yazılımındaki görünümü

### 4.3.2. Yatırımın Geri Dönüş Süresinin İrdelenmesi

Seçilen beş alternatif için, yatırımın geri dönüş süresi hesabında, Kanada hükümeti tarafından geliştirilmiş ücretsiz bir yazılım olan RETScreen Expert kullanılmıştır. Yazılıma her bir arazi için, Sketchup yazılımı Skelion eklentisiyle tespit edilmiş olan 280 watt

gücünde polikristal güneş paneli sayısı girdi olarak girilmiştir. Üretilen elektrik enerjsinin şebekeye satış fiyatı, "EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Temmuz 2021 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı Tarifeler" listesine göre 64 kuruş olup, yazılımın hesaplarını dolar üzerinden yapması sebebiyle, KWh'ı 0.10 dolar olarak sisteme tanımlanmıştır. Finansal parametreler; enflasyon oranı için %2, proje ömrü için 20 yıl, borç oranı için %70, borç faiz oranı için %7, borç vadesi için 15 yıl şeklinde, varsayılan değerler değiştirilmeden hesaba katılmıştır. Hesaplanan değerler, basit geri ödeme süresidir ve Tablo 18'de verilmiştir. Yatırımın geri dönüş sürelerinin bu kadar uzun olması, santral ömrünün genellikle 20-25 yıl olduğu düşünüldüğünde istenmeyen bir durumdur. Çünkü eski yasal düzenlemelere göre dolar cinsinden satış yapılırken, yani destekleme mekanizmasının payı büyükken; günümüzde bu imkan artık geçerli değildir. Bu durum da 1 MW gücündeki santral için ortalama 7 yıl olması gereken yatırımın geri dönüş süresini, Tablo 18'de görülen sürelere çıkarmıştır. Son yasal düzenlemelerle, araziye kurulum yapabilmek için üretim ve tüketim noktalarının aynı yerde olması şartı getirilmiştir. Yani artık ticari arazi kurulumları devri kapanmış olup yalnızca kendi ihtiyacını karşılamak üzere, tasarruf ederek kazanç elde edebilmek mümkün hale gelmiştir. 30772 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'ne göre; tarımsal sulama aboneleri, içme suyu tesisleri ve atık su arıtma tesisleri, üretim ve tüketim noktaları aynı ölçüm noktasında olmak şartı ile; kamu kurum ve kuruluşları ise her türlü aboneliklere ait ihtiyaçlarını karşılamak üzere üretim ve tüketim noktası aynı ölçüm noktasında olma şartı aranmaksızın, diğer mevzuat hükümlerine riayet ederek arazi üzeri GES kurabilmekte ve "Perakende Tek Zamanlı Aktif Enerji Bedeli" üzerinden ihtiyaç fazlası enerji satışı gerçekleştirebilmektedirler (Telemcioğlu, 2021). Bu çalışmada; seçilen alternatif araziler için hesaplanmış olan yatırımın geri dönüş süreleri, ticari amaçlı arazi kurulumuna göre elde edilmiş olup, karar vericilerin bu arazilere tüketim yapacak bir tesisle beraber GES kurmayı planlaması durumunda, RETScreen yazılımında tesisin öngörülen elektrik enerjisi tüketimi bilgisini kullanarak analiz yapması gerekmektedir.

