

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ KURULABİLECEK ALANLARIN TESBİT EDİLMESİ KARABÜK İLİ ÖRNEĞİ

Nesrin SARSICI

Mücahit COŞKUN



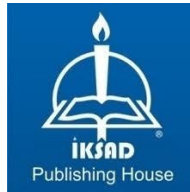
İKSAD
Publishing House

**GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ KURULABİLECEK
ALANLARIN TESBİT EDİLMESİ
KARABÜK İLİ ÖRNEĞİ**

Nesrin SARSICI

Mücahit COŞKUN

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18111479>



Copyright © 2025 by iksad publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social

Research Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-503-1

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

ÖNSÖZ

Dünya’da enerjinin önemli bir yeri vardır. Gelişen sanayi, artan nüfus ve bunlara bağlı olarak yaşam standartlarının giderek yükselmesi sonucunda teknolojinin hayatımıza girişi hızlanmıştır ve enerjiye olan talebi artırmıştır. Ülkeler enerji ihtiyacını karşılamak için özellikle dışa bağımlılığı azaltacak, çevreye daha az zarar verecek, süreklilik sağlayacak ve kendini yenileyebilecek alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Her geçen gün enerjiye olan ihtiyacı artan Türkiye’de bu serüvene katılan ülkelerden biridir. Güneş enerjisi bakımından oldukça avantajlı bir konumda olan Türkiye, güneşlenme potansiyelini ve teknolojisini de kullanarak küresel pazarda yer edinebilir. Fakat enerjinin verimliliği ve sürdürülebilirliği için santral kurulacak alanların yer seçiminin doğru analiz edilmesi için doğru parametrelerin ve doğru araçların seçilmesi gerekmektedir.

Araştırmanın alan kapsamını Karabük ili, konu kapsamını ise güneş enerjisi santrallerinin kurulacağı yerlerin belirlenmesi oluşturmaktadır. Araştırmanın amacı Karabük ilinde güneş enerjisi santralleri için uygun olan yerleri belirlemek, yöntemi ise çok ölçütlü karar verme analizi yöntemlerinden biri olan Analitik hiyerarşi sürecidir.

Hazırlanan bu çalışma, Prof. Dr. Mücahit COŞKUN danışmanlığında yürütülmüş ve 27.08.2020 tarihinde başarılı bir şekilde savunulmuş “Karabük İlinde Güneş Enerjisi Santrali (GES) Kurulabilecek Alanların Çok Ölçütlü Karar Analizi ile Tespiti” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Araştırma, giriş kısmı haricinde beş bölüm olarak hazırlanmıştır. Birinci bölümde Dünya’da ve Türkiye’de yenilenebilir enerji ve güneş enerjisine ilişkin bilgiler verilmiştir. Araştırmanın ikinci bölümünde güneş enerjisi teknolojileri ve çevresel etkilerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi ile ilgili yaklaşımların değerlendirmesi yapılmıştır. Dördüncü bölümde Karabük ilinde güneş enerjisi santrali kurulacak alanlar çok kriterli karar analizi-analitik hiyerarşi yöntemi ile belirlenmiştir. Son olarak sonuç ve öneriler anlatılarak araştırma tamamlanmıştır.

Araştırmacılara yararlı olması umduyla...

Nesrin SARSICI ve Mücahit COŞKUN

Aralık /2025

Karabük

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
HARİTALAR LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR	ix
GİRİŞ.....	1
1. BÖLÜM.....	11
DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ	11
1.1. Enerji ve Yenilenebilir Enerji.....	11
1.2. Enerji ve Çevre İlişkisi	17
1.3. Güneş Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi.....	19
1.4. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisinin Yeri	22
1.4.1. Dünya’ da Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	24
1.4.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	27
1.4.3. Türkiye’de Enerji Tüketim Dağılımı.....	30
1.4.4. Güneş Enerjisi Uygulamalarına Örnekler	32
2. BÖLÜM.....	41
GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ	41
2.1. Elektrik Üretiminde Kullanılan Güneş Enerjisi Teknolojileri.....	41
2.1.1. Fotovoltaik Güneş Teknolojileri (PV).....	41
2.1.2. Isıl Güneş Teknolojileri.....	46
2.2. Güneş Enerjisi Santralinden Elektrik Enerjisi Üretim Maliyetinin Diğer Santraller ile Karşılaştırılması	50
2.3. Güneş Enerjisi Santrallerinin Çevresel Etkileri.....	54
2.3.1. Arazi Kullanım Etkileri	55
2.3.2. Su Kaynakları ve Toprağa Etkileri.....	57
2.3.3. Hava Kirliliği Etkisi	59

2.3.4. Gürültü Kirliliği Etkisi	59
2.3.5. Ekosistem ve Biyolojik Çeşitliliğe Etkileri	60
2.3.6. Rutin ve Kaza Sonucu Kimyasal Madde Salınımlarından Kaynaklı Etkiler.....	62
2.3.7. Görsel Etkiler	63
2.3.8. Kullanılan Malzeme ve Üretime İlişkin Çevresel Etkileri	64
2.4. Güneş Enerjisi Santrallerinin Diğer Olumsuz Etkileri ve Çevresel Etki Performansı	66
3. BÖLÜM.....	68
GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN YER SEÇİMİ İLE İLGİLİ YAKLAŞIMLAR	68
3.1. Faaliyetlerin Verimliliği Açısından Yer Seçim Koşulları	68
3.2. Çevresel Etkiler Açısından Yer Seçim Koşulları	71
3.3. Diğer Etkiler Açısından Yer Seçim Koşulları	73
3.4. Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimini Etkileyen Mevzuatın Kısıtlayıcı ve Teşvik Edici Olmaları Yönünden İncelenmesi Endüstri Bölgeleri Kanunu	73
3.4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma İlişkin Kanun	73
3.4.2. Çevre Kanunu.....	74
3.4.3. Orman Kanunu	75
3.4.4. Milli Parklar Kanunu.....	76
3.4.5. Kara Avcılığı Kanunu	76
3.4.6. Mer'a Kanunu	77
3.4.7. Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu	78
3.4.8. Sulama Alanlarında Arazi Düzenlenmesine Dair Tarım Reformu Kanunu	79
3.4.9. Zeytinciliğin Islahı ve Yabanilerin Aşılınması Hakkında Kanun	80
3.4.10. Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu	80

3.4.11. Kıyı Kanunu	82
3.4.12. Askeri Yasak Bölgeler ve Güvenlik Bölgeleri Kanunu	82
3.4.13. Sivil Havacılık Kanunu	83
4. BÖLÜM.....	84
KARABÜK İLİ GÜNEŞ SANTRALİ KURULACAK ALANLARIN ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ – ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ	84
4.1. Çalışma Alanı	84
4.2. GES Alanlarının Yer Seçimine Etki Eden Faktörler	88
4.2.1. Güneşlenme Potansiyeli	88
4.2.2. Bakı	91
4.2.3. Eğim	95
4.2.4. Toprak	98
4.2.5. Heyelan Risk Envanteri.....	101
4.2.6. Trafo Alanları.....	104
4.2.7. Enerji Nakil Hattı	108
4.2.8. Deprem Fay Hattı	108
4.2.9. Karayolu ve Demiryolu Ağı.....	110
4.2.10. Su Alanları.....	116
4.2.11. İskan Alanları	124
4.2.12. GES İçin Kullanılamayan Alanlar.....	127
4.3. Ana Ölçütler İçin Analitik Hiyerarşi Süreci	129
4.4. Sonuç Haritasının (Uygun Alanlar) Üretilmesi	131
SONUÇ VE TARTIŞMA	143
ÖNERİLER.....	154
KAYNAKÇA.....	155
ELEKTRONİK KAYNAKÇA	161
MEVZUAT.....	163

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1: AHS’ de Kullanılan Standart Tercih Tablosu (Saaty, 1994).....	4
Tablo 2: Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi İçin Uygulanan Aşamalar.	6
Tablo 3: Bazı Ülkelerin 2024 Yılında Kaynak Bazında Yakıt Tüketimi.....	12
Tablo 4: Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücünün Yıllara Göre Gelişimi ve Hedefleri (2017–2035).....	15
Tablo 5: 2011-2024 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye Kurulu gücü.	16
Tablo 6: Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi.	20
Tablo 7: Ülkelere göre Dünyadaki Güneş Enerjisi Kurulu Güç Listesi-2024 ...	23
Tablo 8: Türkiye’nin Bölgelere Göre Toplam Güneş Enerjisi ve Güneşlenme Süresi.	29
Tablo 9: Türkiye’de Yıllık Üretimin Kaynaklara Göre Dağılımı.	30
Tablo 10: Türkiye Seçili Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yıllık Üretim Miktarları ve Grup İçi Payları (2024).....	31
Tablo 11: Türkiye’nin Genel Enerji Dengesi.....	31
Tablo 12: 1. Cetvelde Garanti Edilen Satış Fiyatları.....	52
Tablo 13: Enerji Santrallerinin Marjinal Maliyetlerinin Birim Maliyetler Üzerinden Karşılaştırılması.	52
Tablo 14: Enerji Santrallerinin İlk Kurulum Maliyetine Göre Karşılaştırılması.	53
Tablo 15: Santrallerin ilk kurulum maliyetleri ve birim enerji üretim Maliyeti (cent/kWh).....	54
Tablo 16: Enerji Üretim Kategorilerine Göre Arazi Kullanım Miktarları.	56
Tablo 17: Enerji Santralleri ve Su Tüketim Durumu.....	58
Tablo 18: Enerji Üretim Sistemlerinin Gürültü Etkileri Karşılaştırması.....	60
Tablo 19: Enerji Üretim Sistemlerinin Ekosistem ve Biyolojik Çeşitliliğe Nispi Etkileri.	62
Tablo 20: Enerji Üretim Sistemlerinin Görsel Etkilerinin Karşılaştırması.	64
Tablo 21: Elektrik Üretim Kategorilerine Göre Hayat Döngüsü Sera Gazı Emisyon Yoğunluğu.....	66
Tablo 22: Güneş Enerjisi Santrallerinin Çevresel Etkileri.....	67
Tablo 23: Küresel Yatay Işınım (kWh/m ²) Katmanı İçin Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	91
Tablo 24: Küresel Yatay Işınım (kWh/m ²) için İkili Karşılaştırma Matrisi.	91

Tablo 25: Küresel Yatay Işınım (kWh/m ²) için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	91
Tablo 26: Küresel Yatay Işınım (kWh/m ²) için CI, RI ve CI/RI Değerleri.	91
Tablo 27: Bakı Katmanı için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	93
Tablo 28: Bakı Katmanı için İkili Karşılaştırma Matrisi.	94
Tablo 29: Bakı Katmanı için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	95
Tablo 30: Bakı Katmanı için CI, RI ve CI/RI Değerleri.	95
Tablo 31: Eğim için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	97
Tablo 32: Eğim Katmanı için İkili Karşılaştırma Matrisi.	97
Tablo 33: Eğim Katmanı için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	98
Tablo 34: Eğim katmanı için CI, RI ve CI/RI Değerleri.	98
Tablo 35: Toprak Haritası için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	100
Tablo 36: Toprak Katmanı için İkili Karşılaştırma Matrisi.	101
Tablo 37: Toprak Katmanı için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	101
Tablo 38: Toprak katmanı için CI, RI ve CI/RI Değerleri.	101
Tablo 39: Heyelan Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	103
Tablo 40: Heyelan Alanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.	104
Tablo 41: Heyelan Alanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	104
Tablo 42: Heyelan Alanlarına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.	104
Tablo 43: Trafo Haritası için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	107
Tablo 44: Trafo Merkezlerine Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.	107
Tablo 45: Trafo Merkezlerine Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	107
Tablo 46: Trafo Merkezlerine Yakınlık için CL, RI ve CI/RI Değerleri.	107
Tablo 47: Deprem Fay Hattına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	109
Tablo 48: Deprem Fay Hattına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.	110
Tablo 49: Deprem Fay Hattına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	110

Tablo 50: Deprem Fay Hattına Yakınlık için CL, RI ve CI/RI Değerleri.....	110
Tablo 51: Karayolu Ağına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	113
Tablo 52: Karayolu Ağına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.	113
Tablo 53: Karayolu Ağına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	113
Tablo 54: Karayolu Ağına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.....	113
Tablo 55: Demiryolu Ağına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	115
Tablo 56: Demiryolu Ağına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.....	115
Tablo 57: Demiryolu Ağına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	115
Tablo 58: Demiryolu Ağına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.	115
Tablo 59: Karabük İlinde Mevcut Sulama Göletleri.....	116
Tablo 60: Akarsu Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.....	118
Tablo 61: Akarsu Alanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.	119
Tablo 62: Akarsu Alanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerleri.	119
Tablo 63: Akarsu Alanlarına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.....	119
Tablo 64: Gölet Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	121
Tablo 65: Gölet Alanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.	121
Tablo 66: Gölet Alanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Toplam Ağırlıklı Değerler.	121
Tablo 67: Gölet Alanlarına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.....	121
Tablo 68: Sel Kapanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	123
Tablo 69: Sel Kapanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.....	123
Tablo 70: Sel Kapanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	124
Tablo 71: Sel Kapanlarına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.	124
Tablo 72: İskan Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	127
Tablo 73: İskân Alanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.	127

Tablo 74: İskân Alanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.	127
Tablo 75: İskân Alanlarına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.	127
Tablo 76: Ana Ölçütler için İkili Karşılaştırma Matrisi.....	129
Tablo 77: Ana Ölçütler için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.....	130
Tablo 78: Ana Ölçütler için CI, RI ve CI/RI Değerleri.....	131
Tablo 79: Arazinin Genel Görünümünün Alansal Olarak Dağılımı, Karabük İli.	133
Tablo 80: Güneş Enerjisi Santrali için Arazinin Alansal Olarak Dağılımı, Karabük İli.	133
Tablo 81: Güneş Enerjisi Santrali için Karabük ve İlçe Arazilerinin Alansal Olarak Dağılımı.	134
Tablo 82: Karabük İli Eğim Gruplarının Alansal Olarak Dağılımı.	145
Tablo 83: Karabük İli Bakı Yönünün Alansal Olarak Dağılımı.....	146

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Ağırlıklandırılan Ölçütler.....	7
Şekil 2: Dünyada 2024 Yılı Birincil Enerji Tüketimi (EJ).....	12
Şekil 3: Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücünün Kaynak Bazında Gelişimi (2017–2025).....	16
Şekil 4: Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi	17
Şekil 5: Enerji Kaynakları, Sürdürülebilir Gelişme ve Çevre İlişkisi.	18
Şekil 6: Dünya Güneş Kuşağı.	25
Şekil 7: Dünya Güneş Potansiyeli Atlası.	25
Şekil 8: Dünya’ da Yıllara Göre Fotovoltaik Güneş Enerjisi Kurulu Gücü... ..	26
Şekil 9: Avustralya’nın Yıllara Göre Kurulu Gücü.	26
Şekil 10: Çin’in Yıllara Göre Kurulu Gücü.	27
Şekil 11: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası.	28
Şekil 12: Türkiye’nin Aylık Güneşlenme Süresi.	29
Şekil 13: Türkiye’nin Aylık Radyasyon Değerleri.	29
Şekil 14: Türkiye’de Tüketime Sunulan Elektrik Enerjisi, 1923-2021 (MWh).	32
Şekil 15: Seri ve Paralel Bağlı Modüller İçeren PV Dizileri.	42
Şekil 16: PV Hücrelerinin Çalışma Mekanizması.....	43
Şekil 17: Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Sistem Şeması.....	44
Şekil 18: Şebeke bağlantılı (On-Grid) Sistem Şeması.....	45
Şekil 19: Hibrid Sistem Şeması.	46
Şekil 20: Isıl Güneş Teknolojileri Sistem Şeması.	47
Şekil 21: Parabolik Oluk Sisteminin İşleyişi.	48
Şekil 22: Güneş Kulesi Sistemi.	49
Şekil 23: Parabolik Çanak Sistem Şeması.	50
Şekil 24: Küresel Yatay Işınım (kWh/m2) Katmanı İçin Oluşturan Veri Modeli.....	90
Şekil 25: Bakı Katmanı için Oluşturulan Veri Modeli.....	92
Şekil 26: Eğim Katmanı İçin Oluşturulan Veri Modeli.	96
Şekil 27: Toprak Sınıfları Katmanı İçin Oluşturulan Veri Modeli.	100
Şekil 28: Heyelan Alanlarına Yakınlık İçin Oluşturulan Veri Modeli.....	102
Şekil 29: Trafo Merkezlerine Yakınlık İçin Oluşturulan Veri Modeli.....	106
Şekil 30: Deprem Fay Hattına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli.	109
Şekil 31: Karayolu Ağına Mesafe için Oluşturulan Veri Modeli.....	112
Şekil 32: Demiryolu Ağına Olan Mesafe için Oluşturulan Veri Modeli.	114
Şekil 33: Akarsu Alanlarına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli.....	118

Şekil 34: Gölet Alanlarına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli	120
Şekil 35: Sel Kapanlarına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli.	122
Şekil 36: İskan Alanlarına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli.....	126

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1: Karabük İli Lokasyon Haritası.....	2
Harita 2: Türkiye'nin Avrupa ülkelerine göre Güneşlenme potansiyeli Atlası.	28
Harita 3: Karabük ili Küresel Yatay Işınım (kWh/m ²) Haritası (Kaynak: Solargis, 2020).....	89
Harita 4: Küresel Yatay Işınım (kWh/m ²) Katmanı İçin Yeniden Sınıflandırma Haritası.	90
Harita 5: Karabük ili Bakı Haritası.....	92
Harita 6: Bakı Haritası için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	93
Harita 7: Karabük ili Eğim Haritası.....	96
Harita 8: Eğim Haritası için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	97
Harita 9: Karabük ili Toprak Sınıfları Haritası.	99
Harita 10: Toprak Haritası İçin Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	100
Harita 11: Karabük ili Heyelan Risk Envanter Haritası.....	102
Harita 12: Heyelan Alanlarına Yakınlık Haritası.....	103
Harita 13: Karabük ili Trafo Merkezleri Haritası.	105
Harita 14: Trafo Merkezlerine Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	106
Harita 15: Karabük ili Deprem Fay Hattı Haritası.....	108
Harita 16: Deprem Fay Hattına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	109
Harita 17: Karabük İli Karayolu ve Demiryolu Ağı Haritası.....	111
Harita 18: Karayolu Ağına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	112
Harita 19: Demiryolu Ağına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	114
Harita 20: Karabük ili Akarsu, Gölet ve Sel Kapanı Haritası.	117
Harita 21: Akarsu Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	118
Harita 22: Gölet Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	120
Harita 23: Sel Kapanı Haritası için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	122

Harita 24: Karabük İli İskan Alanları Haritası.	125
Harita 25: İskan Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.	126
Harita 26: GES Kurulamayacak Alanlar Haritası.	129
Harita 27: Karabük İli Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Yer Haritası....	131
Harita 28: Karabük İli Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Yer Haritası....	132
Harita 29: Fotoğraf Alınan Noktalara Ait Yer Bulduru Haritası.	135
Harita 30: Karabük İlinde Bulunan Korunan Alanlar.	148
Harita 31: Safranbolu İlçesi Sine Köyünde Kurulu Olan Güneş enerjisi Santralinin Uygun Yer Haritası.	149
Harita 32: Safranbolu İlçesi Kuzyakaköseler Köyünde Kurulu Olan Güneş enerjisi Santralinin Uygun Yer Haritası.	149
Harita 33: Eskipazar İlçesi Bölükören Köyünde Kurulu Olan Güneş enerjisi Santralinin Uygun Yer Haritası.	150

KISALTMALAR

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

AC: Alternative Current-Alternatif Akım

ArcGIS: Esri tarafından tutulan coğrafi bilgi ve haritalarla çalışmak için hazırlanmış bir yazılımdır.

AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

AHS: Analitik Hiyerarşi Süreci

ARGE: Araştırma Geliştirme

ASBAŞ: Antalya Serbest Bölge Kurucu ve İşleticisi Anonim Şirketi

BP: British Petroleum

°C: Santigrat Derece

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri

CdTe: Cadmium Telluride

CI: Tutarlılık İndeksi

CI/RI: Tutarlılık Oranı

CO₂: Karbondioksit

Corine: Coordination of Information on the Environment-Çevresel Bilginin Koordinasyonu

Cu: Bakır

CuInSe₂: Bakır İndiyum İkiselenyum

dB: Desibel

DC: Direct Current- Doğru Akım

DEKTMK: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi

DEM: Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)

DIF: Diffuse Horizontal Irradiance-Diffüz Yatay Işınlama

DKMP: Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü

DNI: Doğrudan Normal Işınlama

e⁻: Elektron

EİBB: Enerji İhtisas Endüstri Bölgeleri

EİE: Elektrik İşleri Etüt İdaresi

EİGM: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

ETKB: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

GaAs: Galyum Arsenit

GES: Güneş Enerjisi Santrali

GHI: Global Horizontal Irradiance-Küresel Yatay Işınım

GW: Gigawatt (1.000.000.000 W)

HES: Hidroelektrik Santral

In: İndiyum

IRENA: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı

KDV: Katma Değer Vergisi

kW: Kilowatt (1.000 W)

KWh/m²: Kilowatt-Saat/Metrekare

L/MWh: Litre/Megawatt-Saat

m³: Metreküp

MW: Megawatt (1.000.000 W)

Mwh: Megawatt-Saat

N: Azot

NO_x: Nitrojen Oksit

O₃: Ozon

Pb: Kurşun

Ppm: Milyonda Bir Parça (Kimya)

PV: Fotovoltaik

RI: Rastgele İndeks

Se: Selenyum

SO_x: Sülfür Oksit

TEDAŞ: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

TEİAŞ: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

TEP: Ton Eşdeğer Petrol

TMMOB: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği

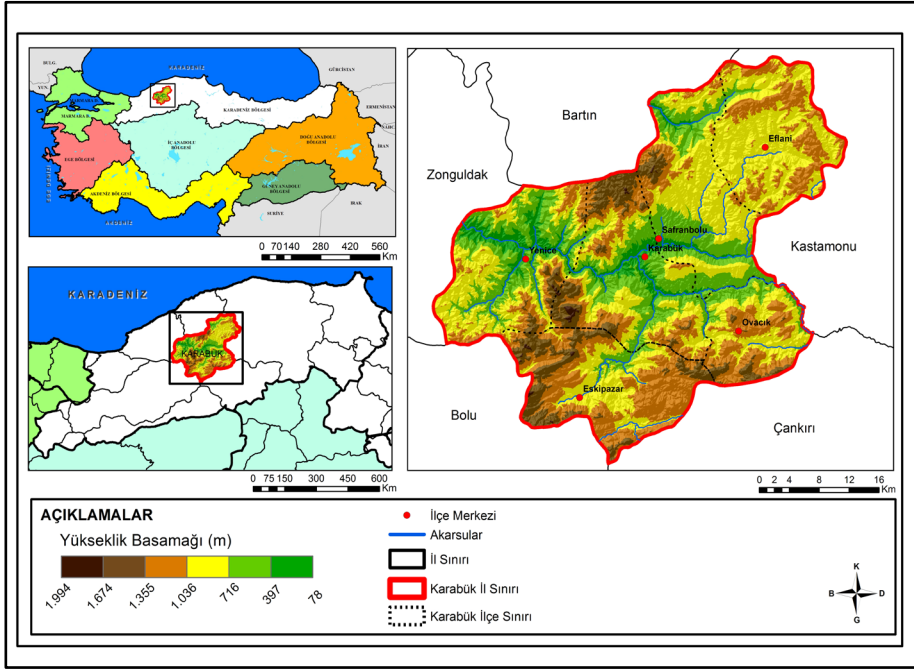
TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

YEKDEM: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

GİRİŞ

Araştırmanın alan kapsamını, Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde 40° 57' ve 41° 34' kuzey enlemleriyle 32° 04' ve 33° 06' doğu boylamları arasında matematik konuma sahip ve yüz ölçümü 4.140 km² olan Karabük ili oluşturmaktadır. Sahip olduğu engebeli topografya ve yoğun orman varlığına (kapalılık) rağmen güneş enerjisi santralleri için uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla çalışma alanı olarak Karabük ili seçilmiştir (Harita 1).

Çalışmanın konu kapsamı; Karabük ilinde güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların Çok Ölçütlü Karar Analizi ile tespiti olarak belirlenmiştir. Güneş enerjisi santralleri kurulurken genellikle engebeli topografya ve küçük yüzölçümüne sahip sahalar tercih edilmemektedir ve literatür incelemesi ile yapılan çalışmalarda Akdeniz, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan il veya ilçelerin tercih edildiği görülmüştür. Bu tür çalışmalar yapılırken heterojenlik göz önünde bulundurularak çalışma alanları çeşitlendirilmeli ve sınırları genişletilmelidir. Bu durumun göz önünde bulundurulması güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşmasını ve yeni iş olanaklarının oluşmasını sağlayarak ülke ekonomisine fayda getirecek yatırımların oluşmasına zemin hazırlayacaktır. Bu sebepten dolayı Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan Karabük ilinin çalışma alanı olarak seçilmesi konuyu diğer çalışmalardan farklı kılmıştır. Bu bakış açısı yapılacak diğer çalışmalar için bir örnek oluşturması bakımından önemlidir.



Harita 1: Karabük İli Lokasyon Haritası.

Bu çalışmada Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan Karabük ilinin güneş enerjisi santralleri için belirli ölçütler kullanılarak Analitik Hiyerarşi Süreci ile değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda konu ile ilgili literatür taraması yapıldığında Karadeniz Bölgesi'nde yapılmış bir çalışmaya rastlanılmaması bu tür çalışmaların devamı için bir bakış açısı sağlayacaktır. Bu amaç doğrultusunda araştırmanın alt amaçları şunlardır:

- Çalışma alanında kullanılan çok ölçütlü karar verme analizi yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci ile uygun olan yerler nelerdir?
- Çalışma alanının yüzölçümünün küçük olmasının sonuçları nelerdir?
- Karabük ili sınırlarında güneş enerjisi santrallerinin kurulmasını sınırlandıran faktörler nelerdir?
- Mevzuat ve kısıtlamalar ile morfolojik ve risk faktöründen dolayı ne kadar alana güneş enerjisi kurulamamaktadır?

- Alternatif olarak il sınırları içerisindeki avantajlı ve dezavantajlı ilçeler nerelerdir?
- Mevcut bulunan güneş enerjisi santralleri doğru yerlere kurulmuş mudur?

Araştırmanın Materyali ve Yöntemi

Çalışmanın kavramsal ve teorik çerçevesi, literatür taraması ile Dünya’da ve Türkiye’de konuya ilişkin yapılmış çalışmaların incelenmesi sonucu oluşturulmuştur. Güneş enerjisi santralleri için uygun yer seçimine ilişkin çalışmalarda; parametreler belirlenirken, bazı ölçütler göz ardı edilmiştir. GES kurulabilecek alanların uygun yer seçimi için birden fazla ölçüt değerlendirilmiştir ve bu ölçütlerin doğru bir şekilde sorgulanıp analiz edilebilmesi için coğrafi bilgi sistemlerine (CBS) dayalı Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yönteminden biri olan AHS’den faydalanılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak değerlendirilen ölçütleri toprak gurupları, heyelan risk envanteri ve sel kapanları oluşturmaktadır.

ÇÖKA, 1970’lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir ve karmaşık senaryolar için karar vermede kullanılmıştır. Çoğunlukla ampirik olan karşılaştırmaları, daha fazla işlenen ve karşılaştırılan sayısal değerlere dönüştürmektedir. Her faktörün ağırlığı, tanımlanan hiyerarşideki elemanların her birinin değerlendirilmesine izin vermektedir. Ampirik verileri matematiksel modellere dönüştürme yeteneği, diğer karşılaştırma teknikleriyle karşılaştırıldığında AHS tekniğinin ana ayırt edici katkısıdır.

Analitik Hiyerarşi Süreci, Russell ve Taylor’a göre ise karar alternatiflerinin çoklu ölçütlere göre sıralanmasına ve seçim yapılmasına yarayan nicel bir yöntemdir. Basit bir matematik, ölçüt ve standart tercih tablosu kullanmaktadır. Standart tercih tablosu 1-9 arasında tekli sayılardan oluşan ve aradaki çift sayıların ise uzlaşma için kullanıldığı bir ölçek tablosudur. Bu ölçek iki parametrenin karşılaştırılması için uygun bir zemin oluşturmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1: AHS’ de Kullanılan Standart Tercih Tablosu (Saaty, 1994).

Standart Tercih Tablosu	
Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)
2, 4, 6 ve 8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

Bu çalışmada AHS için 5 aşamalı bir yol izlenmiştir.

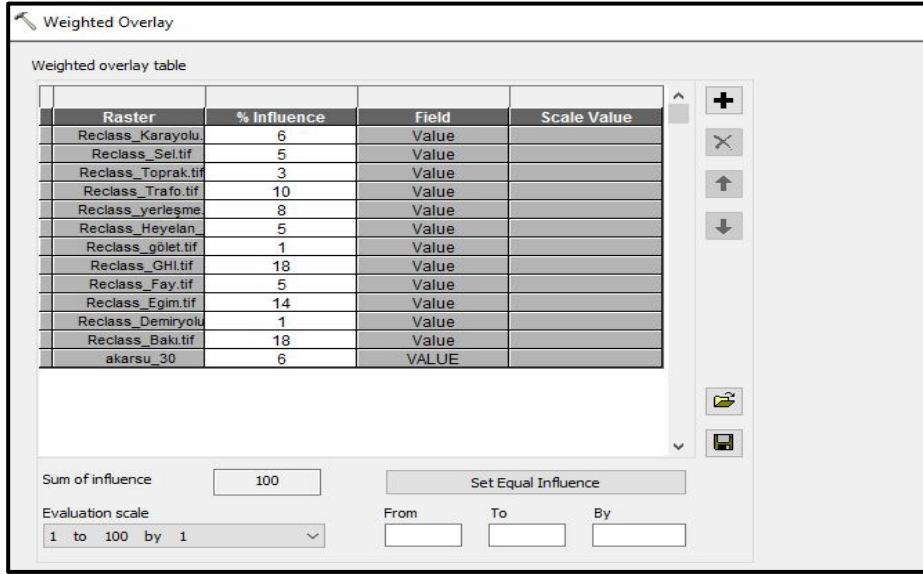
- Problemin tanımlanarak, ölçüt ve alt ölçütlerin belirlenip hiyerarşinin oluşturulduğu aşamadır. Hiyerarşi oluşturulduktan sonra karar vericinin bilgi ve tecrübeleri standart tercih tablosunda yer alan 1-9 arasındaki ölçüğe göre değerlendirilmektedir (Tablo 1). İkili karşılaştırma matrisinde, ölçütler birbirleri ile karşılaştırıldığında önem derecesine göre değerlendirilerek üstünlük derecelerine göre terslik kuralı uygulanmaktadır. Yani A ölçütünün B ölçütüne göre üstünlüğü 3 ise B’nin A’ ya olan üstünlüğü 1/3 oranındadır.
- Normalizasyonun yapıldığı aşamadır. Öncelikle işlem kolaylığı sağlamak amacıyla matristeki kesirli ifadeler ondalık sayıya çevrilir. Bu aşamada karşılaştırma matrisinin her bir elemanı, kendi sütun değerlerinin toplamına bölünerek normalize edilir. Elde edilen bu değerlerin sütun toplamaları 1’e eşit olacaktır.
- Her bir ölçütün, ölçüt ağırlıklarının tespit edildiği aşamadır. İlgili ölçüte ait satır değerleri, ölçüt sayısına bölünerek her bir ölçütün ağırlığı ortaya konulur.
- Ağırlıklı toplam değerlerin hesaplandığı aşamadır. Bu aşamada 1. aşamada oluşturulan ikili karşılaştırma matrisindeki her bir ölçüte ait satırdaki değerler 3. aşamada oluşturulan ölçüt ağırlığı matrisi ile çarpılmaktadır.
- Tutarlılık oranının belirlendiği aşamadır. 3. aşamada elde edilen ölçüt ağırlıklarının tutarlılık oranı belirlenmektedir. Bu oranın 0.10’dan küçük olması gerekmektedir. 0.10’dan büyük ise karar vericinin karşılaştırdığı

ölçüt değerlerinin tutarsız olduğunu ya da hesaplama hatası yapmış olduğunu göstermektedir.

Karabük ilinde GES kurulacak alanların uygunluk haritası için belirlenen bütün katmanlar (güneşlenme potansiyeli, bakı, eğim, toprak sınıfları, arazi kullanım durumu, heyelan alanları, deprem fay hattı, trafo merkezleri, karayolu, demiryolu ağı, su alanları ve yerleşim alanları) ölçüt kapsamında bir örneklem oluşturularak vektör olan veriler raster veriye dönüştürüldükten sonra öklid mesafesi belirlenmiştir. Daha sonra giriş raster katmanındaki her değer sınıfına, değerlendirme ölçeğine dayalı olarak yeni bir değer atanarak yeniden sınıflandırma yapılmıştır. Soyut olan bu veriler somutlaştırılarak haritalandırılmıştır. Atanan bu değerler gerekli literatür taraması yapıldıktan sonra mevzuatta incelenerek belirlenmiştir. Çok ölçütlü karar verme analizi ile önemi ve yüzde etkisine göre ağırlıklandırılan (ağırlıklarının toplamı 100'e eşit) ölçütler CBS ortamında weighted overlay analizi (ağırlıklı kaplama analizi) kullanılarak girilmiştir (Şekil 1). Bu aşamanın sonunda Karabük ilinin güneş enerjisi santralleri için uygunluk haritası elde edilmiştir (Harita 27; Harita 28; Tablo 2).

Tablo 2: Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi İçin Uygulanan Aşamalar.

Ana Ölçütler	Veri türü	CBS'de Uygulanan Aşamalar	AHS'de Uygulanan Aşamalar
Güneşlenme Potansiyeli	Raster	Reclassify	- Uzman Görüşü - İkili Karşılaştırma Matrisi - Normalizasyon - Ölçüt Ağırlığı - Ağırlıklı Toplam Değerler - Tutarlılık İndeksi (CI) - Random İndeksi (RI) - Tutarlılık Oranı (CI/RI)
Bakı	Raster	Sayısal Yükseklik modeli +	
Eğim	Raster	Reclassify	
Toprak	Vektör (Poligon)	Feature to Raster + Reclassify	
Heyelan Risk Envanteri	Vektör (Poligon)	Feature to Raster + Euclidean Distance+ Reclassify	
Trafo Alanları	Vektör (Nokta)	Feature to Raster + Euclidean Distance + Reclassify	
Deprem Fay Hattı	Vektör (Çizgi)	Feature to Raster + Euclidean Distance+Reclassify	
Karayolu Ağı	Vektör (Çizgi)	Feature to Raster + Euclidean Distance+Reclassify (İlk 100 metre için NoData)	
Demiryolu Ağı	Vektör (Çizgi)	Feature to Raster + Euclidean Distance+Reclassify (İlk 100 metre için NoData)	
Akarsular	Vektör (Çizgi)	Feature to Raster + Euclidean Distance +Reclassify (İlk 1000 metre için NoData)	
Göller	Vektör (Poligon)	Feature to Raster + Euclidean Distance +Reclassify	
Sel Kapanları	Vektör (Poligon)	Feature to Raster + Euclidean Distance +Reclassify	
İskan Alanları	Vektör (Poligon)	Feature to Raster + Euclidean Distance + Reclassify (İlk 500 metre için NoData)	
Kullanılmayan Veriler Rekreasyon Alanları Korunan Alanlar Ormanlık Alanlar Meralık Alanlar Tarıma Uygun Alanlar Heterojen Tarım Alanları Maden Boşaltım Alanları	Vektör (Poligon)	Append + Eraser	Değerlendirilmemiştir.



Şekil 1: Ağırlıklandırılan Ölçütler.

Belirlenen ölçütler; Karabük Belediyesi, Karabük Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Karabük Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Doğa Koruma ve Milli Parklar (DKMP) 10. Bölge Müdürlüğü, Karabük AFAD, TEDAŞ, TEİAŞ kurumlar ile gerekli görüşmeler yapılarak bilgi ve görüşleri alınmıştır. Ayrıca bu kurumlardan temin edilemeyen verilere, açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılarak ulaşılmıştır. Ulaşılan veri kaynakları ArcGIS 10.5 programında yeniden düzenlenerek gerekli haritalar oluşturulmuştur. Konuya ilişkin sayısal verilerin düzenlenmesinde, tabloların, şekillerin ve grafiklerin oluşturulmasında Microsoft Word ve Excel 2016 programlarından yararlanılmıştır.

Karabük ilinin topografik yapısının engebeli, orman varlığı bakımından zengin, heyelan riski ve turizm potansiyeli bakımından yüksek, trafo merkezlerinin akarsu ve yerleşme alanlarının çevresine kurulmuş olması, 1. derece deprem bölgesinde bulunması, gelişmiş akarsu ağına sahip olması ve kısa mesafelerde ciddi eğim farkları güneş enerjisi santrallerinin kurulması için olumsuz sonuçlar oluşturmuştur. Ayrıca TEİAŞ, TEDAŞ ve Enerjisa gibi kurumlardan güvenlik gerekçesiyle gerekli verilerin temin edilememesi hususunda yaşanan sıkıntılar çalışmayı sınırlandıran önemli nedenlerdendir. Enerjide sürdürülebilirliğin sağlanması ve dışa bağımlılığın azaltılması için bu

tür çalışmaların TEİAŞ, TEDAŞ ve Enerjisa gibi kurumlar tarafından desteklenmesi gerekirken çalışmayı sınırlandırmaları önemli bir problemidir.