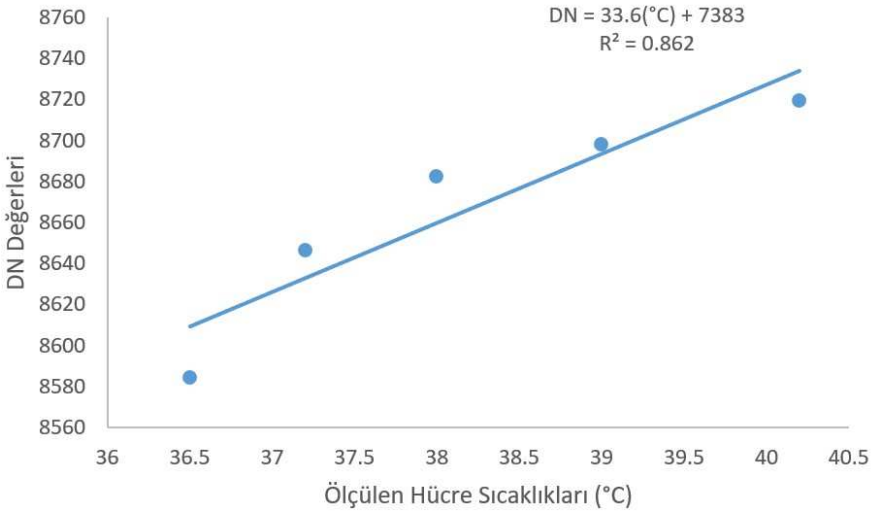
Tablo 18

Alternatif arazilerin analizinden elde edilen sonuçlar

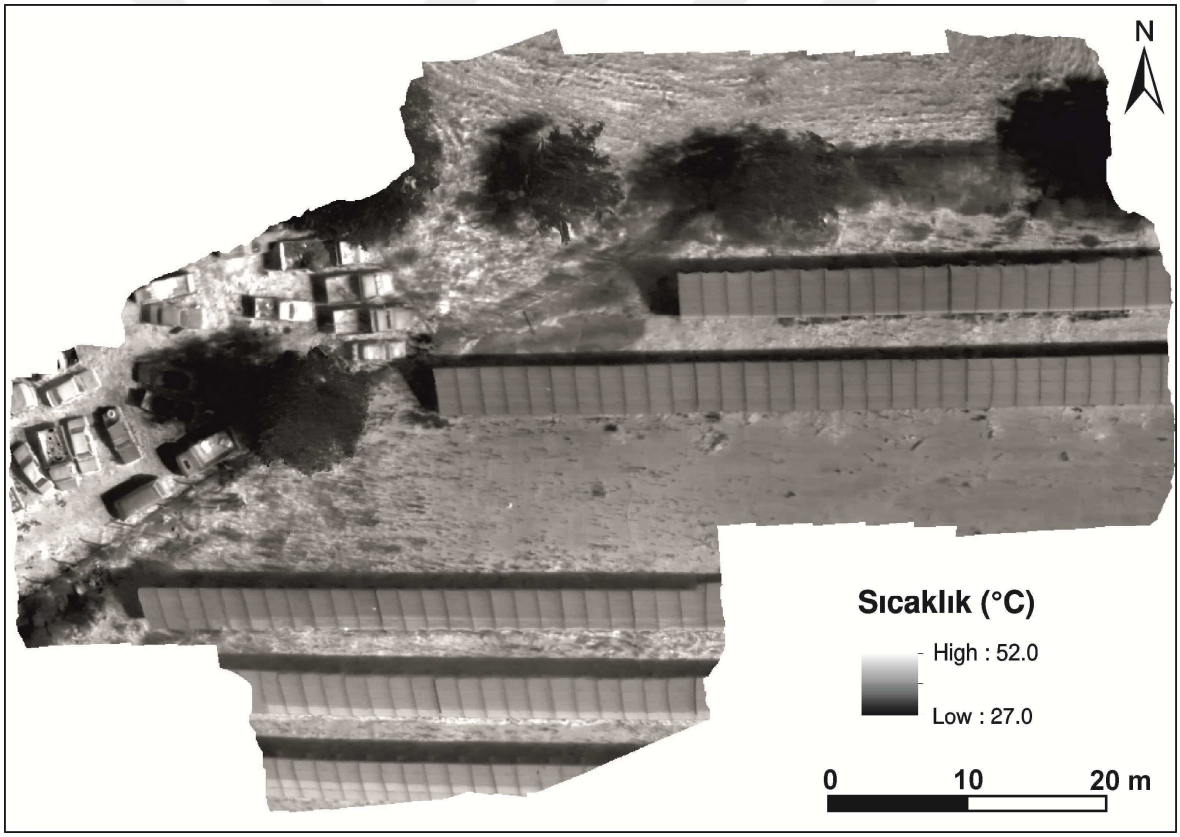
| Alternatif No | İlçe | Alan (ha) | Panel Sayısı | Santral Gücü (kW) | Yıllık Elektrik Üretimi (kWh) | Yatırımın Geri Dönüş Süresi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Çan | 2.1 | 5668 | 1587.04 | 2277908.29 | 14.7 |
| 2 | Ezine | 2.1 | 5744 | 1608.32 | 2599577.04 | 12.1 |
| 3 | Merkez | 1.4 | 4200 | 1176.00 | 1873130.97 | 12.9 |
| 4 | Merkez | 1.2 | 3172 | 888.16 | 1262316.45 | 14.7 |
| 5 | Biga | 2 | 5116 | 1432.48 | 2011013.13 | 14.7 |

### 4.4. İHA ile Termal Görüntüleme

Daha ayrıntılı inceleme yapmak üzere, uygun sınıflı bir GES sahasında DJI Phantom 3 Pro İHA sistemine entegre edilmiş radyometrik olmayan FLIR Vue Pro 336 termal kamera ile termal görüntü alımı gerçekleştirilmiştir. Uçuş planı oluşturmada Pix4Dcapture mobil uygulaması kullanılmıştır. Alınan 52 adet termal görüntüden ortomozaik üretme işlemi Agisoft Metashape Professional 1.5.1 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Üretilen ortomozaik piksel değerlerinin, radyometrik olmayan kamera kullanımından dolayı bağıl sıcaklık değerlerinden oluşması sebebiyle; gerçek sıcaklık değerlerini elde etmek üzere, sahada termometre ile ölçülen FV hücre sıcaklık değerleri kullanılarak Microsoft Excel ile basit doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Elle ölçülen sıcaklık değerlerinin sahaya uygun bir şekilde dağılacak şekilde toplanmasına özen gösterilmiştir. Regresyon işlemi sonucunda elde edilen ve FV hücre sıcaklıkları ile kamera DN değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren matematiksel fonksiyon Şekil 31'de verilmiştir. Elde edilen bu matematiksel fonksiyon, gerçek sıcaklık değerlerini içeren raster'ı elde etmek üzere ArcGIS yazılımının Raster Calculator aracına girilmiştir ve bunun sonucunda elde edilen °C birimindeki sıcaklık değerlerini içeren termal ortomozaik Şekil 32'de verilmiştir. 5 Ağustos 2020 tarihinde saat 11:30 civarında toplanan görüntülerden oluşan ortomozaik incelendiğinde, sıcaklık değerlerinin 52°C'ye kadar çıkması, GES kurulumuna uygun sınıfta bulunan ve GES bulunduran bu sahanın iyi güneş almasından dolayı yüksek sıcaklıklar içerdiğini göstermektedir. Termal görüntü üzerinde panellerin sıcaklık değişimleri incelenerek arızalı hücrelerin tespiti de yapılabilmekte ve böylece bakım çalışmalarıyla enerji kayıplarının önüne geçilebilmektedir. Sıcaklığın paneller üzerindeki olumsuz etkisi bu çalışma kapsamında araştırılmamıştır.




Şekil 31. Ölçülen FV hücre sıcaklıkları ve kamera DN değerlerinin ilişkisini gösteren grafik




Şekil 32. Üretilen termal ortomozaik

# BEŞİNCİ BÖLÜM
# SONUÇ VE ÖNERİLER

Güneş enerjisi santralleri için yer seçimi analizi yapmak, uygun maliyetli ve iyi performans gösteren projeler sağlamak için büyük önem taşımaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Analizi entegrasyonu ile; güvenilir bir yer seçimi analizi yapılmakta ve çeşitli kriterlerle kısıtlamalar hesaba katılarak harita üzerinde en uygun yerler belirlenebilmektedir. Çalışmada öncelikle kriterler ve kısıtlamalar seçilmiş, uzman desteği alınarak AHY hesabı gerçekleştirilmiş, kriterlerin ve kısıtlamaların mekansal analizleri yapılmış ve Çanakkale ilinin GES uygunluk haritası elde edilmiştir. Sonrasında uygun alanların yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli hesaplanmış ve Çanakkale ilinin enerji talebinin ne kadarının karşılanabileceği tespit edilmiş, ayrıca uygun alanların arasından alternatif araziler seçilerek ayrıntılı incelemeleri yapılmıştır. Yapılan incelemeler neticesinde tespit edilen toplam "çok uygun alan" miktarı 2637 hektar olup bu alanlara kurulum yapılması durumunda Çanakkale ilinin enerji talebinin tamamının karşılanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu uygun alanlar arasından seçilen beş alternatif arazi Ezine, Merkez ve Çan ilçelerinden olmakla birlikte; alanları 1.2 ve 2.1 hektar arasında değişirken, santral gücü potansiyelleri 888 kW'tan 1608 kW'a değişkenlik göstermiş ve aralarındaki en iyi alternatifin Ezine ilçesindeki, 1608 kW gücünde potansiyeli olan ve 12.1 yıl yatırımın geri dönüşü süresine sahip alternatif olduğu tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması için yer seçimi analizi; kısıtlamaları tam anlamıyla ele alarak hassas bir şekilde yürütülmüş ve bunun neticesinde Çanakkale ilinin kurulum yapılamaz alan oranı 9415.91 $km^2$ ile %96 olarak tespit edilmiştir. Çok uygun ve uygun sınıflı alanların toplam oranının 348.13 $km^2$ ile %3.5 olduğu ve sadece çok uygun sınıflı alanların bile büyük bir potansiyel taşıdığı görülmüştür. Orta uygun, az uygun ve çok az uygun alan miktarı toplamda 47.28 $km^2$ olup bu miktar Çanakkale ilinin %1'inden daha azına karşılık gelmektedir. Yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli çok uygun alanlar için 3927.79 GWh/yıl, uygun alanlar için ise 47090.91 GWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu alanların hesaplanan birim alan başına ÜP değerlerine bakıldığında ise beklendiği üzere 146.36 $kWh/m^2$/yıl'a karşın 148.95 $kWh/m^2$/yıl ile çok uygun alanların daha yüksek potansiyele

sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mevcut GES'ler incelendiğinde ise büyük çoğunluğunun uygun alanlara kurulduğu ancak çeşitli kısıtlamalara denk geldiği görülmüş ve bu durum da yer seçimi çalışmalarının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Çanakkale ilinin iyi oranda güneş potansiyeli olduğu sonuçlarda görülmektedir ve değerlendirilmelidir. Gelecekte potansiyelin yüksek olduğu alanlara kurulum yapılması verimliliği artıracaktır. Ayrıca CBS tabanlı ÇKKA yöntemiyle yapılan yer seçimi analizlerinin karar vermeyi önemli ölçüde kolaylaştırdığı ve güvenilir sonuçlara ulaştırdığı göz önünde bulundurulduğunda, herhangi bir yer seçimi problemi için konunun uzmanları ile iş birliği yapılarak bu tarz bir analizin yapılması gerekliliği es geçilmemeli, hatalı bir yer seçimi kararı vermekten kaçınılmalıdır. Ayrıca kurumlar, bu tarz çalışmaların katkısını göz önünde bulundurmalı, veri paylaşımı yapmaktan kaçınmamalı ve verilerin güncel tutulmasına özen göstermelidir. Daha hassas bir yer seçimi analizi yapmak için, daha fazla araştırma multidisipliner bir şekilde yürütülmelidir.

Konumsal veriler bir arada kullanılırken, aynı bölgeye ait farklı tür verilerin birbirlerine göre bağıl kalitesinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır (TKGM, 2006). Kullanılan verilerin ölçek ve çözünürlük açısından uyum içinde olması önemlidir ve gelecek çalışmalarda bu uyumun sağlanmasına dikkat edilmelidir. Gelecek çalışmalar için daha lokal çalışma ve daha yüksek doğruluklu büyük ölçekli verilerin kullanımı önerilmektedir. Arazileri satın alma, kiralama, kamulaştırma vs. açısından dikkate almak için parsel bazlı incelemeler de yapılabilir. Avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak diğer ÇKKA yöntemleri kullanılabilir. Ayrıca, çok sayıda uzmana aynı anketin tekrar tekrar uygulanmasıyla cevaplar konusunda netlik kazanmayı amaçlayan Delphi tekniğinin kullanılması hassasiyeti artıracaktır.

# KAYNAKÇA


Ağaçsapan, B., Korkmaz, M. ve Çabuk, S. N. (2018). *Sürdürülebilir Bir Gelecek İçin Yenilenebilir Enerji: Eskişehir İli Güneş Enerji Santrali Yer Seçimi Örneği*. Erişim: 5 Ağustos 2021, https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=3fadd5553406477c9abaae6704be0554

Al Garni, H. Z. ve Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, *206*, 1225–1240. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024

Al Garni, H. Z. ve Awasthi, A. (2018). "Chapter 2 - Solar PV Power Plants Site Selection: A Review". I. Yahyaoui (ed). içinde *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (ss. 57–75). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812959-3.00002-2

Anonim. (2021). *Coğrafya*. Erişim: 5 Ağustos 2021, https://canakkale.ktb.gov.tr/TR-70467/cografya.html

Arán Carrión, J., Espín Estrella, A., Aznar Dols, F., Zamorano Toro, M., Rodríguez, M. ve Ramos Ridao, A. (2008). Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *12*(9), 2358–2380. https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.011

Atlım, F., Esen, B. ve Demirtaş, M. (2019). Balıkesir ilinde farklı iki GES tesisinin panel yerleşimi açısından verimliliklerinin karşılaştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *21*(2), 679–696. https://doi.org/10.25092/baunfbed.636967

Bayrakci, M., Choi, Y. ve Brownson, J. R. S. (2014). Temperature Dependent Power Modeling of Photovoltaics. *Energy Procedia*, *57*, 745–754. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.282