Önceki Çalışmalar

Güçlüer (2010), tarafından yüksek lisans tezi olarak hazırlanan “Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların CBS- Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi ile Belirlenmesi” adlı çalışmada, Konya ilinde güneş enerjisi santralleri kurulabilecek alanlar Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yöntemi kullanılarak CBS ortamında belirlenmiştir. Yapılan çalışmada uygun yer seçimi için güneşlenme potansiyeli, eğim, bakı, çevre koruma alanları, kuş göç yolları, yerleşim alanları, enerji nakil hatları, trafo merkezleri, havayolu, karayolu, demiryolu ağı, fay alanları, göller, nehirler ölçüt olarak kullanılmıştır.

Miller ve Lumby (2012), “Utility Scale Solar Power Plants” adlı hazırlamış olduğu kılavuzda; güneş enerjisi projelerinin geliştirilmesi, yapımı ve finansmanında en iyi uygulamaların benimsenmesi Hindistan’ da güneş enerjisi geliştiricilerinin ve finansörlerini teşvik etmesi umulmuştur. Kılavuz, şebeke ölçeğinde, şebeke ile bağlantılı güneş projelerine odaklanırken, teknik içeriğin birçoğu şebeke dışı güneş uygulamaları ile ilgilidir.

Kapluhan (2014), tarafından hazırlanan “Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya’daki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu” adlı makalede; güneş enerjisinin ve güneş enerjisi sistemlerinden biri olan fotovoltaiik güneş teknolojisinin günümüzdeki durumu ve bu sistemlerde kullanılan güneş pili uygulamaları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Erdoğan (2014), tarafından yüksek lisans tezi olarak hazırlanan “Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Termodinamik Analiz Yöntemi ile İncelenerek, Yenilenebilir Enerji Kullanımının Gelecek Projeksiyonlarının Değerlendirilmesi” adlı çalışmada; Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları ve bu enerji kaynaklarının verimlilikleri üzerinde durarak Türkiye için uygun kullanım şartlarını belirlemiştir.

Saner (2015), “Türkiye’de Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi ve Çevresel Etkileri: Karapınar ve Karaman Enerji ihtisas Endüstri Bölgeleri Örneklerinin Değerlendirilmesi” adlı yüksek lisans tezinde; güneş enerji santrallerinin uygun yer seçim ölçütlerini faaliyetlerin verimliliği, çevresel etkiler ve mevzuat bakımından inceleyerek; belirlenen ölçütler doğrultusunda

Karapınar ve Karaman Enerji İhtisas Endüstri Bölgeleri (EİEB)’ni değerlendirek karşılaştırmıştır.

Gedik (2015), tarafından hazırlanan “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri” adlı yüksek lisans tezinde; Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini vurgulayarak ve bu kaynakların Türkiye’deki potansiyelinden, katkılarının neler olacağından, Türkiye’nin enerji politikalarından söz etmektedir. Ayrıca konuya ilişkin örnekler vererek ve analizler yaparak gelecek yıllar için öngörude bulunmuştur.

Obut (2016), tarafından hazırlanan “Göksun İlçesinde Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların CBS yöntemi ile Belirlenmesi” adlı yüksek lisans tezinde; Göksun ilçesinde güneş enerjisi santralleri kurulabilecek alanlar Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yöntemi kullanılarak CBS ortamında belirlenmiştir. CBS ortamında çok ölçütlü karar analizi metodu kullanılarak hazırlanan 12 veri katmanı (Güneş enerjisi potansiyeli, eğim, bakı, arazi kullanımı, akarsu, göl, yerleşim alanları, ulaşım ağı, deprem fay hattı, maden alanları, elektrik hattı ve trafo merkezleri) analiz edilmiştir.

Ayday, Yaman, Sabah ve Höke (2016), tarafından hazırlanan “Güneş Enerji Santrali Yer Seçiminde Açık Kaynak Kodlu CBS Kullanımı-Eskişehir İl Örneği” adlı çalışmada; Eskişehir’in idari sınırları içerisinde yer alan ilçelerin analizi yapılmıştır ve açık kaynak kodlu CBS yazılımı kullanılarak güneş enerjisi santralleri için uygun olan ilçeler belirlenmiştir.

Algarín, Llanos ve Castro (2017), tarafından hazırlanan “An Analytic Hierarchy Process Based Approach for Evaluating Renewable Energy Sources” adlı makalede; Kolombiya’nın Karayip bölgesindeki kırsal alanlar için yenilenebilir enerjiler ile enerji planlama sürecinde karar verme sürecine destek olarak bir dizi kriter, alt kriter ve alternatiflere öncelik vererek AHP yöntemi ile belirlenmiştir.

Şevik (2017), tarafından hazırlanan “İl Bazında Enerji Dengesi Analizi: Karabük Örneği” adlı makalede; Karabük ilinin enerji ihtiyacını ortaya koyarak, enerji türlerinin payını ve genel eğilimini değerlendirmiştir.

Taktak ve İli (2018), tarafından hazırlanan “Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği” adlı makalede; Uşak ilinde kurulacak olan güneş enerjisi santrali için uygun yer seçimi, mevzuatlar, konum analizleri, kurulum aşamaları ve finansman modeli incelenerek proje için uygun yer tespiti yapılmıştır.

Arık (2016), tarafından hazırlanan “Yenilenebilir Enerji Politikalarının Sürdürülebilirliği: AB Ülkeleri ve Türkiye Açısından Bir Değerlendirme” adlı çalışmada; Türkiye ve bazı Avrupa Birliği ülkelerinin alternatif enerji politikalarının sürdürülebilirliği ele alınmıştır.

Eroğlu (2018), tarafından hazırlanan “Güneş Enerji Santralleri için Uygunluk Haritasının Elde Edilmesi: Bir Uygulama” adlı makalede; Güneş enerjisi santrallerinin uygun yer tespiti için literatürde değerlendirilen ölçütler ve önerilen yeni ölçütler ile tüm alt ölçütlerin birbirlerine göre önem değerleri, FAHS yöntemiyle ortaya konularak güneş enerjisi santralleri için uygun yer haritası elde edilmiştir.

Duman (2018), “Batı Akdeniz Bölgesinde Güneş Enerjisi Santrali İçin Kuruluş Yeri Seçimi” adlı yüksek lisans tezinde; çok ölçütlü karar verme tekniklerini kullanılarak Batı Akdeniz Bölgesi’nde kurulması düşünülen güneş enerjisi santrali için dokuz adet alternatif içerisinde en uygun yeri belirleyerek, uzman görüşleri doğrultusunda sekiz adet ölçüt belirlemiştir ve çok ölçütlü karar vermede yeni bir yöntem olan Best- Worst Metodunu kullanarak ölçüt ağırlıklarını belirlemiştir.

Piirisaar (2019), “A Multi-Criteria GIS Analysis For Siting Of Utility-Scale Photovoltaic Solar Plants In County Kilkenny, Ireland” adlı yüksek lisans tezinde; Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve çok ölçütlü karar analizini esas alarak Kilkenny ilçesindeki kamu hizmeti ölçekli fotovoltaik güneş santralleri için potansiyel alanları değerlendirmiştir.

Erkin (2019), “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Karabük ili Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Araştırılması” adlı yüksek lisans tezinde; Türkiye ve Karabük ilinde sürdürülebilir enerji politikasının oluşturulması için günümüze kadar nelerin yapıldığının incelenmesi; gereksinim duyulan enerjilerin, kesintisiz ve uygun fiyat etkilerin de dikkate alınarak karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve rolünün incelemeleri yapılmıştır.

1. BÖLÜM

DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ

1.1. Enerji ve Yenilenebilir Enerji

Enerji, insanların gündelik yaşamlarının devamlılığını sağlayabilmeleri için önemli olan gereksinimlerden biridir. Genel bir anlatımla sürdürülebilir fiziksel veya zihinsel aktivite için gerekli olan hareket ettirici güce enerji denir. Basit bir ifadeyle ise iş yapabilme yeteneğidir. Doğada çeşitli formlarda bulunan enerji, fosil kaynaklı ile fosil kaynaklı olmayan yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilir (alternatif) enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Fosil kaynaklı yenilenemeyen enerji kaynaklarını kömür, petrol ve doğalgaz oluştururken, fosil kaynaklı olmayan yenilenemeyen enerji kaynağını ise nükleer enerji oluşturmaktadır. Bu enerji kaynakları tükenbilir enerji kaynakları, konvansiyonel, birincil, primer ya da yenilenemez enerji kaynakları olarak da adlandırılmaktadır. Günümüzde yenilenemeyen enerji kaynakları için en yaygın kullanılan terim konvansiyonel enerji kaynaklarıdır¹.

Atmosferdeki basınç farkından elde edilen rüzgâr enerjisi, suyun akış gücünden elde edilen hidrolik enerji, güneş ışığından edilen güneş enerjisi, evrendeki en basit element ve en bol bulunan gaz olan hidrojenen elde edilen hidrojen enerjisi, okyanus ve deniz yüzeyinin hareketi sonucu elde edilen dalga enerjisi ve bitkisel, endüstriyel ve evsel atıklardan üretilen biokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu kaynaklar, sürdürülebilir ve alternatif enerji kaynakları olarak da adlandırılmaktadır.

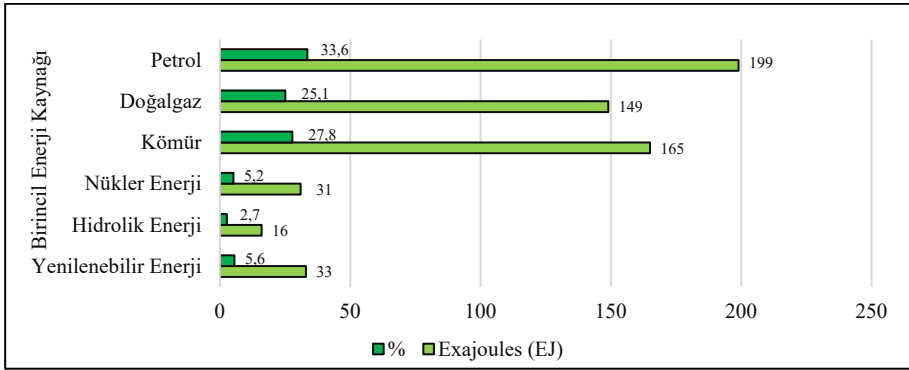
Bazı ülkelerin kaynak bazında yakıt tüketim miktarına bakıldığında; doğalgazda ABD, Rusya Federasyonu ve Çin; petrolde ABD, Çin ve Hindistan; kömürde Çin, Hindistan ve ABD; nükleer enerjide ABD ve Fransa; hidrolik enerjide Çin, yenilenebilir enerjide ise Çin ve ABD yüksek tüketim miktarına sahiptir (Tablo 3).

¹Onurbaş Avçoğlu, A. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Dersi 2. 26.01.2019 tarihinde <https://acikders.ankara.edu.tr> adresinden erişildi.

Tablo 3: Bazı Ülkelerin 2024 Yılında Kaynak Bazında Yakıt Tüketimi².

Ülke	Doğalgaz (EJ)	Petrol (EJ)	Kömür (EJ)	Nükleer Enerji (EJ)	Hidrolik Enerji (EJ)	Yenilenebilir Enerji (EJ)	Total
Fransa	1.15	2.79	0.18	4.15	0.26	0.48	9.01
Almanya	2.83	4.24	1.58	-	0.08	1.41	10.14
ABD	32.48	35.82	7.90	8.98	0.86	5.79	91.83
Kanada	4.63	4.35	0.29	0.93	1.24	0.43	11.87
Çin	15.64	32.27	92.16	4.92	4.88	9.02	158.88
Hindistan	2.53	10.90	22.97	0.60	0.56	1.20	38.76
Rusya Federasyonu	17.17	7.66	3.75	2.35	0.76	0.07	31.77
Türkiye	1.83	2.37	1.80	-	0.27	0.75	7.02

Şekil 2’de sunulan 2024 yılı dünya geneli birincil enerji tüketim verileri, küresel enerji talebinin büyük ölçüde fosil yakıtlar tarafından karşılandığını göstermektedir. Petrol %33,6 pay ile en baskın kaynak konumunu korurken, kömür (%27,8) ve doğalgaz (%25,1) ile birlikte fosil yakıtların toplam payı yaklaşık %86,5’e ulaşmaktadır. Buna karşılık, yenilenebilir, nükleer ve hidrolik kaynakların toplam payı %13,5 düzeyinde kalmakta olup, bu durum küresel enerji dönüşümünün henüz sınırlı ilerlediğini ve temiz enerji kapasitesinin artırılmasına yönelik ihtiyacın devam ettiğini ortaya koymaktadır (Şekil 2).

**Şekil 2:** Dünyada 2024 Yılı Birincil Enerji Tüketimi (EJ)³.² Statistical Review of World Energy 2024- BP³ Statistical Review of World Energy 2024- BP

Sanayi devrimi öncesinde ihtiyaç duyulan enerji, insan ve çeşitli hayvanların beden gücünden ya da odun, rüzgâr, su gibi doğal kaynaklardan elde edilmekteydi. Gemilerde sefer için rüzgâr gücünün, temel gıda maddelerinin öğütülmesi için su ve rüzgâr gücünün, ısınmak için odunsu bitkilerin ve aydınlatma için ise bitkilerden elde edilen yağların kullanılması bu kaynakların kullanım alanlarına örnek teşkil etmektedir. Ancak fosil yakıt olan kömürle çalışan buhar makinelerinin icat edilmesi ile başlayan sanayi devrimi, enerjiye olan talebi doyumsuz bir hale getirmiştir. Sanayi devrimiyle birlikte bilgi birikimi ve rekabetin artması sonucu kontrol edilebilir güç insanların hizmetine girmiştir. Bu süreçte insanlık, ekonomik açıdan hızlı bir gelişme ivmesi yakalamıştır. Ancak bütün sonuçlar olumlu olmamıştır. Özellikle sanayide fosil yakıt kullanımının artması dünya için olumsuz sonuçlar da doğurmuştur.

Fosil yakıt, canlı organizmaların bünyesinde bulunan karbondioksit ve suyun, güneş ışığının etkisi altında kalmaları sonucunda oluşmuştur (Cipolla, 1980:50). Sanayileşmeyle beraber yer altında milyonlarca yıldır birikmiş ve hapsolmuş karbonun bu süreçte hızla tüketilmesi, atmosferdeki karbondioksit ve diğer sera gazı oranının artmasına, dünyanın daha fazla ısınmasına ve küresel iklim değişikliğine sebep olmuştur. NOAA Küresel İzleme Laboratuvarı'nın analizlerine göre atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu sanayileşme öncesi döneme kıyasla %40'ın üzerine çıkarak 2023 yılı itibarıyla yıllık ortalama yaklaşık 419 ppm seviyesine ulaşmıştır (NOAA, 2024). NOAA tarafından yayımlanan 2025 yılına ait öncü ölçümler ise atmosferik karbondioksit konsantrasyonundaki artış eğiliminin devam ettiğini ve 2024–2025 döneminde 420 ppm seviyesinin üzerine çıkıldığını göstermektedir (NOAA, 2025). Bunun en büyük sebebi ise sanayileşmedir. TÜİK'in en güncel Sera Gazı Emisyon Envanteri verilerine göre Türkiye'nin 2022 yılı toplam sera gazı emisyonu 598,9 Mt CO₂ eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. Buna göre, 2021 yılında 564,4 Mt CO₂ eşdeğeri olan toplam sera gazı emisyonları bir önceki yıla göre yaklaşık %6,1 oranında artış göstermiştir (TÜİK, 2024).

Fosil kaynaklara olan bu doyumsuzluğun çevre ve atmosfer üzerinde yaratmış olduğu olumsuz etkiler, daha zararsız olan ve karbondan vazgeçen sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişi zorunlu kılmıştır. Bu konudaki önemli girişimler, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolüdür. 2015 yılından itibaren Paris Antlaşması bu iki düzenlemenin

yerini alarak en önemli bağlayıcı yasal düzenleme olmuştur. Bu anlaşma ile Kyoto Protokolü'ndeki hükümler biraz daha bağlayıcı hale getirilerek ABD'nin katılımı sağlanmıştır. Türkiye uluslararası anlaşmalarda ele alınan kararlar neticesinde, ulusal bazda stratejik çalışmalar ve eylem planları oluşturarak yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut kurulu gücünü arttırmayı hedefleyen çalışmalar yapmaktadır (Tablo 4).

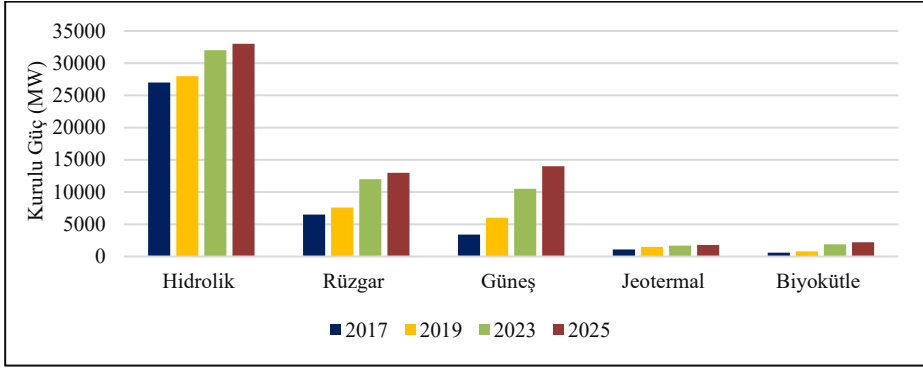
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) yenilenebilir enerjiye ilişkin güncel politika ve strateji belgelerinde, Türkiye'nin elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payının artırılması temel hedefler arasında yer almaktadır. Türkiye Ulusal Enerji Planı'na göre, toplam elektrik kurulu gücü içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının 2020 yılında yaklaşık %52 seviyesinde olduğu, bu oranın 2035 yılına kadar yaklaşık %64,7'ye yükseltilmesinin hedeflendiği belirtilmektedir (ETKB, 2022). Bu kapsamda 2035 yılı için güneş enerjisinde 52,9 GW, rüzgâr enerjisinde ise 29,6 GW kurulu güce ulaşılması öngörülmektedir (ETKB, 2022). Buna ek olarak, ETKB tarafından yayımlanan Yenilenebilir Enerjide 2035 Yol Haritası'nda, rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün toplamda yaklaşık 120 GW seviyesine çıkarılmasının hedeflendiği ifade edilmektedir (ETKB, 2024). Güncel resmî açıklamalara göre ise 2025 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam elektrik kurulu gücü içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %60,9'a ulaşmıştır, bu durum Türkiye'nin orta ve uzun vadeli hedeflerine doğru ilerlediğini göstermektedir (ETKB, 2025) (Tablo 4).