Boran, F. E., Menlik, T. ve Boran, K. (2010). Multi-criteria Axiomatic Design Approach to Evaluate Sites for Grid-connected Photovoltaic Power Plants: A Case Study in Turkey. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, *5*(3), 290–300. https://doi.org/10.1080/15567240802533831

Carl, C. (2014). *Calculating Solar Photovoltaic Potential on Residential Rooftops in Kailua Kona, Hawaii*. Yüksek Lisans Tezi. Güney Kaliforniya Üniversitesi, Los Angeles, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri. https://spatial.usc.edu/wp-content/uploads/2014/03/CarlCarolineThesis.pdf

Cengiz, Ç. ve Mamiş, M. S. (2016). Thermal Solar Energy Use and Efficiency Analysis of CSP Systems. *Bitlis Eren University Journal of Science & Technology*, *5*(2), 88–91.

Cezim, C. (2013). *Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları*. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Eğitim ve Seminer Etkinlikleri. Erişim: 5 Ağustos 2021, http://www.solar-academy.com/menuis/Fotovoltaik-Sistemler-ve-Uygulamalari.122101.pdf

Cho, K. T. (2003). Multicriteria decision methods: An attempt to evaluate and unify.

*Mathematical and Computer Modelling*, *37*(9–10), 1099–1119. https://doi.org/10.1016/S0895-7177(03)00122-5

Demircan, M., Arabacı, H., Bölük, E., Akçakaya, A., Şensoy, S. ve Ekici, M. (2013). İklim Normalleri ve 1981-2010 Sıcaklık Normallerinin Coğrafî Bilgi Sistemleri İle Topografya Kullanarak Yüksek Çözünürlüklü Grid Veri Setinin Üretilmesi. *6th Atmospheric Science Symposium - ATMOS 2013*. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/cbs-topografya.pdf

Doljak, D. ve Stanojević, G. (2017). Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. *Energy*, *127*, 291–300. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.140

Effat, H. A. (2013). Selection of Potential Sites for Solar Energy Farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and Multicriteria Analysis. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, *2*(1), 205–220.

Elkarmi, F. ve Mustafa, I. (1993). Increasing the utilization of solar energy technologies (SET) in Jordan. *Energy Policy*, *21*(9), 978–984. https://doi.org/10.1016/0301-4215(93)90186-J

Georgiou, A. ve Skarlatos, D. (2016). Optimal site selection for sitting a solar park using multi-criteria decision analysis and geographical information systems. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, *5*, 321–332. https://doi.org/10.5194/gi-5-321-2016

Gerçek, Y. (2018). *Güneş Enerji Santralleri İçin CBS ile En Uygun Yer Tayini: Malatya İli Örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Goepel, K. D. (2014). *AHP and the Magical Number Seven Plus or Minus Two*. Erişim: 5 Ağustos 2021, https://bpmsg.com/ahp-and-the-magical-number-seven-plus-or-minus-two/

Hepbilgin, B. (2018). *Kazdağı ve Yakın Çevresinde Ağaç Formasyonunun Dağılışına İklim Değişikliğinin Olası Etkilerinin Modellenmesi*. Doktora Tezi. Çanakkake Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.

International Energy Agency. (2014). *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/e78cd964-9859-48c8-89b5-81fb4a1423b3/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf

Kahraman, S. ve Ünsal, Ö. (2014). *ArcGIS Spatial Analiz*. Esri Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti.

Kocabaldır, C. ve Yücel, M. A. (2020). GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis of Site Selection for Photovoltaic Power Plants in Çanakkale Province. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, *7*(3), 347–355. https://doi.org/10.30897/ijegeo.689570

Li, D. (2013). *Using GIS and Remote Sensing Techniques for Solar Panel Installation Site Selection*. Yüksek Lisans Tezi. Waterloo Üniversitesi, Waterloo, Ontario, Kanada.

Lopez, A., Roberts, B., Heimiller, D., Blair, N. ve Porro, G. (2012). *U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis*. Erişim: 5 Ağustos 2021,

https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf

Malczewski, J. ve Rinner, C. (2015). Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4

Noorollahi, E., Fadai, D., Shirazi, M. A. ve Ghodsipour, S. H. (2016). Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) - A case study of Iran. *Energies*, *9*(8), 1–24. https://doi.org/10.3390/en9080643

Özgören, Y. ve Koyuncu, S. (2018). Geleceğin Teknolojisi Yenilenebilir Enerji Sistemlerine Geçişte Çanakkale Yöresi Elektrik Şebekelerinin Mevcut Durumu ve Optimizasyonu. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *4*(2), 212–236.

Pohekar, S. D. ve Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *8*(4), 365–381. https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007

Resmi Gazete, (1990). Kıyı Kanunu. Tarih: 17.04.1990, Sayı:20495, Ankara

Resmi Gazete, (2014). Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği. Tarih: 04.04.2014, Sayı: 28962, Ankara

Resmi Gazete, (2017). İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik. Tarih: 28.10.2017, Sayı: 30224, Ankara

Saaty, T. L. (2003). Rank, Normalization and Idealization in the Analytic Hierarchy Process. *ISAHP*, 57–64. https://doi.org/10.13033/isahp.y2003.035

Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales, M. S. ve Lamata, M. T. (2015). Evaluation of suitable locations for the installation of solar thermoelectric power plants. *Computers and Industrial Engineering*, *87*(2015), 343–355. https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.05.028

Sánchez-Lozano, Juan M., Henggeler Antunes, C., García-Cascales, M. S. ve Dias, L. C. (2014). GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. *Renewable Energy*, *66*, 478–494. https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.038

Sánchez-Lozano, Juan M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L. ve Socorro García-Cascales, M. (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*, 544–556. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019

Sengupta, M., Habte, A., Kurtz, S., Dobos, A., Wilbert, S., Lorenz, E., Stoffel, T., Renne, D., Gueymard, C., Myers, D., Wilcox, S., Blanc, P. ve Perez, R. (2015). *Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications*. Erişim: 5 Ağustos 2021, https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/63112.pdf

Suh, J. ve Brownson, J. R. S. (2016). Solar farm suitability using geographic information system fuzzy sets and analytic hierarchy processes: Case study of Ulleung Island,

Korea. *Energies*, *9*(8). https://doi.org/10.3390/en9080648

Şenlik, İ. (2017). Güneş Enerjisi Santrallarinin Yer Seçimi. *Elektrik Mühendisleri Odası*, *462*, 94–98.

Şenlik, İ., Çinar, R., Çetin, Ö., Efe, Ç. ve Gençoğlu, T. (2018). *Güney Marmara Elektrik Enerjisi Raporu 2018*. Erişim: 5 Ağustos 2021, https://www.emo.org.tr/ekler/ac53d16b0e46456_ek.pdf

Tahri, M., Hakdaoui, M. ve Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *51*, 1354–1362. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.054

Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, (2006). Eylem 36 Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) Oluşturmaya Yönelik Altyapı Hazırlık Çalışmaları Raporu: TUCBS Politika ve Strateji Dokümanı, Ankara

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2018). Tarım Arazilerinin Korunması Kullanılması ve Planlanmasına Dair Uygulama Talimatı. Tarih: 26.04.2018, Ankara

Telemcioğlu, F. (2021). Güneş Enerjisi Arazi Uygulamaları. içinde *Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Eğitim Notları* (ss. 324–341).

Tural, S. (2011). *Gerçek Zamanlı Meteoroloji Verilerinin Toplanması, Analizi ve Haritalanması*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Demir, İ. (2002). *Türkiye'nin Günlük Ortalama, Maksimum ve Minimum Hava Sıcaklıkları ile Sıcaklık Genişliğindeki Eğilimler ve Değişiklikler*. Prof. Dr. Sırrı Erinç Anısına Klimatoloji Çalıştayı (ss.89–106), İzmir.

Uyan, M. (2017). Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *23*(4), 343–351. https://doi.org/10.5505/pajes.2016.59489

Wang, H. S., Che, Z. H. ve Wu, C. (2010). Using analytic hierarchy process and particle swarm optimization algorithm for evaluating product plans. *Expert Systems with Applications*, *37*(2), 1023–1034. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.073

Yomralıoğlu, T. (2015). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar* (6. baskı). İlber Ofset.

Yousefi, H., Hafeznia, H. ve Yousefi-Sahzabi, A. (2018). Spatial site selection for solar power plants using a gis-based boolean-fuzzy logic model: A case study of Markazi Province, Iran. *Energies*, *11*(7). https://doi.org/10.3390/en11071648

Zoghi, M., Houshang Ehsani, A., Sadat, M., javad Amiri, M. ve 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. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014

# EKLER

# EK 1

# ANKET FORMU

Sayın Beyefendi / Hanımefendi,

Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santrallerinin Çanakkale ili için yer seçimi ile ilgili çalışmamıza yardımcı olduğunuz ve zaman ayırdığınız için şimdiden çok teşekkür ederiz.