Tablo 4: Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücünün Yıllara Göre Gelişimi ve Hedefleri (2017–2035).⁴

Yıl / Dönem	Toplam Elektrik Kurulu Gücü (GW)	Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü / Payı	Kaynak
2017 (baz yıl)	85,2	44.0 GW (%51,6)	ETKB, 2019
2020	95,9	50.0 GW (%52)	ETKB, 2022
2023 (hedef)	102	60.0 GW (%≈59)	ETKB, 2023
2025 (mevcut)	119,6	%60,9	ETKB, 2025
2035 (hedef)	189,7	%64,7	ETKB, 2022
2035 (kaynak bazlı hedef)	-	Güneş: 52,9 GW / Rüzgâr: 29,6 GW	ETKB, 2022
2035 (stratejik hedef)	-	Rüzgar + Güneş = 120 GW	ETKB, 2024

2017–2025 dönemine ait gerçekleşen ve güncel verileri içeren Şekil 3’te, Türkiye’de yenilenebilir enerji kurulu gücünün kaynak bazında istikrarlı bir artış eğilimi sergilediği görülmektedir. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi kurulu gücünde gözlenen hızlı artış, önceki dönemlerde belirlenen politika hedeflerinin büyük ölçüde uygulamaya geçirildiğini ortaya koymaktadır. Hidroelektrik enerji, toplam yenilenebilir enerji portföyü içerisinde en yüksek kurulu güce sahip kaynak olmayı sürdürmekle birlikte, artış hızının diğer yenilenebilir kaynaklara kıyasla daha sınırlı kaldığı dikkat çekmektedir. Jeotermal ve biyokütle enerji kaynaklarında ise görece daha dengeli ve kademeli bir büyüme eğilimi izlenmektedir.

⁴ Yenilenebilir enerji kapsamına hidroelektrik, rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyokütle kaynakları dâhildir. Kurulu güç değerleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan resmî rapor ve basın bültenlerinden derlenmiş olup, bazı yıllar için değerler yuvarlatılmıştır. 2025 yılı verileri mevcut durumu yansıtmakta, 2035 yılı verileri ise hedef değerleri ifade etmektedir.



Şekil 3: Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücünün Kaynak Bazında Gelişimi (2017–2025).⁵

Tablo 5 verileri incelendiğinde, Türkiye’nin 2011-2024 yılları arasında toplam kurulu gücünü 52.911,1 MW’tan 116.265,1 MW’a çıkararak %120 oranında büyüttüğü görülmektedir. Bu dönemdeki en radikal dönüşüm, 2011’de sistemde hiç bulunmayan güneş enerjisinin 2024’te %17,4 paya ulaşarak hem doğal gazı (%17,7) hem de kömürü (%18,25) kapasite olarak yakalamış olmasıdır. Yenilenebilir kaynakların (hidrolik, rüzgar, güneş) toplam payının %60 seviyelerine yaklaşmasıyla birlikte fosil yakıt bağımlılığı oransal olarak gerilemiş; Türkiye enerjide yerlileşme ve düşük karbonlu ekonomi hedefleri doğrultusunda stratejik bir dönüşüm gerçekleştirmiştir (Tablo 5).

Tablo 5: 2011-2024 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye Kurulu gücü⁶.

	Kömür	Sıvı Yakıtlar	Doğal Gaz	Yenilenebilir +Atık+Atık Isı	Çok Yakıtlı	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Toplam
2011	12.550,3	1.300,4	13.143,9	125,7	6.810,8	17.137,1	114,2	1.728,7	-	52.911,1
%	23,72	2,46	24,84	0,24	12,87	32,39	0,22	3,27	-	100
2021	19.641,5	135,4	21.502,5	2.051,1	4.897,8	31.492,6	1.676,2	10.607,0	7.815,6	99.819,6
%	19,68	0,14	21,54	2,05	4,91	31,55	1,68	10,63	7,83	100
2024	21.221,3	135,4	20.577,8	2.416,9	4.874,3	32.203,0	1.733,5	12.870,8	20.232,1	116.265,1
%	18,25	0,12	17,7	2,08	4,19	27,7	1,49	11,1	17,4	100

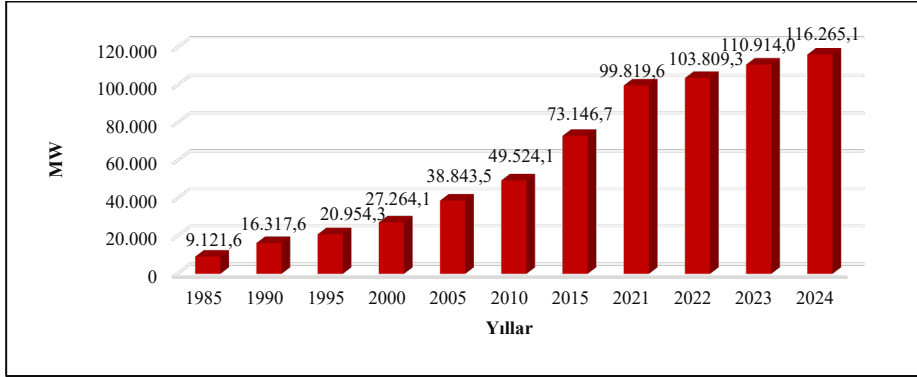
Türkiye’nin elektrik kurulu gücü, 1985–2024 döneminde belirgin bir artış eğilimi göstererek 9.121,6 MW’tan 116.265,1 MW seviyesine ulaşmıştır. Bu süreçte toplam

⁵Veriler Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın yayımladığı resmî rapor ve basın bültenlerinden derlenmiş olup, tüm değerler megavat (MW) cinsindendir ve bazı değerler yuvarlatılmıştır.

⁶ Elektrik İstatistikleri, Türkiye Elektrik Üretim-İletim yılı İstatistikleri TEİAŞ.

kurulu güç yaklaşık 12,7 kat artmış, özellikle 2010 sonrası dönemde büyüme ivmesi belirgin şekilde hızlanmıştır (Şekil 4).

Şekil 4: Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi⁷



1.2. Enerji ve Çevre İlişkisi

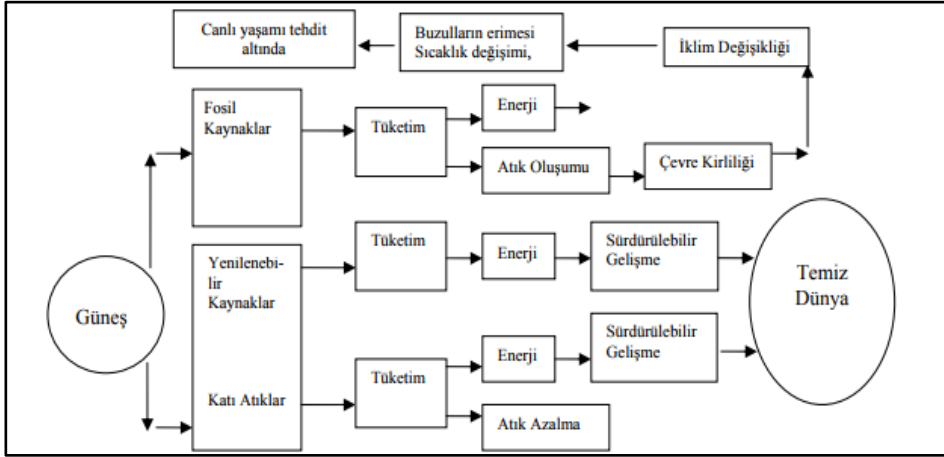
Ulusal ve uluslararası düzeyde ekonomik aktivite ve ilerlemelerin devamı ve sosyal gelişme için enerji oldukça önemlidir. Bu yüzden ekonomik ve sosyal kalkınma programlarının önemli başlıklarından biridir.

Enerji ve enerji kaynaklarının önemi 1970’li yıllarda yaşanan petrol kriziyle birlikte artmıştır. Bu krizle beraber enerjide çeşitlilik, sürdürülebilirlik ve verimlilik esas alınmıştır. Geleneksel enerji kaynakları yerine daha güvenilir, sürdürülebilir, çevre dostu olan kaynak arayışı başlamıştır. Özellikle enerjiyi ithal eden ülkeler, bu şartları sağlayabilecek enerji politikaları hazırlamıştır. 2000’li yıllardan itibaren enerjinin görünümü değişmiştir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızlı bir gelişme göstermiştir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve teknolojinin de ilerlemesiyle bu kaynaklardan faydalanma oranında ivme kazanılmıştır. Alternatif olan bu kaynaklar, yenilenemeyen enerjinin çevreye vermiş olduğu zararı telafi etme hususunda da önemli bir çözüm oluşturmaktadır.

Fosil kaynakların tüketilmesi, çıktı olarak ciddi oranda atık oluşumunu ve bunun sonucunda çevre kirliliği meydana getirmektedir. Bu durum iklim olaylarını ve sürdürülebilir gelişmeyi olumsuz etkilemektedir. Dünyadaki

⁷ Elektrik İstatistikleri, Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri TEİAŞ.

bütün enerji kaynaklarının temel kaynağını güneş enerjisi oluşturmaktadır ve yenilenebilir enerji kaynakları da kaynağını güneşten almaktadır. Güneş, yenilenebilir enerji kaynaklarının kendini yeniden üretme kapasitesini artırarak enerjinin verimliliğine ve sürdürülebilir gelişime katkı sağlamaktadır. Genel bir kaide olarak enerjinin korunumu yani enerjinin daha etkin ve verimli kullanımı için doğal varlık tabanından faydalanarak kendini yenileyebilen enerji teknolojilerinin kullanımı gerekmektedir. Özellikle ulaştırma, sanayi, inşaat gibi köklü sektörlerde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Çevre sorunları ve kullanılan enerji kaynakları arasında güçlü bir bağlantı vardır ve sürdürülebilir gelişme açısından çevre problemleri önemlidir. Çünkü çevre problemlerinin olmadığı veya az olduğu toplumlarda, sürdürülebilir enerji kaynak kullanımı ve verimliliği maksimum düzeydedir. Enerji verimliliğindeki artış ile enerji kayıplarının azalması, birim ünite başına enerji çıktısı ile de işletme için ünite başına enerji girdisi azaltılarak kirlilik artışının düşürülmesi sağlanır. Ayrıca enerji üretmek için kullanılan teknolojiler yaşam döngüsünün en önemli aşamalarında çevresel problemleri azaltarak verimliliği arttırmada önemli bir unsurdur (Şekil 5).



Şekil 5: Enerji Kaynakları, Sürdürülebilir Gelişme ve Çevre İlişkisi⁸.

⁸ Selici, T., Utlu, Z. ve İlten, N. (2006). Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri ve Sürdürülebilir Gelişme Açısından Değerlendirilmesi. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21, Mersin.

1.3. Güneş Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi

Güneş sisteminde bulunan gezegenlerin ana enerji kaynağını elektromanyetik radyasyon oluşturmaktadır. Çeşitli dalga boylarında olan bu radyasyon, saniyede yaklaşık 300 bin km'lik bir hızla yayılır. Güneş radyasyonu uzayda enerji kaybı olmadan yayılmasına rağmen, Güneş'ten gelen radyasyonun şiddeti, ulaştığı yere olan mesafenin karesiyle ters orantılı olarak azalmaktadır (Atalay, 2013). Güneşin enerji kaynağı, çekirdeğinde meydana gelen füzyon sürecindeki ışımalardır. Bu ışımlar, hidrojen gazının helyuma dönüşmesi esnasında ortaya çıkan yüksek enerji sonucu oluşmaktadır.

Dünyadaki enerjinin temelini oluşturan güneş, en yaygın bulunan enerji kaynaklarından biridir. Güneş ışınlamındaki enerji miktarı gerçekte dünya üzerindeki yenilenebilir enerji miktarına eşittir. Dünya yüzeyi her yıl yaklaşık 19 trilyon TEP güneş ışınlamı almaktadır. Bu enerjinin yaklaşık 9 milyar TEP'i dünyanın enerji ihtiyacını karşılamaktadır (Silvi, 2003).

Tükenmeyen ve daimî olarak var olan güneş enerjisi çevre açısından temiz bir kaynaktır ve bu özelliği ile fosil kaynaklara alternatif olmaktadır. Dünya yüzeyine her yıl düşen güneş radyasyonu, günümüze kadar olan fosil yakıtların yaklaşık 160 katıdır (Ültanır, 1996; Aktaran: Şen, 2002). Diğer enerji kaynaklarına göre potansiyeli yüksek olan güneş enerjisinin çevreci olması, kontrol ve kullanım kolaylığı, yatırım maliyetinin düşük ve sürdürülebilir olması gibi özelliklerinden dolayı yaygınlaşması daha hızlıdır. Bu özellikleri ona ticari ürün olarak değer katmaktadır. Fakat güneş enerjisi santrallerinin kurulum maliyeti, enerjinin depolanmasındaki zorluklar, düşük kapasite faktörü gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bunun için ise teknolojik ve ekonomik zorlukların aşılması gerekmektedir.

Geçmişte kontrol ve yatırım maliyetinin düşük olması sebebiyle güneş enerjisinden elektrik üretimi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Üretilen enerjinin gün ışığının olmadığı veya az olduğu vakitlerde ihtiyaca cevap verememesi ve depolanmasındaki zorluklardan dolayı sürekli çalışan dizel jeneratöre ihtiyaç duyulmuştur. Bu durum depolama maliyetini artırarak ekonomik sıkıntılara sebep olmuştur. Günümüzde şebekeyle paralel çalışabilen, dizel desteğini, enerji depolama maliyetini ve kullanıcının ödeyeceği fatura bedelini azaltacak çalışmalar yapılmaktadır. (Chadjivassiliadis vd. 1986; Aktaran: Kapluhan, 2014). Bu sıkıntıların aşılmasıyla güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre daha hızlı bir gelişme gösterecektir.

Bir saniyede üretilen güneş enerjisi, insanlığın doğuşundan günümüze kadar tükettiği enerjiden daha fazladır. Bu enerji kaynağı santral bazında değerlendirildiğinde, 1 MW güçle yaklaşık 500 konutun elektrik ihtiyacı ve yaklaşık 2000 kişinin elektrik enerjisi talebi karşılanabilmektedir. Bu durum santralin tam kapasite çalışıp çalışmamasına bağlı olarak değişebilmektedir (Oral, 2017). Muazzam güçteki bu enerji kaynağı, geçmişten bugüne insanların ilgisini çekmiştir ve insanlar tarafından çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmalar kronolojik olarak Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6: Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi.

M.Ö 400	İlk defa Sokrates evlerin güney yönüne fazla pencere konularak güneş ışıının içeri girmesini sağladı. Tarihte bu evlere Sokrates evleri denilmektedir ⁹ .	1958	ABD ve Rusya arasındaki uzay yarışı güneş enerjisi teknolojisinde önemli yatırımları tetikleyerek Vanguard1'in de içinde olduğu ilk insan yapımı uydulardan bazılarına fotovoltaik hücreler tarafından güç sağlandı.
M.Ö 250	Efsaneye göre, bir Yunan bilim insanı olan Arşimet, güneşin enerjisini bir noktada toplayarak gelen düşman gemilerini ateşe vermek için kıyı şeridinde bir dizi iç bükey ayna kullandı.	1959	Hoffman Electronics, %10 verimlilikte ticari güneş pilini yaptı.
1600	Galile merceği buldu.	1967	Soyuz1, ilk defa güneş pilleriyle güçlendirilen insanlı uzay aracı oldu.
1725	Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası geliştirdi.	1973	Uzay istasyonu Skylab, güneş pilleriyle desteklendi.
1839	A.E. Becquerel, bazı malzemeler üzerinde parlayan ışığın elektrik akımı yarattığını gözlemleyerek fotovoltaik etkiyi buldu. Bu keşif, fotovoltaik teknolojinin çıkış noktası oldu.	1977	ABD başkanı Jimmy Carter, Beyaz Saray’da güneş panellerinin kullanımını başlattı.
1860	Mohuchok parabolik ayanlar yardımı ile güneş ışıının odaklayarak küçük bir buhar makinesi üzerinde çalıştı. Güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde deneyler yaptı. Eski saraylarda	1983	Dünya çapında fotovoltaik üretim; 21,3 megawatt, 250 milyon dolar rakamlarını aştı.

⁹ Sokrates Evi literatürde bilinen en eski pasif güneş evlerinden biri olup güneşle pasif tasarım ilkelerini içinde barındırmaktadır. Güneye bakan evlerde kışın dik gelen güneş ışıını, revaklı terastan geçerek evin içlerine kadar süzölmektedir” ki bu da kışın evi sıcak tutmaktadır. Yazın ise dik gelen güneş ışıını bu terasın üstünü örten çatı döşemesini aşp da evin içine girememekte, iç mekan serin kalmaktadır.

	(Dolmabahçe Sarayı) oldukça fazla ayna kullanılması, güneş enerjisinin kullanımı açısından iyi bir örnektir.		
1883	Charles Fritts güneş ışığını selenyum ve altın kullanarak elektrige dönüştüren ilk solar hücreyi üretti.	1991	Boya duyarlı güneş hücresi icat edildi.
1888	Alexandre Stoletov, dış fotoelektrik etkiye dayalı ilk güneş pilini yaptı.	1994	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı, %30 enerji dönüşüm verimini aşan ilk güneş pilini geliştirdi.
1891	Philipp von Lenard, ışık frekansı ile elektron enerjisindeki değişimi gözlemledi.	1999	Dünya çapında fotovoltaiik enerji kurulu gücü 1000 megawatt'a ulaştı.
1904	Wilhelm Hallwachs yarı iletkenlerin birleşimiyle oluşan güneş pilini yaptı.	2000	Küresel toplamdaki güneş enerjisi kurulumu, endüstrimizin küresel gelişimi için kritik bir dönüm noktası olan 1 GW'yi aştı.
1921	Einstein şimdi fotonlar olarak tanımlanan ışık miktarının varlığını öneren ve böylece modern Fotovoltaik teknolojisine teorik bir temel sağadı ve “fotoelektrik etki kanununun keşfiyle” Fizik dalında Nobel Ödülü'ne layık görüldü.	2006	Güneş enerjisi endüstrisi yüksek saflıktaki silikonun en büyük tüketicisi olarak bilgisayar endüstrisini geçti. Her ne kadar bu durum silikon arzında geçici bir kıtlığa neden olsa da, güneş panellerinin fiyatını düşüren temel endüstri yatırımlarını tetiklemiştir. %40 verimlilikte güneş pili yeni dünya rekoru kırdı.
1954	Silikon solar hücreler ana pazara girerek ticari değer kazandı. The New York Times gazetesi, silikon hücrenin, “güneşin sınırsız olan enerjisinin, insanlığın kullanımına sunulmasına” ön ayak olabileceğini belirtmiştir.	2010	2010 senesine gelindiğinde güneşten elektrik elde etmek üzere pek çok yöntem geliştirilmiş ve uygulamaya geçmiştir.
		2011	Yüksek kaliteli silikon güneş panellerin maliyeti watt başına kabaca 1 ABD dolarına düşmüştür; bu da dünya çapında yeni pazarların açılmasına ve küresel bir enerji devrimine ön ayak olmuştur.

1.4. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisinin Yeri

Güneş enerjisi yıllar boyunca “geleceğin enerjisi/teknolojisi” olarak resmedilmiştir ve bu enerjiden yararlanma çabaları 1970’li yıllardan itibaren gelişme göstermeye başlamıştır. Teknolojik gelişmeyle beraber maliyet yönünden olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Günümüzde yaygınlaşması hız kazanan güneş enerjisinden elektrik üretiminin teknik alt yapısı pek çok ülkede hızla oluşmaktadır.

Güneş enerjisine olan ilginin artmasıyla birlikte, küresel enerji pazarında ülkeler bu alanda stratejik bir konum elde etmeye başlamıştır. Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi kurulu gücü bakımından Çin, 2024 yılı itibarıyla 887.360 MW ile küresel güneş enerjisi pazarında açık ara lider konumunu sürdürmektedir. Çin’i, 175.990 MW kurulu gücüyle Amerika Birleşik Devletleri ve 91.610 MW ile Japonya takip etmektedir. Asya kıtasında Çin, Japonya ve Hindistan başta olmak üzere güneş enerjisi yatırımlarının hızla arttığı; Güney Kore gibi ülkelerin de bu sektörde giderek daha fazla yer edindiği görülmektedir. Avrupa ülkeleri arasında Almanya, 89.940 MW fotovoltaik kurulu gücü ile küresel ölçekte önemli bir pazar konumundadır. Almanya’yı İspanya, İtalya ve Fransa gibi ülkeler izlemektedir. Isıl güneş enerjisi kurulu gücü açısından değerlendirildiğinde ise İspanya (2.302 MW) ve ABD (1.480 MW) öne çıkan ülkeler arasında yer almaktadır. Çin de 570 MW ısıl güneş enerjisi kapasitesiyle bu alanda önemli bir paya sahiptir. Küresel ölçekte bazı ülkeler yüksek güneşlenme potansiyelleri sayesinde güneş enerjisinden etkin biçimde faydalanırken, bazı ülkeler ise ileri teknoloji, Ar-Ge ve sanayi altyapılarını kullanarak bu alanda öncü bir konuma ulaşmıştır. Türkiye, 2024 yılı itibarıyla 19.882 MW fotovoltaik güneş enerjisi kurulu gücü ile dünya güneş enerjisi pazarında dikkat çeken ülkeler arasında yer almaya başlamıştır. Isıl güneş enerjisi kapasitesi ise 1 MW düzeyindedir. Türkiye, sahip olduğu jeopolitik konum ve yüksek güneşlenme süresi sayesinde, özellikle Avrupa ülkeleriyle karşılaştırıldığında önemli bir avantaja sahiptir. Bu bağlamda, mevcut güneş enerjisi potansiyelini ve teknolojik kapasitesini etkin biçimde değerlendirmesi durumunda, Türkiye’nin gelecekte güneş enerjisi alanında gelişmiş ülkelerle aynı konjonktürde yer alabileceği öngörülmektedir (Tablo 7).

Tablo 7: Ülkelere göre Dünyadaki Güneş Enerjisi Kurulu Güç Listesi-2024 ¹⁰.

Ülke	Fotovoltaik (MW)	Isıl (MW)
Çin	887.360	570
ABD	175.990	1.480
Japonya	91.610	-
Almanya	89.94	5
Hindistan	97.042	343
Avusturalya	38.469	3
İtalya	36.008	-
Fransa	21.528	-
İspanya	36.285	2.302
Birleşik Krallık	17.603	-
Türkiye	19.882	1
Şili	10 940	114
Yunanistan	9 269	-
Güney Afrika	6 171	500
Kanada	6 105	-
İsrail	5 363	242
Tayland	3 379	5

Güneş enerjisinden elektrik üretmede kullanılan iki bağlantı türü mevcuttur. Bunlar on-grid ve off-grid bağlantı türleridir. On-grid bağlantıda güneş panellerinden elektrik üreten sistem, direkt olarak merkezi elektrik şebekesine bağlıdır. Buna kısaca şebeke içi güneş enerjisi sistemi de denilmektedir. Bu bağlantının olduğu sistemlerde üretilen elektrik direkt olarak kullanılır ve bu enerjiyi depolayan herhangi bir ara birim (akü, batarya vs.) yoktur. İhtiyaç fazlası olan enerji, çift yönlü saat kullanılarak dağıtım şirketlerine satılabilir. Örneğin üniversiteler, hastaneler, fabrikalar, kamu binaları gibi büyük kuruluşlar bu bağlamda hem enerjisini kendi üretip hem de bundan ticari kazanç sağlayabilmektedir. Off-grid bağlantı türü bireysel kullanıma daha uygundur. Şebeke hattının bulunmadığı ya da ekonomik olarak güç olduğu durumlarda bu bağlantı türü tercih edilir. Orta ve düşük enerji ihtiyacının olduğu kırsal bölgelerde, bağ evleri, yayla evlerinde bu sistemin kullanılması daha uygundur. Panellerde üretilen enerji akü, batarya gibi depolama birimlerinde toplanır ve meskenin ihtiyacına göre kullanılır.

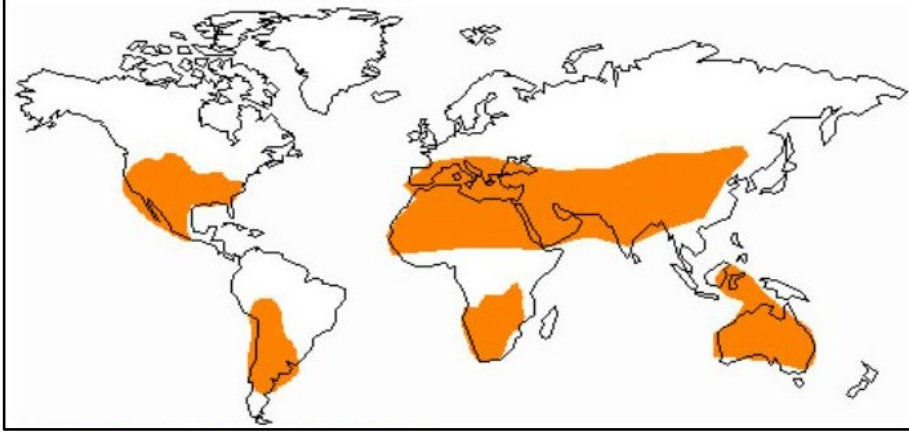
¹⁰ Renewable Energy Capacity Statistics 2024. The International Renewable Energy Agency (IRENA).

1.4.1. Dünya’ da Güneş Enerjisi Potansiyeli

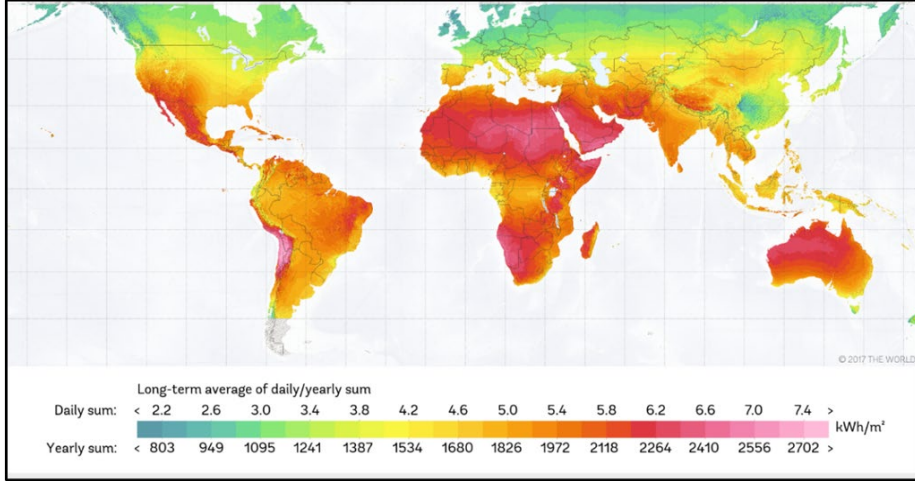
Samanyolu galaksisinde güneşin yörüngesinde olan tüm alanlarda güneş enerjisi sabitesi 1367 W/m^2 'dir. Fakat dünyanın şekli, eksen eğikliği, yeryüzü şekillerinin dağılımı, atmosferin yapısı gibi faktörlerden dolayı bu enerjinin tamamı yeryüzüne ulaşamamış ve eşit dağılmamıştır (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü).

Dünya yüzeyinin aldığı radyasyon, genel olarak ekvatordan kutuplara doğru azalmaktadır. Şöyle ki ekvator dolaylarındaki 220 Wm^{-2} olan radyasyon miktarı kutuplara doğru azalarak, özellikle Kuzey kutup civarında 80 Wm^{-2} -'nin altına düşer. En fazla radyasyonu, subtropikal yüksek basınç alanına tekabül eden Sahra-Arabistan çöl bölgesi alır (280 Wm^{-2}). Bunu 240 Wm^{-2} olmak üzere Avustralya'nın çöl alanları izler (Atalay, 2013).

Güneşlenme potansiyelinin yüksek olduğu sahalar, güneş enerji sistemlerinin kurulması için uygun yerlerdir. Yeryüzünde ekvatorun kuzeyinde ve güneyinde 35 derecelik enlemler arasındaki bölge “Dünya Güneş Kuşağı” olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge güneş enerjisi açısından en elverişli bölgedir. Bu bölge yıllık 2000-3500 saatlik güneşlenme süresine sahiptir ve günlük güneş potansiyeli $3.5\text{-}7 \text{ kWh/m}^2$ olmaktadır (Anonim 2012; Aktaran: Onurbaş Avcioğlu, 2017). Okyanusya, Asya'nın batısı ve güneybatısı, Afrika kıtası, Avrupa'nın güneyi, Kuzey Amerika'nın güneybatısı ve Güney Amerika güneşlenme potansiyelinin fazla olduğu sahalardır (Şekil 6; Şekil 7)



Şekil 6: Dünya Güneş Kuşağı¹¹.

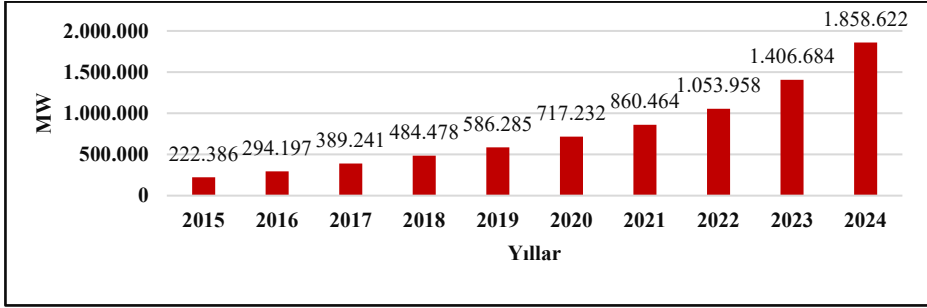


Şekil 7: Dünya Güneş Potansiyeli Atlası¹².

Dünya’da 2015-2024 yılları arasında fotovoltaik güneş enerjisi kurulu gücü sürekli bir artış göstermiştir. 2015 yılında 222.386 MW olan kurulu güç, 2024 yılında 1.858.622 MW’a ulaşarak önemli bir büyüme yakalamıştır (Şekil 8).

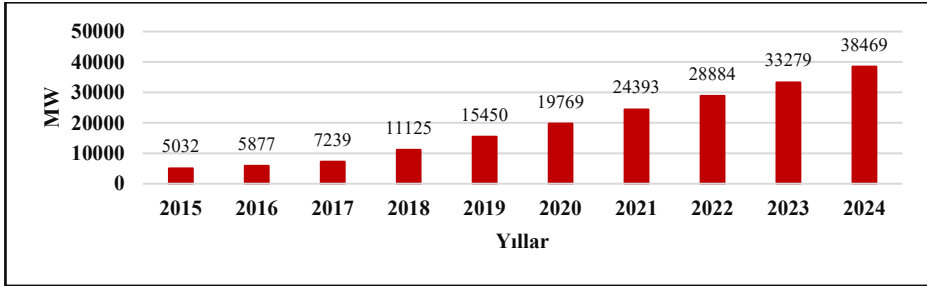
¹¹ Altıntop, N. ve Erderiir, D. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler. Mühendis ve Makine Dergisi, 54 (639), 69-77, Ankara.

¹² Global Solar Atlas 2.0, Güneş kaynak verileri: Solargis.



Şekil 8: Dünya’ da Yıllara Göre Fotovoltaik Güneş Enerjisi Kurulu Gücü¹³.

Avustralya, yıllık güneşlenme potansiyeli 2.000 kWh/m²’nin üzerinde olmasına rağmen, bu potansiyelini uzun süre yeterince değerlendirememiştir. Ancak, 2015 yılında 5.032 MW olan kurulu güneş enerjisi kapasitesini 2024 yılı itibarıyla 38.469 MW’a çıkarmıştır (Şekil 9).

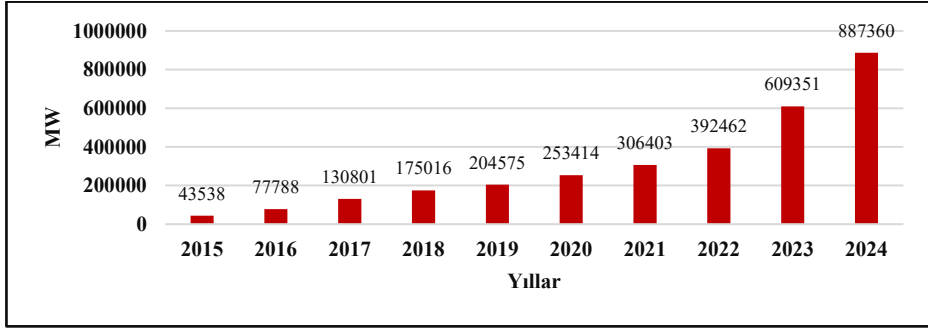


Şekil 9: Avustralya’nın Yıllara Göre Kurulu Gücü¹⁴.

Çin’in yıllık güneşlenme potansiyeli 1000-2000 kWh/m² olmasına rağmen var olan teknoloji ve enerji birikimini kullanarak bu potansiyelini çok iyi değerlendirmiştir. 2015 yılında 43.538 MW olan kurulu gücünü 2024 yılında 887.360 MW’a yükseltmiştir (Şekil 10).

¹³Renewable Energy Capacity Statistics 2024. The International Renewable Energy Agency (IRENA).

¹⁴Renewable Energy Capacity Statistics 2024. The International Renewable Energy Agency (IRENA).



Şekil 10: Çin'in Yıllara Göre Kurulu Gücü¹⁵.

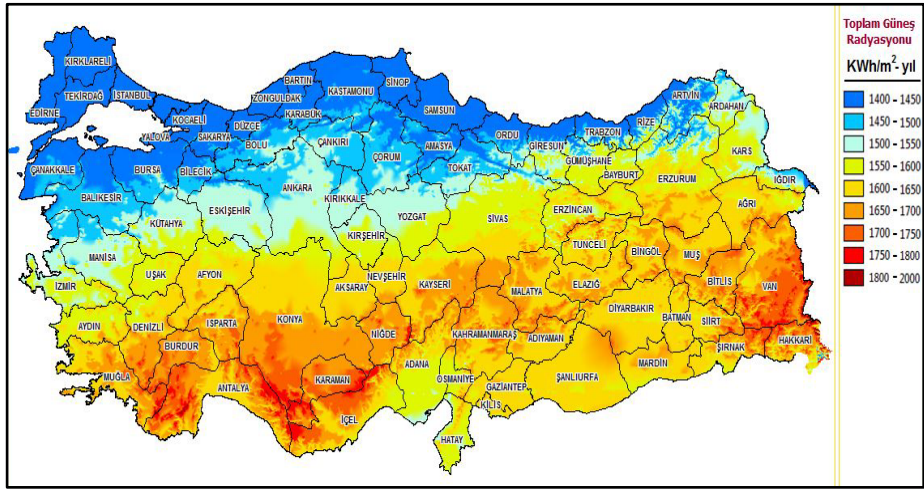
1.4.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, sahip olduğu coğrafi konumundan dolayı 781.000 km² 'lik yüzey alanıyla önemli bir güneşlenme potansiyeline sahiptir (Akkuş, 2010). Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılan çalışma sonucunda 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerine göre Türkiye'nin yıllık toplam ortalama güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama ışınlam şiddeti yıllık 1.311 kWh/m², günlük ise toplam 3,6 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi elde edebilir (Gönüllü ve Varınca, 2006).

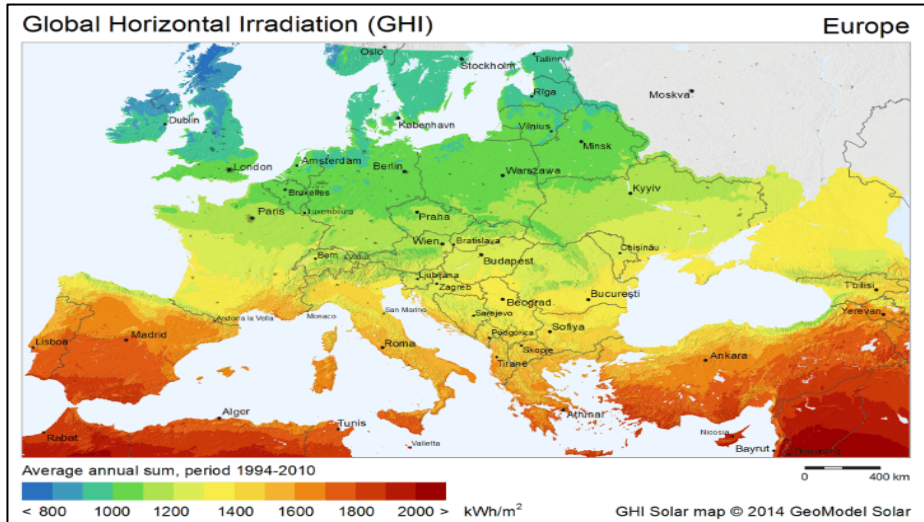
Üretici firmalar tarafından güneş enerjisinden elektrik üretimi için yıllık ortalama 1200 kWh/m² güneşlenme potansiyeline sahip olan sahaların, güneş enerjisi tesisinin kurulmasına uygun olduğu belirtilmektedir¹⁶. Türkiye, gelen yıllık toplam güneş radyasyonu verilerine göre bu sınırın oldukça üzerindedir. En az radyasyon alan Karadeniz Bölgesi'nde bile değerler ortalama 1200-1450 kWh/m²- yıl'dır. Bu somut veriler Türkiye'nin verimli bir sahada yer aldığının önemli kanıtıdır (Şekil 11; Harita 2).

¹⁵ Renewable Energy Capacity Statistics 2024. The International Renewable Energy Agency (IRENA).

¹⁶ Çankaya, S. (2013). Güneş Enerjisi ile Elektrik üretimi. 2. Antalya Güneş Enerji Sempozyumu. 25- 28. Antalya.



Şekil 11: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası¹⁷.



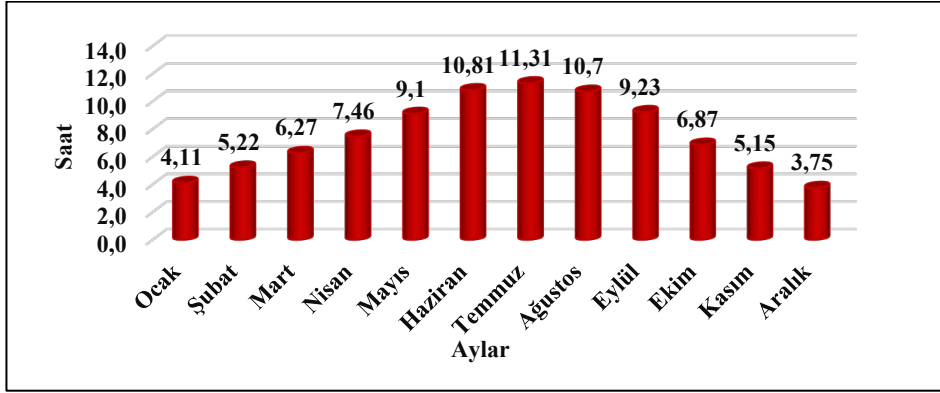
Harita 2: Türkiye'nin Avrupa ülkelerine göre Güneşlenme potansiyeli Atlası¹⁸.

Türkiye' de güneşlenme süresinin en fazla olduğu ay temmuz iken, en az olduğu ay aralıktır. Radyasyon değerinin en fazla olduğu ay haziran iken en düşük olduğu ay aralıktır. En fazla güneş enerjisini Güney Doğu Anadolu ve

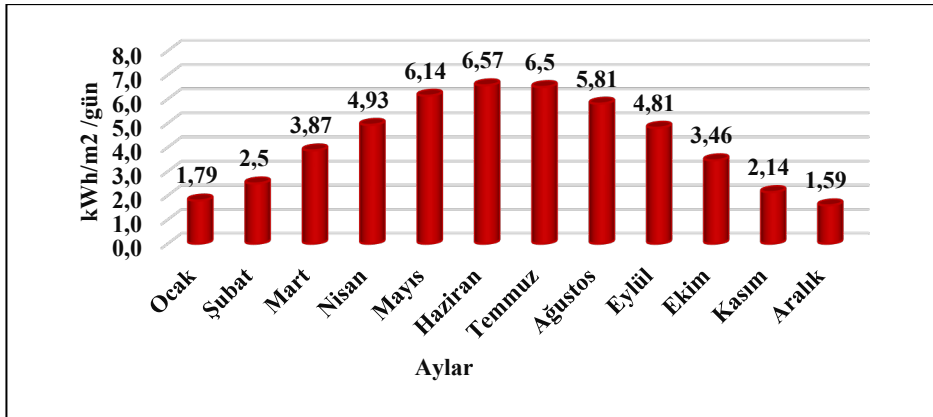
¹⁷ 01.01.2019 tarihinde <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> adresinden erişildi.

¹⁸ Global Solar Atlas 2.0, Güneş kaynak verileri: Solargis.

Akdeniz Bölgesi almaktadır. Güneşlenmenin en az olduğu bölgeler ise Karadeniz ve Marmara Bölgesi'dir (Şekil 12; Şekil 13; Tablo 8).



Şekil 12: Türkiye'nin Aylık Güneşlenme Süresi¹⁹.



Şekil 13: Türkiye'nin Aylık Radyasyon Değerleri²⁰.

Tablo 8: Türkiye'nin Bölgelere Göre Toplam Güneş Enerjisi ve Güneşlenme Süresi²¹.

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

¹⁹ 01.01.2019 tarihinde <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> adresinden erişildi.

²⁰ 01.01.2019 tarihinde <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> adresinden erişildi.

²¹ EİE Genel Müdürlüğü.

1.4.3. Türkiye’de Enerji Tüketim Dağılımı

Bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınmasının en önemli girdilerinden biri olan enerji ihtiyacı; nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşme ve küreselleşme sonucu ticaret ve üretim olanaklarının gelişmesine bağlı olarak her geçen gün artmaktadır (Narin, 2008; Aktaran: Yılmaz, 2012). Türkiye’nin de artan nüfusu ve gelişen ekonomisine bağlı olarak enerjiye olan talebi her geçen gün artmaktadır.

Tablo 9 incelendiğinde, Türkiye’nin yıllık elektrik üretiminin büyük ölçüde fosil yakıtlara dayalı olduğu görülmektedir. En yüksek pay ithal kömür (%21,90) ve doğal gaz (%19,03) ait olup, barajlı hidroelektrik (%16,16) önemli bir yenilenebilir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde rüzgâr (%10,68) ve güneş (%7,51) enerjisinin payı dikkat çekmekte, özellikle güneş enerjisinin son yıllarda elektrik üretimindeki rolünü artırdığı görülmektedir. Jeotermal (%3,23) ve biyokütle (%2,63) ise tamamlayıcı kaynaklar konumundadır. Genel olarak Türkiye’nin enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların payının arttığını, ancak fosil yakıtların hala baskın olduğunu göstermektedir. Bu durum, güneş ve rüzgar yatırımlarının artırılmasının enerji arz güvenliği ve sürdürülebilirlik açısından önemini ortaya koymaktadır.

Tablo 9: Türkiye’de Yıllık Üretim Kaynaklara Göre Dağılımı²².

Birincil Kaynak	Üretim (MWh)	%
Akarsu	17,565,578.953	5.11
Asfaltit Kömür	264,372.672	0.08
Atık Isı	930,180.541	0.27
Barajlı	55,546,019.608	16.16
Biyokütle	9,035,843.306	2.63
Doğal Gaz	65,397,156.669	19.03
Fuel Oil	1,074,168.979	0.31
Güneş	25,804,382.814	7.51
İthal Kömür	75,247,166.167	21.90
Jeotermal	11,110,994.154	3.23
Linyit	40,738,647.43	11.85
LNG	0	0
LPG	0	0
Motorin	2,896.56	0
Nafta	0	0
Rüzgar	36,712,651.815	10.68
Taş Kömür	4,241,275.449	1.23
TOPLAM	343,671,335.117	100

²² Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2024). Yıllık ve aylık istatistikler.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji üretimi 155,8 TWh seviyesinde olup, bunun en büyük payı %35,7 ile Barajlı Hidrolik santrallere aittir. Rüzgar ve güneş enerjisi sırasıyla %23,6 ve %16,6 ile toplam üretimin yaklaşık %40'ını karşılamakta, diğer kaynaklar olan akarsu, jeotermal ve biyokütle ise kalan %24'ü oluşturmaktadır (Tablo 10).

Tablo 10: Türkiye Seçili Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yıllık Üretim Miktarları ve Grup İçi Payları (2024)²³.

Birincil Kaynak	Üretim Miktarı (MWh)	Grup İçi Payı (%)
Barajlı Hidrolik	55.546	35,66%
Rüzgar	36.713	23,57%
Güneş	25.804	16,57%
Akarsu	17.566	11,28%
Jeotermal	11.111	7,13%
Biyokütle	9.036	5,80%
TOPLAM	155.775	100%

Türkiye'nin 2007-2021 yılları arasında toplan enerji arzı, yerli üretim miktarı, ithal ve ihraç edilen miktar artmaktadır. Türkiye'nin 2021 yılında birincil enerji arzı 159.732 bin ton, yerli üretim 46.720 bin ton, enerji ithalatı 124.296 bin ton, enerji ihracatı ise 9.012 bin ton'dur. Türkiye'nin enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithalat yoluyla karşılaması enerji güvenliğini tehdit etmektedir (Tablo 11).

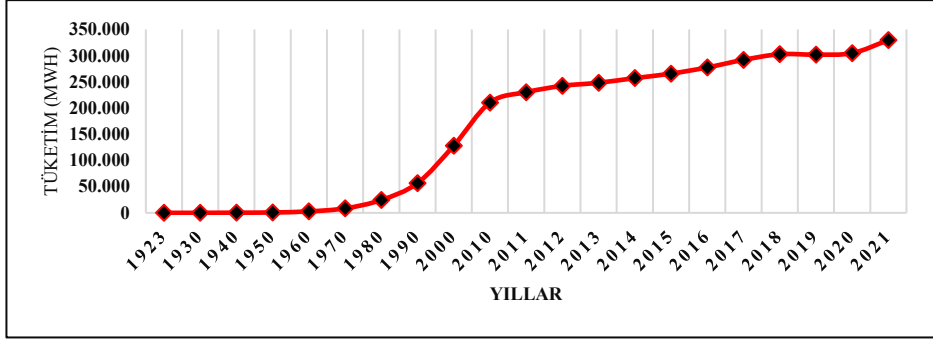
Tablo 11: Türkiye'nin Genel Enerji Dengesi²⁴.

	2007	2010	2015	2020	2021
Toplam Birincil Enerji Arzı (Bin Ton Petrol Eşdeğeri)	107.625	109.266	129.267	147.168	159.432
Toplam Yerli Üretim (Bin Ton Petrol Eşdeğeri)	27.453	32.493	31.131	44.069	46.720
Toplam Enerji İthalatı (Bin Ton Petrol Eşdeğeri)	87.614	87.009	112.850	114.285	124.296
Toplam Enerji İhracatı (Bin Ton Petrol Eşdeğeri)	6.926	8.009	8.427	8.841	9.012

²³ TEİAŞ (2024) "Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri" raporundaki orijinal değerlerden derlenerek hesaplanmıştır.

²⁴ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, EİGM raporları.

Türkiye’de 1923-2021 yılları arasında tüketime sunulan elektrik enerjisi, miktarında sürekli bir artış görülmektedir. (Şekil 14). Bu durum enerjiye olan talepteki artıştan kaynaklanmaktadır.



Şekil 14: Türkiye’de Tüketime Sunulan Elektrik Enerjisi, 1923-2021 (MWh)²⁵.

Özel ve coğrafi konumu sebebiyle yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli bakımından zengin olan Türkiye, bu avantajlarını kullanıp uygun politikalarla desteklediği takdirde enerjide dışa bağımlılığını önemli ölçüde azaltarak yeni iş olanaklarının oluşmasına ve ülke ekonomisinde makro ölçekte ekonomik fayda getirecek yatırımların oluşmasına zemin hazırlayacaktır.

1.4.4. Güneş Enerjisi Uygulamalarına Örnekler

Sonsuz enerji kaynağı olan güneş, ülkelerin yatırım yaptığı yenilenebilir enerji kaynakları arasında olan popüler enerji kaynaklarından. Hemen hemen her sektörde faydalanılan güneş enerjisi günlük ve teknolojik kullanımda kendini göstermektedir. Geçmişte kol saatleri ve hesap makinelerinde kullanılan güneş enerjisinin kullanım alanı, teknolojinin gelişmesi ve enerji birikiminin artması ile çeşitlenmiştir. Güneş enerjisi ilk defa su ısıtmada kullanılmıştır. Zamanla daha güçlü teknolojik donanımların varlığı ile fotovoltaik güneş panelleri geliştirilmiştir. Bu paneller fabrika, endüstri alanları gibi yüksek enerjiye ihtiyaç duyulan sahaların çatı katlarında kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır. Böylelikle ülkeler kendi enerjilerini kendileri üreterek enerjide sürdürülebilirlik, bağımsızlık kazanmayı ve fosil yakıt kullanımdan kaynaklanan çevre sorunlarına da çözüm getirmeyi hedeflemiştir. Bazı ülkeler

²⁵<https://en.enerjiatlas.com/electricity-consumption/turkey/> 20.04.2023 tarihinde erişildi.

de teknoloji, enerji birikimi ve potansiyelini değerlendirerek çeşitli projelerde öncü olmuştur. Bu devasa projeler;

“Güneş enerjisinin Çin seddi” olan Tengger Desert Solar Park 43 km²’lik alanda kurulmuş olan güneş panellerinden toplamda ürettiği 1,5 GW enerjisi ile dünyanın en büyük ve en yüksek kapasiteli güneş enerjisi santralidir²⁶ (Fotoğraf 1).



Fotoğraf 1: Tengger Desert Solar²⁷.

Hindistan’ının Jodhpur eyaletinde bulunan 40 km² alana kurulu Bhadla Solar Park 2,25 GW kapasiteli kurulu gücü ile ülkenin enerji tüketiminin %10’unu karşılamaktadır²⁸ (Fotoğraf 2).

²⁶ 09.12.2019 tarihinde <https://www.xtrlarge.com> adresinden erişildi

²⁷ 09.12.2019 tarihinde <https://mip.pmi.org/tengger-solar-park> adresinden erişildi.

²⁸ 09.12.2019 tarihinde https://tr.qwe.wiki/wiki/Bhadla_Solar_Park adresinden erişildi.



Fotoğraf 2: Bhadla Solar Park²⁹.

Üretilen güneş fırınlarında, düz bir satıh üzerine kurulan, güneşi takip eden çok sayıdaki ayna ile güneş ışıınıını bir noktaya odaklamak suretiyle 5000°C sıcaklığa kadar metalin eritilmesi, kesilmesi ve elektrik üretimi gibi işlemler yapılmaktadır. Direkt güneş ışıınıının fazla olduğu yüksek yerlere kurulan güneş fırınlarının ekonomik olduğu belirtilmektedir. Sistem için çok geniş yüzeye ve güneşi takip eden mekanizmalara ihtiyaç vardır³⁰. Fransa ve Amerika bu teknolojiyi kullanan öncü ülkelere örnektir. Fransa-İspanya sınırında Pyrennee Dağlarında bulunan Font-Romeu-Odeillo dünyanın en büyük güneş fırınıdır. Fırının üzerinde güneş ışıınılarının çarptığı 10 bin ayna vardır. Aynaların görevi, içbükeyin ortasında yer alan merkez noktaya tüm ısıyı iletmektedir. Merkez noktanın sıcaklığı, 3500°C (6,330 °F) derecedir³¹ (Fotoğraf 3).

²⁹ 09.12.2019 tarihinde <https://mip.pmi.org/tengger-solar-park> adresinden erişildi.

³⁰ Kılıç, A. (1993). Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 5, 6-15, Ankara.

³¹ 09.12.2019 tarihinde https://tr.qwe.wiki/wiki/Odeillo_solar_furnace adresinden erişildi.



Fotoğraf 3: Güneş Fırını, Font-Romeu-Odeillo³².

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük pazar payına sahip olan Çin, güneş enerjisi teknolojilerini en etkin biçimde kullanan ülkelerin başında gelmektedir. Çin'inin Huainan şehrinde kurulan yüzen fotovoltaik (PV) tesisi, 40 MW üretim kapasitesi ile faaliyete geçmiştir. Tesis bölgede yer alan 15 bine yakın meskenin enerji ihtiyacını karşılayabilecek durumdadır³³ (Fotoğraf 4).

³² 08.09.2019 tarihinde <https://serbestce.com> adresinden erişildi.

³³ 08.09.2019 tarihinde <https://www.donanimhaber.com/Dunyanin-en-buyuk-yuzen-solar-tesisi-Cindekuruldu--91472> adresinden erişildi.



Fotoğraf 4: Dünyanın En Büyük Yüzer GES'i³⁴.

Türkiye’de Mersin’in Mut ilçesinde bulunan, Azmak 2 HES üzerinde kurulan hidro solar Türkiye’nin ilk yüzer güneş enerji sistemidir. Daha sonra 120 kW’lık kapasitesiyle Büyükçekmece gölü üzerinde Türkiye’nin en büyük yüzer güneş sistemi kurulmuştur³⁵ (Fotoğraf 5).

³⁴ 08.09.2019 tarihinde <https://www.donanimhaber.com> adresinden erişildi.

³⁵Bulut, M., Kaplanoğlu, İ. ve Geylani, V. (2018). Dünyada Hidro YüzerGES Projelerinin Gelişimi ve Türkiye’deki Potansiyeli. Güç Sistemleri Konferansı, 15-16 Kasım, Ankara.



Fotoğraf 5: Büyükçekmece Yüzer GES'i³⁶.

Güney Kore’de 32 km² ’lik alana sahip altı şeritlik bisikletli otoyolun çatısına güneş panelleri yerleştirerek işlevsel bir proje yapmıştır. Bu paneller sadece elektrik enerjisi üretmiyor ayrıca bisikletli yolcuları yağmur ve güneşten korumakta, elektrikli araçları şarj etmekte, otoyolun ışıklandırılmasını sağlamakta ve kışın yolun buz tutmasını önlemektedir³⁷. Bu proje, ulaşımında sürdürülebilirlik için önemli bir çalışmadır (Fotoğraf 6).

³⁶ 08.10.2019 tarihinde www.ibb.istanbul adresinden erişildi.

³⁷ 10.05.2020 tarihinde <https://bigumigu.com/haber/guney-kore-de-gunes-panelleriyle-dosenmisbisikletli-otoyol> adresinden erişildi.



Fotoğraf 6: Güney Kore’de Bisikletli Otoyolun Çatısına Yerleştirilen Güneş Panelleri³⁸.

Türkiye’de ultra lüks ve mega yat üretiminde ilk sırayı çeken Antalya Serbest Bölgesi’nde (ASBAŞ), yenilenebilir enerjilerin kullanımını arttırmak ve fosil yakıtlardan oluşan çevre kirliliğinin azaltılması için tamamen güneş enerjisi ile çalışan bir yat üretiliştir. Deniz ulaşımı için önemli bir projedir ve yakıt yerine güneş enerjisi kullanıldığı için çevre kirliliğini önlemede güzel bir örnek olmuştur (Fotoğraf 7).

³⁸10.05.2020 tarihinde <https://bigumigu.com/haber/guney-kore-de-gunes-panelleriyle-dosenmis-bisikletli-otoyol> adresinden erişildi.



Fotoğraf 7: Antalya Serbest Bölgesi'nde (ASBAŞ) Üretilen, Tamamen Güneş Enerjisiyle Çalışan Yat³⁹.

Güneş enerjisinden faydalanma üzerine yapılan ARGE çalışmalarında dikkat çeken teknolojilerden bir diğeri de enerji hasat edilebilen nano teknoloji ürünü olan yapay ağaçlardır. Bu ağaçlar tasarlanırken rüzgâr ve güneş enerjisini kullanarak enerji üretimi hedeflenmiştir. Projede enerji üretimi üç şekilde sağlanmaktadır. Birincisi yapraklar, nano-fotovoltaik jeneratörler yardımıyla doğrudan güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedir. İkincisi nano-termo elektrik hücreler, güneşin ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Üçüncüsü ise nano-piezo elektrik jeneratörler, rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Finlandiya ve VTT teknik araştırma merkezinde bu ağaçların ARGE çalışması devam etmektedir. Bu teknolojinin proje olarak hayata geçtiği Singapur'da 50 metre boyundaki yapay ağaçların bulunduğu, 101 ha'lık bir park inşa edilmiştir. Bu ağaçlar parkın elektrik ihtiyacını karşılamaktadır⁴⁰ (Fotoğraf 8).

³⁹10.05.2020 tarihinde <https://www.milliyet.com.tr/ekonomi/antalya-da-tamamen-gunes-enerjisiyle-calisan-yat-yapildi-2314421> adresinden erişildi.

⁴⁰10.05.2020 tarihinde <https://gaiadergi.com/gunes-enerjisiyle-calisan-dev-yapay-agaclar> adresinden erişildi.



Fotoğraf 8: Singapur Yapay Ağaçlar⁴¹.

ARGE aşamasında olan diğer bir çalışma ise uzayda konuşlanmış güneş enerjisi uydularından kablolu güç aktarma projesidir. Dünya yüzeyinden, hava şartları ve gece gündüz döngüsünden dolayı güneş enerjisinden etkin bir şekilde faydalanılamamaktadır. Uzay, günün 24 saati bu enerji potansiyelinden daha fazla faydalanma imkânı sunmaktadır. Çin uzay teknoloji akademisi, 2025'ten önce bir test tesisi kurma planıyla, uzay temelli yenilenebilir enerji kaynağı kullanmayı hedeflemektedir. İstasyonun uzayda robotlar ve 3D baskı kullanılarak inşa edilmesi üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Çin'in yanı sıra Avrupa ülkeleri ABD, Hindistan ve Japonya gibi ülkeler başta olmak üzere birçok ülke uzay tabanlı güneş enerjisi sistemleri üzerine çalışmalar yapmaktadır⁴².

⁴¹ 10.05.2020 tarihinde <https://gaiadergi.com/gunes-enerjisiyle-calisan-dev-yapay-agaclar> adresinden erişildi.

⁴² 10.05.2020 tarihinde <https://www.hurriyet.com.tr/teknoloji/cin-uzayda-3d-yazici-test-etti-41514576> adresinden erişildi.

2. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Güneş enerjisini elektriğe dönüştüren teknolojiler, maliyet, kullanılan malzeme ve teknolojik gelişmeye göre çeşitlilik göstermektedir. Tesis kurulacak yer ile ilgili ölçütlerin tespit edilmesi için çevre ile olan ilişkisi ve etkileşimin belirlenmesi araştırmanın güvenilirliği ve uygulanabilirliği açısından faydalı olacaktır.

2.1. Elektrik Üretiminde Kullanılan Güneş Enerjisi Teknolojileri

Elektrik üretiminde kullanılan güneş enerjisi teknolojileri fotovoltaiik ve ısı (termal) güneş teknolojileri olmak üzere iki başlık altında incelenecektir.

2.1.1. Fotovoltaiik Güneş Teknolojileri (PV)

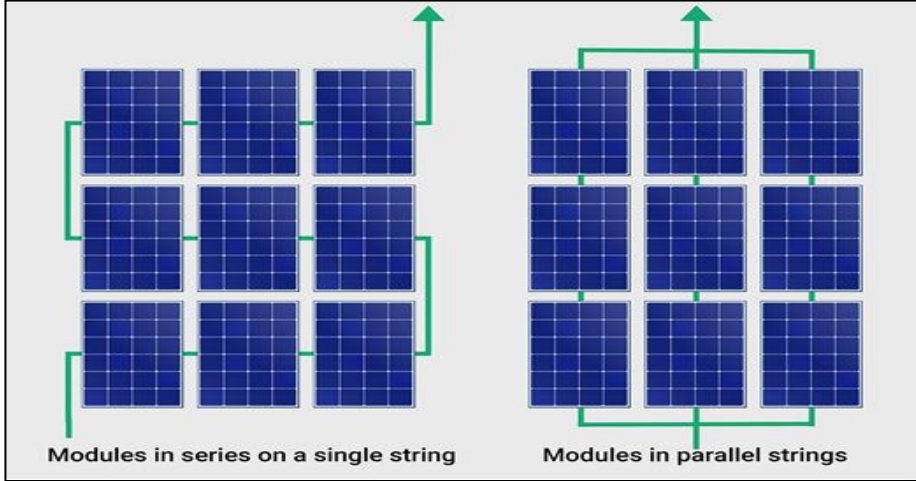
Fotovoltaiik güneş teknolojileri, güneş pilleri olarak da bilinmektedir. 1839 yılında fotovoltaiik etkinin A.E Becquerel tarafından keşfi fotovoltaiik teknolojinin çıkış noktası olmuştur. Bu tarihten itibaren bilim insanlarının güneş pilleriyle ilgili çalışmaları hız kazanmıştır. Özellikle 1950’li yıllarda büyüyen ve gelişen fotovoltaiik teknoloji, fosil kaynaklara alternatif, temiz bir enerji kaynağı olarak görülmeye başlanmıştır. 1958 yılında ABD ve Rusya arasında uzay yarışlarının başlamasıyla güneş pilleri, uzay araştırmalarında (uzay araçları ve uzay istasyonlarında) kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişme ARGE çalışmalarında güneş pillerinin kullanımı için önemli bir sıçrayış olmuştur. 1973 yılında meydana gelen petrol krizi ise güneş pilleri için ikinci büyük sıçrayış olmuştur. Kriz döneminde yapılan mali ekonomik destekle, güneş pilleri enerji üretimde kullanılan sistemler içinde yerini almıştır. 1980’li yıllarda silikon güneş pillerinin verimliliğini arttırmak için çalışmalar yapılmıştır. 1985 yılında ise %20 verimlilik sağlayan güneş pilleri üretilmiştir. Bu gelişme, güneş pilleri için üçüncü büyük sıçrayış olmuştur⁴³.

Güneş pilleri, mikroelektronik endüstrisinde kullanılan silikon gibi aynı tür yarı iletken malzemelerden yapılmaktadır. Silikon, kristal silisyum, galyum arsenit (GaAs), amorf silisyum, kadmiyum tellürid (CdTe) güneş pilleri için en

⁴³ Akman, E., Akın, S., Karanfil, G. ve Sönmezoğlu, S. (2013). Organik Güneş Pilleri. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(1), 1-30, Edirne.

yaygın kullanılan yarı iletken malzemelerdir ve temel bileşenini fotovoltaiik hücreler ya da modüller oluşturmaktadır⁴⁴.

Yarı iletken olan güneş pilleri yüzeylerine gelen güneş ışığını direkt elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Bu sistemin temel bileşeni fotovoltaiik hücrelerden meydana gelmektedir. PV hücreleri, fotovoltaiik ilkeye göre çalışırlar yani pil yüzeyine güneş ışını düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşmaktadır. GES alanlarında çok sayıda fotovoltaiik hücre birbirine paralel ya da seri halde bağlanmaktadır. Bu durum güç çıkışını arttırarak verimi pozitif yönde etkilemektedir. Oluşturulan bu hücreye güneş hücresi modülü ya da fotovoltaiik modül adı verilmektedir. Modüller birleşerek dizinleri oluşturur (Şekil 15).



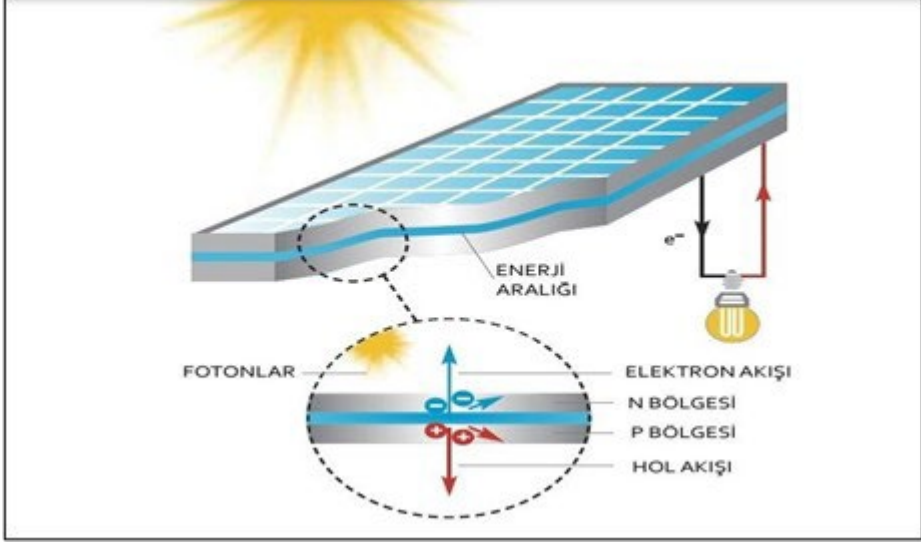
Şekil 15: Seri ve Paralel Bağlı Modüller İçeren PV Dizileri⁴⁵.

PV hücresi pozitif (P) ve negatif (N) olmak üzere en az iki yarı iletken katmandan oluşmaktadır. Pilin üst yüzeyini negatif katman oluşturmaktadır. Üst katmana düşen fotonlar, silisyum elementinden elektron (e-) kopararak pozitif katmana doğru bir elektron akışı sağlayarak akım meydana getirir. Bir hücrede oluşan bu akım tek başına sisteme enerji üretmede çok yetersiz kaldığı için

⁴⁴ Akman, E., Akın, S., Karanfil, G. ve Sönmezoğlu, S. (2013). Organik Güneş Pilleri. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(1), 1-30, Edirne

⁴⁵ 10.05.2020 tarihinde <https://www.enerjiportali.com/pv-sistemlerinde-golge-kaybi-ve-bunlari-azaltmak-icin-teknikler/> adresinden erişildi.

hücreler ihtiyaca göre paralel ya da seri bağlanarak enerji verimliliği sağlanmaya çalışılır (Şekil 16).

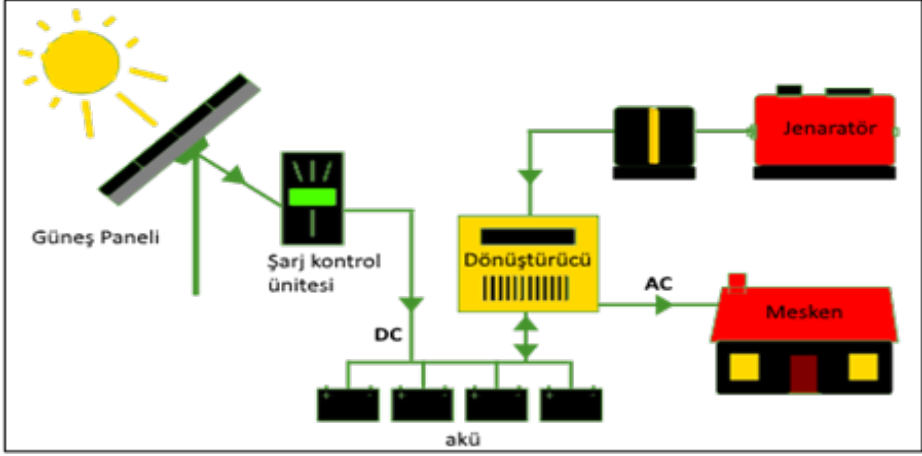


Şekil 16: PV Hücrelerinin Çalışma Mekanizması⁴⁶.

Fotovoltaik sistemlerin elektrik şebekesi ile olan ilişkisi ada şeklinde çalışan şebekeden bağımsız off-grid sistem ve şebekeye bağlı çalışan on-grid sistemler olmak üzere iki şekildedir. Gelişen teknoloji ile birlikte bu iki sistemin bir arada kullanılabildiği hibrid sistemler mevcuttur (Şekil 17; Şekil 18; Şekil 19).

Off-grid sistemde panellerden elde edilen DC (Doğru Akım) tipindeki elektrik enerjisi, şarj kontrol ünitesinden geçerek akülerde kimyasal enerji olarak depolanır. Meskenin ihtiyacına göre dönüştürücüler (invertör) tarafından akülerdeki enerji, AC (Alternatif Akım) akıma dönüştürülerek elektrik enerjisi kullanıma hazır hale getirilir. Sistemden elde edilen enerji akülerde depo edilir şebeke hattına aktarılmaz bu nedenle bu sisteme ada tipi sistem de denilmektedir. Sisteme jeneratör bağlantısı da yapılarak (hibrit sistem) uzun süren kapalı havalarda sonucu oluşabilecek enerji kesintisi olasılığı minimize edilir (Şekil 17).

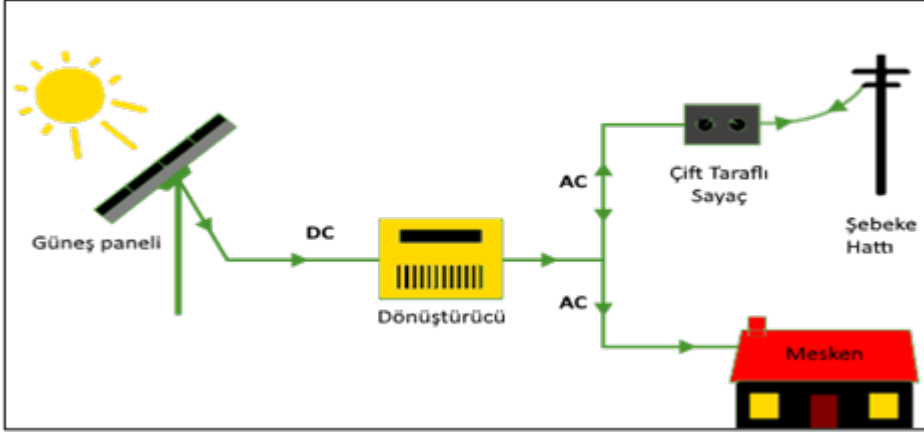
⁴⁶25.10.2019 tarihinde <http://genosor.com/blog/gunes-paneli-tasiyici-sistemlerinde-sik-karsilasilan-problemler/11> adresinden erişildi.



Şekil 17. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Sistem Şeması⁴⁷.

On-grid sistemde panellerde üretilen doğru akım (DC) cinsinden elektrik enerjisi, dönüştürücüler (invertör) tarafından mesken ve şebeke hattına alternatif akım (AC) olarak gönderilerek sistemin döngüsü tamamlanır. Çift yönlü elektrik sayacı ile şebekeden gelen elektrik meskene, harici yerden üretilen elektrik de elektrik şebekesine iletilir (Şekil 18).

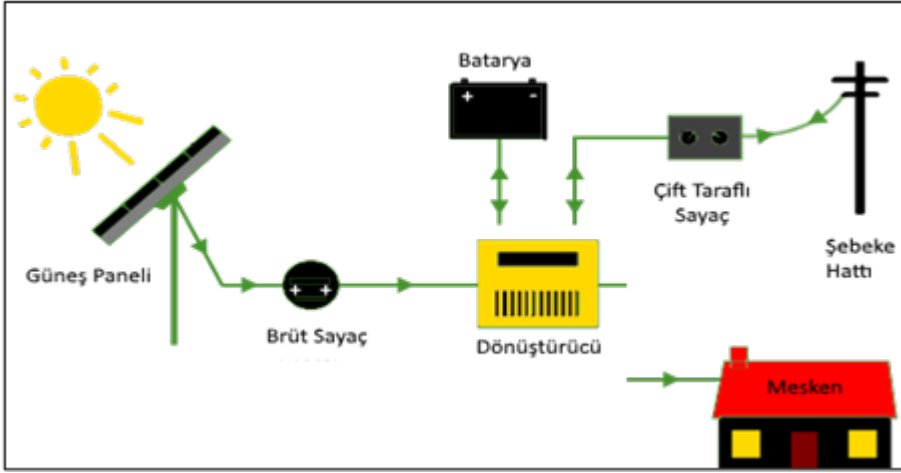
⁴⁷ 25.09.2019 tarihinde <https://www.solarreviews.com/blog/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems> adresinden alınıp düzenlenerek yeniden üretilmiştir.



Şekil 18. Şebeke bağlantılı (On-Grid) Sistem Şeması⁴⁸.

Hibrid sistemde ise güneş panellerinden enerji elde etme potansiyeli hava durumuyla direkt olarak ilişkili olduğundan havanın kapalı olduğu günlerde akülerde depolanan enerji kullanılabilmektedir ya da havanın güneşli olduğu günlerde ihtiyaç fazlası olan enerji şebekelere dağıtılarak kazanç elde edilebilmektedir. On-grid sistemin dezavantajı açık havalarda elde edilen ihtiyaç fazlası enerji, depolanmadan direkt olarak şebekeye aktarılır. Off-grid sistemde ise olumsuz hava koşullarında depolar meskenin enerji ihtiyacını karşılayamayabilir. Bu iki sistemde görülen olumsuzlukları hibrid sistem yapısı gereği çözmektedir (Şekil 19).

⁴⁸ 25.09.2019 tarihinde <https://www.solarreviews.com/blog/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems> adresinden alınıp düzenlenerek yeniden üretilmiştir.



Şekil 19. Hibrid Sistem Şeması⁴⁹.

2.1.2. Isıl Güneş Teknolojileri

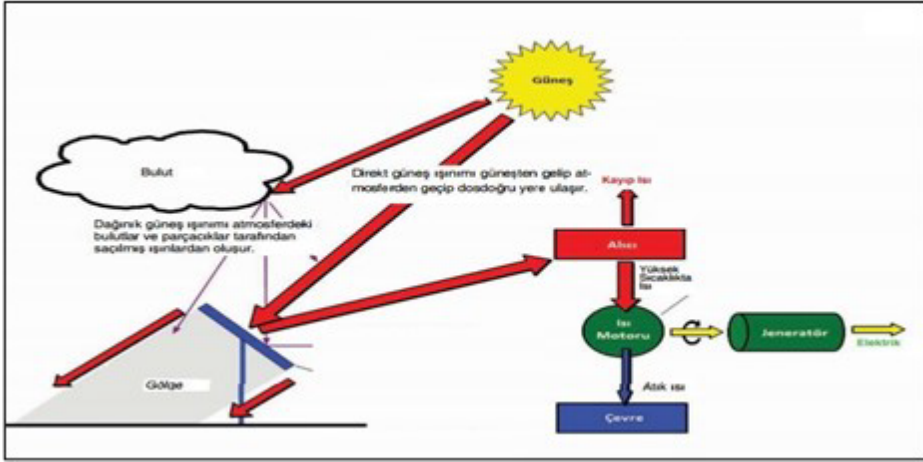
Isıl güneş teknolojileri kullanılarak öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilmektedir. Bu teknolojiye süreç, ısı ve elektrik üretmek için gerekli olan yüksek ısıyı güneş ışığının belirli bir noktaya odaklanması sonucu konsantre edilmesi ile sağlanır.

Güneşten gelen radyasyonun şiddeti enleme, mevsimlere, havanın durumu, saate ve topografyaya göre değişmektedir. Işınımın fazla olduğu yaz mevsiminde ve bulutsuz günlerde kısa dalga boyundaki güneş ışınimleri direkt gelerek yüzeye dik açıyla düşerken, ışınımın az olduğu kış mevsiminde ve bulutlu günlerde güneş ışınımı bulutlara ve parçacıklara çarpıp saçılarak dağınık bir şekilde yeryüzüne düşmektedir. Direkt gelen güneş ışınımı gölgelenme yaparken, dağınık gelen güneş ışınımı gölge oluşturmaz ve yoğunlaştırılmadığı için ısı güneş teknolojilerinde kullanılamaz. Keskin gölgelerin olduğu yani direkt ışınım bu sistem çok iyi çalışırken bulutlu günlerde yani dağınık ışınım atıl kalır. Radyasyon şiddetinin en fazla olduğu 11.00 ile 15.00 saatleri arası sistemin en iyi çalıştığı, elektrik üretiminin en fazla olduğu zamanlardır. Sabah ve ikindi saatleri radyasyonun en az olduğu saatlerdir ve bu vakitlerde elektrik üretimi düşüktür. Ayrıca bu sistemlerde ısının depolanıyor olması ve yakıtlı sistemlerle birlikte kullanılması önemli bir

⁴⁹ 25.09.2019 tarihinde <https://www.solarreviews.com/blog/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems> adresinden alınıp düzenlenerek yeniden üretilmiştir.

avantajdır. Bu sayede ısı enerjisi tuz, seramik, beton vb. sıvı ya da katı materyallerde depolanarak günün 24 saati verim alınarak enerjide süreklilik sağlanır. Isıl güneş teknolojilerinde yüksek sıcaklıklarda elektrik üretimi yapılırken düşük sıcaklıklarda ısı üretimi yapılmaktadır.

Isıl güneş teknolojileri yoğunlaştırıcı, alıcı ve ısı motorları olmak üzere 3 birimden oluşmaktadır. Alıcı üzerinde yoğunlaştırılan güneş ışınımını yüksek ısı olarak yutar. Eğer alıcı ile çevre arasındaki sıcaklık farkı fazla olursa ısı kaybı meydana gelir ve alıcının verimini düşürür. Bunu önlemek için alıcı ve çevre arasındaki sıcaklık farkının düşürülmesi gerekmektedir. Isı motoru alıcıdan gelen yüksek ısıyı jeneratörler yardımıyla elektrığe dönüştürürken kalan atık ısıyı çevreye aktarır. Isıl güneş teknolojileri, amaç ve fonksiyonuna göre çeşitlilik göstermektedir (Şekil 20).

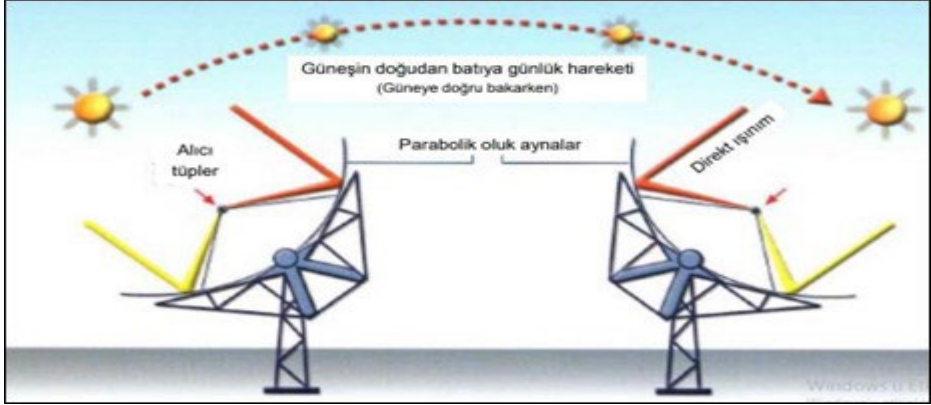


Şekil 20: Isıl Güneş Teknolojileri Sistem Şeması⁵⁰.

Parabolik Oluk Sistemler: Ticari anlamda en çok kullanılan ve teknik olarak yeterliliği kanıtlanmış olan sistemlerdir. Bu sistemde güneş ışınımını alıcılar üzerinde yoğunlaştıran parabolik aynalar bulunur. Alıcı, parabolik aynanın orta üst kısmına yerleştirilmiş, içinde çalışma sıvısı bulunan vakumlu bir cam tüptür. Bu çalışma sıvı sentetik bir yağ ya da ergimiş tuz olabilir. Kuzey-güney yönünde yerleştirilmiş aynalar gündüz saatlerinde güneşi doğu batı

⁵⁰ Livatyalı, H. ve Yıldırım, T. (2013). Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler. Mühendis ve Makina Dergisi, 53(633), 16-20, Ankara.

yönünde takip edip, alıcı üzerinde odaklayarak boru içerisinde bulunan çalışma sıvısını 150 – 370°C arasında ısıtıp enerjiye dönüştürmektedir⁵¹ (Şekil 21).



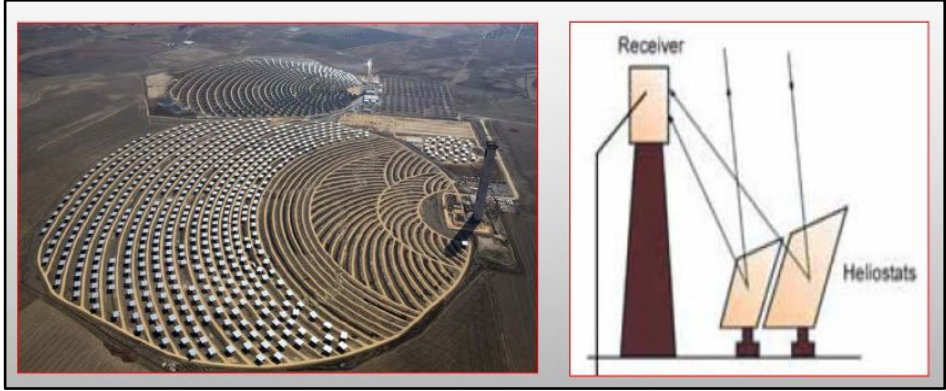
Şekil 21: Parabolik Oluk Sisteminin İşleyişi⁵².

Güneş Kuleleri: Heliostat adı verilen binlerce aynalardan oluşan sistem, iki eksen üzerinde güneş radyasyonunu takip ederek elde edilen ısı, üst kısımda bulunan metal ya da seramikten üretilen alıcı tüplere gönderilir. Alıcılar, ısı akışkanını 500-1000 oC'ye kadar ısıtarak buharlaştırır ve jeneratör-tribünlere göndererek enerjiye dönüştürür. Bu sistemde daha yüksek sıcaklıklara ulaşıldığı için verimi diğer yoğunlaştırıcı sistemlere göre daha fazladır⁵³ (Şekil 22).

⁵¹ Livatyalı, H. ve Yıldırım, T. (2013). Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler. Mühendis ve Makina Dergisi, 53(633), 16-20, Ankara.

⁵² 10.05.2020 tarihinde https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c21ec3eb17542d5_ek.pdf adresinden erişildi.

⁵³ Livatyalı, H. ve Yıldırım, T. (2013). Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler. Mühendis ve Makina Dergisi, 53(633), 16-20, Ankara.

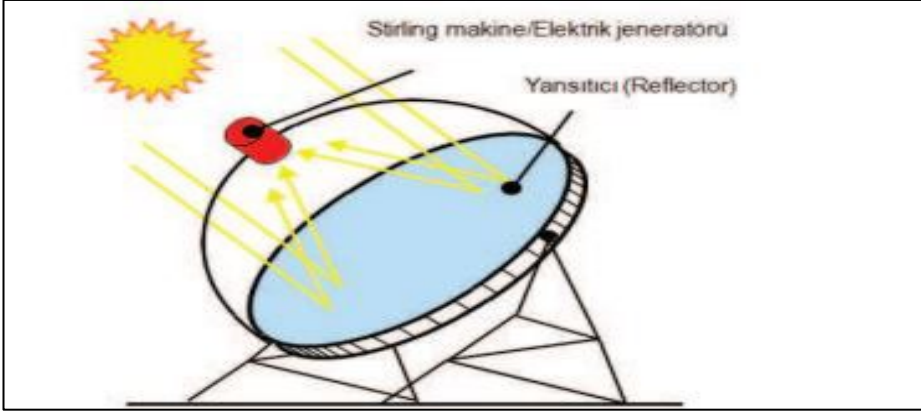


Şekil 22: Güneş Kulesi Sistemi⁵⁴.

Parabolik Çanak Sistemler: Çanak şeklinde aynalar ve stirling adı verilen motordan oluşmaktadır. Güneş radyasyonunu gün boyu takip eden çanaklar güneş radyasyonunu stirling motoruna gönderir. Stirling motoru

⁵⁴10.05.2020 tarihinde https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c21ec3eb17542d5_ek.pdf adresinden erişildi.

sıcaklığı 700 °C olan akışkanı ile mekanik iş üretmektedir. Jeneratörler, mekanik işi elektrige dönüştürmektedir⁵⁵ (Şekil 23).



Şekil 23: Parabolik Çanak Sistem Şeması⁵⁶.

2.2. Güneş Enerjisi Santralinden Elektrik Enerjisi Üretim Maliyetinin Diğer Santraller ile Karşılaştırılması

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılması için devlet tarafından destekleyici çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun bunlardan biridir. Kanuna göre;

“Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonunun azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi”

amaçlanmıştır (Resmi Gazete, 18.05.2005/25819). Ayrıca 2011 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) ile yürürlüğe giren tarife mekanizması sayesinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasitesinde hızlı bir büyüme gerçekleşmiştir. Bu kanunda rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, biokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı 15

⁵⁵ Livatyalı, H. ve Yıldırım, T. (2013). Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler. Mühendis ve Makina Dergisi, 53(633), 16-20, Ankara.

⁵⁶ 10.05.2020 tarihinde https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c21ec3eb17542d5_ek.pdf adresinden erişildi.

km²'nin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynakları YEKDEM' den faydalanabilecek üretim tesisleri olarak belirtilmiştir. 2020 yılına kadar devam edecek olan bu tarife, yatırımcıların süre bitiminden önce yatırımlarını tamamlayabilmeleri için bir imkân sunmaktadır. Bu tarife garantisi, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminde şebekeye bağlanma önceliği, lisans ve ön lisans ücretlerinde %90 ıskontodan yararlanma, faaliyetin ilk sekiz yılında lisans ücretleri ile gümrük vergisinden muaf olma ve uygun koşullarla araziye erişim hakkı, katma değer vergisi (KDV) istisnası gibi ayrıcalıklar sunmaktadır. Ayrıca 2020 sonuna kadar ticari faaliyete geçecek üretim varlıkları ilk ticari faaliyet raporundan itibaren 10 yıl boyunca satış fiyatı garantisine tabidir. Bu fiyatlar toplam ekipman içerisinde yerli imalatın payına bağlı olarak artmaktadır.

Mevcut 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'a önemli yeniliklerin ve teşviklerin getirildiği 6094 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun'da 1. ve 2. cetvelde yer alan sabit fiyat garantisi ve 2. cetvelde yer alan sabit alım garantisi ile yerli katkı ilavesi tabloları incelendiğinde güneş ve biokütle enerjisine dayalı üretimde sabit fiyat garantisi 13,3 cent, jeotermal 10,5 cent hidroelektrik ve rüzgâr enerjisinde ise 7,3 cent fiyat garantisi uygulandığı görülmektedir (Tablo 12; Tablo 13).

2.cetvelde yerli katkı ilavesi için (yurt içinde üretilen malzeme ve ekipman maliyeti); hidroelektrik üretim tesisleri için 2,3 cent, rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisleri için 3,7 cent, fotovoltaik enerjiye dayalı üretim tesisleri için 6,7 cent, yoğunlaştırılmış sistemler için 9,2 cent, biokütle enerjisine dayalı üretim tesisleri için 5,6 cent ve jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisleri için 2,7 cent üretim maliyetinin olduğu görülmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretim maliyetinin yüksek olduğu ve bu sebeple maliyeti düşürecek yenilikçi teknolojik çalışmaların yapılması gerekmektedir (Tablo 13).

Devletin fotovoltaik güneş teknolojileri için koymuş olduğu sabit fiyat garantisi ile marjinal maliyet arasında büyük bir fark bulunmaktadır. Fotovoltaik teknolojilerde marjinal üretim maliyeti 25 cent iken, sabit fiyat garantisi üretim maliyeti 13,3 cent'tir. Aradaki farkın 11,7 cent olduğu görülmektedir. (Tablo 12, Tablo 14). Devletin sağlamış olduğu destek, enerji üretim maliyetinin altındadır.

Tablo 12: 1. Cetvelde Garanti Edilen Satış Fiyatları⁵⁷.

Tür	Min. Garantili Fiyat (\$/Cent kWh) Yerli İmalat Desteği Hariç	Maks. Garantili Fiyat (\$/Cent kWh) Yerli İmalat Desteği tam olduğunda
Hidroelektrik	7,3	9,6
Rüzgar	7,3	11
Jeotermal	10,5	13,2
Biokütle	13,3	18,9
Güneş	13,3	20,0 (fotovoltaik sistemler)
		22,5 (yoğunlaştırılmış sistemler)

Tablo 13: Enerji Santrallerinin Marjinal Maliyetlerinin Birim Maliyetler Üzerinden Karşılaştırılması⁵⁸.

II SAYILI CETVEL		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD \$/cent kWh)
Hidrolik Üretim Tesisi	Türbin	1,3
	Jeneratör ve Güç Elektronikliği	1
Rüzgâr Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi	Kanat	0,8
	Jeneratör ve Güç Elektronikliği	1
	Türbin Kulesi	0,6
	Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (kanat grubu ile jeneratör ve güç elektronikliği için yapılan ödemeler hariç)	1,3
Fotovoltaik (PV) Enerjiye Dayalı Üretim Tesisi	PV panel entegrasyonu ve güneş Yapısal mekanikliği imalatı	0,8
	PV modülleri	1,3
	PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	İnvertör	0,6
	PV modeli üzerine güneş ışığını odaklayan malzeme	0,5
Yoğunlaştırılmış Enerjiye Dayalı Üretim Tesisi	Radyasyon Toplama Tüpü	2,4
	Yansıtıcı Yüzey Levhası	0,6
	Güneş Takip Sistemi	0,6
	Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	Kulede güneş ışığını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	Stirling motoru	1,3
	Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekanikliği	0,6
Biokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	Buhar veya gaz türbini	2

⁵⁷ 08.09.2019 tarihinde <http://www.shura.org.tr/> adresinden erişildi.⁵⁸ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yerli Aksam Yönetmeliği Bilgilendirme Toplantısı, 25/4/2018.

Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	Kojenerasyon sistemi	0,4
	Buhar veya gaz türbini	1,3
	Jeneratör ve güç elektroniği	0,7
	Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7

Tablo 14: Enerji Santrallerinin İlk Kurulum Maliyetine Göre Karşılaştırılması⁵⁹.

Santral Türü	(ABD \$/cent kWh)
Hidroelektrik Santraller (baraj gövdesine bağlı olarak değişir)	0,05
Linyite Dayalı Termik Santraller	2,5
Doğalgaza Dayalı Termik Santraller	3
İthal Kömüre Dayalı Termik Santraller	3,5
Rüzgâr Santralleri	4,5
Petrole Dayalı Termik Santraller	6
Nükleer Santraller	7,5
Fotovoltaik Teknolojili Güneş Santralleri	25

Güneş enerjisi santralleri için ilk yatırım maliyeti önemli bir faktördür. Fosil kaynakların aksine kendisi yakıt kaynağı olduğu için güneş enerjisi santrallerinin yakıt gideri yoktur. Fakat bu sistemlerde bina, arazi, malzeme, ekipman maliyetli olmaktadır. Bu durum birim enerji üretim maliyetine yansımaktadır. Sistem malzeme ve ekipmanını üreten ülkeler için maliyet düşüken, malzemeleri dışarıdan ithal eden ülkeler için yüksektir. Türkiye malzeme ve ekipmanları ithal eden bir ülkedir ve güneş enerjisi potansiyelini kullanma hususunda, mevcut teknolojik alt yapısı ve üretimde kullanılan malzeme ve ekipmanların ithal edilmesinden dolayı istenilen ivmeyi yakalayamamıştır. Fakat 2011 yılında YEKDEM' in desteği ve gelişen teknoloji ile birlikte son on yıl içerisinde enerjide verim artışı ve maliyette düşme meydana gelmiştir.

Tablo 15' te santrallerin ilk yatırım maliyetleri ve birim enerji üretim maliyetleri verilmiştir. Maliyetin bölgeden bölgeye farklılık göstermesinden dolayı değerler aralıklar halinde verilmiştir. Tabloda 2012 ve 2014 yılları karşılaştırılmıştır. Nükleer santralin en yüksek ilk yatırım maliyetine, doğal gaz

⁵⁹ Saner, 2015'in tezinden faydalanılarak maliyet, ABD \$/cent | kWh' a dönüştürülmüştür.

yakıtlı santrallerin ise en düşük ilk yatırım maliyetine sahiptir. Nükleer ve rüzgâr enerjisi santrallerin ilk yatırım maliyetinde düşme görülürken, güneş santrallerinde 2014 yılında ilk yatırım maliyetinde önemli bir artış olmuş diğer santrallerde ise fiyatlar sabit kalmıştır. Birim enerji üretim maliyetinin güneş enerjisi santrallerinde en yüksek, rüzgâr enerjisi santrallerinde (kara) ise en düşük olduğu görülmektedir. Santrallerin, birim enerji üretim maliyetlerindeki değişiminin rüzgâr, güneş, nükleer ve kömür yakıtlı termik santrallerinde arttığını, jeotermal ve biokütle enerji santrallerinde değişmediği, doğalgaz yakıtlı termik santrallerinde ise azaldığı görülmektedir.

Tablo 15: Santrallerin ilk kurulum maliyetleri ve birim enerji üretim Maliyeti (cent/kWh)⁶⁰.

Santral Tipi	İlk Yatırım Maliyeti(\$/kW)			Birim Enerji Üretim Maliyeti		
	2012 Yılı	2014 Yılı	Değişim (%)	2012 Yılı	2014 Yılı	Değişim (%)
Nükleer Santral	5385-8199	5358-8053	-1,08	7,7-11,4	9,2-13,2	17,3
Güneş Enerji Santrali	3000-