Analitik Hiyerarşi yönteminde:

- İkili karşılaştırma, iki kriterin subjektif olarak karşılaştırılması anlamına gelmektedir. Karşılaştırmalar, kriterlerin birbirlerine göre önem dereceleri belirlenerek yapılır.

- Bahsedilen önem dereceleri şu şekildedir:

| **Önem Dereceleri** | **Derece Tanımları** |
|---|---|
| 1 | Her iki kriterin eşit olması durumu |
| 3 | 1. kriterin 2. kriterden daha önemli olması durumu |
| 5 | 1. kriterin 2. kriterden çok önemli olması durumu |
| 7 | 1. kriterin 2. kritere nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu |
| 9 | 1. kriterin 2. kritere nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu |
| 2,4,6,8 | Ara değerler |
| 1/3 | 1. kriterin 2. kriterden daha az önemli olması durumu |
| 1/5 | 1. kriterin 2. kriterden çok daha az önemli olması durumu |
| 1/7 | 1. kriterin 2. kritere nazaran çok zayıf bir öneme sahip olması durumu |
| 1/9 | 1. kriterin 2. kritere nazaran mutlak zayıf bir öneme sahip olması durumu |
| 1/2, 1/4, 1/6, 1/8 | Ara değerler |

* Ara değerler açıklaması: Örneğin "1" ile "3" arasında kalındığında, "2" önem derecesi kullanılabilir.

- Örnek derecelendirme:

| **İkili Kriter Karşılaştırmaları** | **Önem Derecesi** |
|---|---|
| İklim üst düzey kriteri, Konum üst düzey kriterine göre | 9 |
| Güneş Işınımı kriteri, Sıcaklık kriterine göre | 2 |
| Eğim kriteri, Bakı kriterine göre | 1/2 (Yani bakı daha önemli) |

Tez çalışmasında kullanılacak olan üç adet üst düzey kriter ile içerdikleri kriterler aşağıdaki çizelgede verilmiştir ve ardından kriterlerle ilgili açıklama yapılmıştır:

| KONUM | İKLİM | TOPOĞRAFYA |
|---|---|---|
| Su kaynaklarına uzaklık | Güneş ışınımı | Eğim |
| Ulaşım ağlarına uzaklık | Güneşlenme süresi | Bakı |
| Enerji iletim hatlarına uzaklık | Yılllık ort. sıcaklık | |
| Trafo merkezlerine uzaklık | Yıllık ort. bağıl nem | |
| Yerleşim alanlarına uzaklık | | |
| Fay hatlarına uzaklık | | |
| Maden / Taş ocağı alanlarına uzaklık | | |

- Literatürde, ortamın hava sıcaklığının artmasının panel verimini azalttığı belirtilmektedir. *(Fotovoltaik hücre sıcaklığındaki bir artış, voltajda bir düşüşe ve elektrik akımında hafif bir artışa neden olur. Sıcaklık; azınlık taşıyıcısı ömrünü, taşıyıcı hareketliliği ve difüzyon gibi bazı parametreleri de etkiler ve güneş hücrelerinde rekombinasyonu arttırır (Bayrakci ve ark., 2014). Çalışmalar 25°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hücre sıcaklığındaki her 1°C artış için, üretilen enerji miktarında yaklaşık % 0.4 -% 0.5 arasında azalma olduğunu göstermiştir (Noorollahi, 2016).)*
- Nem, güneş ışığının ışınım seviyesini ve fotovoltaik hücre muhafazasına girişini etkiler. Bu nedenle nemdeki artış, güneş panellerinin verimliliği ile ters orantılıdır.
- Su kaynaklarına taşkın riski sebebiyle hem fazla yakınlık istenmemekte hem de panellerin temizliği amacıyla fazla uzaklık istenmemektedir.
- Ulaşım Ağlarına Uzaklık kriterinde; santral kurulumunda nakliyatı sağlamak adına yapılacak yeni yollar ve altyapı çalışmaları için ek maliyetlerden kaçınma amacıyla yollara yakınlık istenmektedir.
- Enerji İletim Hatlarına ve Trafo Merkezlerine Uzaklık için; santralin bu alanlara yakın olması, yeni hatların kurulmasının yüksek maliyetinden kaçınmanın yanı sıra iletimdeki güç kaybını en aza indirmeye yardımcı olur.
- Yerleşim Alanlarına Uzaklık kriterinde tüketiciye yakınlık ekonomik açıdan faydalıdır. Fakat ilerideki alansal gelişmeleri göz önünde bulundurularak bu alanların yakın çevresi içinde kurulum tercih edilmez.
- Fay Hatlarına Uzaklık kriteri, olabilecek depremlerin santrale olumsuz etkisinden kaçınmak için dikkate alınan bir kriterdir.
- Maden / Taş Ocağı Alanlarına Uzaklık kriterinde, tozlanma sebebiyle bu alanlara yakınlık istenmemektedir.
- Eğim kriterinde eğimin az olması maliyet açısından en uygunken, bakı kriterinde arazilerin güney cepheli olması en tercih edilendir.

**Lütfen yukarıda belirtilen üst düzey kriterlerin ve kriterlerin önem derecelendirmesini yapınız:**

| İkili Üst Düzey Kriter Karşılaştırmaları | Önem Derecesi |
|---|---|
| Konum üst düzey kriteri, İklim üst düzey kriterine göre | |
| Konum üst düzey kriteri, Topoğrafya üst düzey kriterine göre | |
| İklim üst düzey kriteri, Topoğrafya üst düzey kriterine göre | |

| Konum - İkili Kriter Karşılaştırmaları | Önem Derecesi |
|---|---|
| Su Kaynaklarına Uzaklık kriteri, Ulaşım Ağlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Su Kaynaklarına Uzaklık kriteri, Enerji İletim Hatlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Su Kaynaklarına Uzaklık kriteri, Trafo Merkezlerine Uzaklık kriterine göre | |
| Su Kaynaklarına Uzaklık kriteri, Yerleşim Alanlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Su Kaynaklarına Uzaklık kriteri, Fay Hatlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Su Kaynaklarına Uzaklık kriteri, Maden / Taş Ocağı Alanlarına Uz. kriterine göre | |
| Ulaşım Ağlarına Uzaklık kriteri, Enerji İletim Hatlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Ulaşım Ağlarına Uzaklık kriteri, Trafo Merkezlerine Uzaklık kriterine göre | |
| Ulaşım Ağlarına Uzaklık kriteri, Yerleşim Alanlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Ulaşım Ağlarına Uzaklık kriteri, Fay Hattına Uzaklık kriterine göre | |
| Ulaşım Ağlarına Uzaklık kriteri, Maden / Taş Ocağı Alanlarına Uz. kriterine göre | |
| Enerji İletim Hatlarına Uzaklık kriteri, Trafo Merkezlerine Uzaklık kriterine göre | |
| Enerji İletim Hatlarına Uzaklık kriteri, Yerleşim Alanlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Enerji İletim Hatlarına Uzaklık kriteri, Fay Hatlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Enerji İletim Hatlarına Uzaklık kriteri, Maden / Taş Ocağı Alanlarına Uz. kriterine göre | |
| Trafo Merkezlerine Uzaklık kriteri, Yerleşim Alanlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Trafo Merkezlerine Uzaklık kriteri, Fay Hatlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Trafo Merkezlerine Uzaklık kriteri, Maden / Taş Ocağı Alanlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Yerleşim Alanlarına Uzaklık kriteri, Fay Hatlarına Uzaklık kriterine göre | |
| Yerleşim Alanlarına Uzaklık kriteri, Maden / Taş Ocağı Alanlarına Uz. kriterine göre | |
| Fay Hatlarına Uzaklık kriteri, Maden / Taş Ocağı Alanlarına Uzaklık kriterine göre | |

| İklim - İkili Kriter Karşılaştırmaları | Önem Derecesi |
|---|---|
| Güneş Işınımı kriteri, Güneşlenme Süresi kriterine göre | |
| Güneş Işınımı kriteri, Yıllık Ort. Sıcaklık kriterine göre | |
| Güneş Işınımı kriteri, Yıllık Ort. Bağıl Nem kriterine göre | |
| Güneşlenme Süresi kriteri, Yıllık Ort. Sıcaklık kriterine göre | |
| Güneşlenme Süresi kriteri, Yıllık Ort. Bağıl Nem kriterine göre | |
| Yıllık Ort. Sıcaklık kriteri, Yıllık Ort. Bağıl Nem kriterine göre | |

| Topoğrafya - İkili Kriter Karşılaştırmaları | Önem Derecesi |
|---|---|
| Eğim kriteri, Bakı kriterine göre | |

Herhangi bir öneriniz? :

Canan KOCABALDIR
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Coğrafi Bilgi Teknolojileri Yüksek Lisans Programı
E-posta:

Doç. Dr. Mehmet Ali YÜCEL
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Harita Mühendisliği Bölümü
E-posta: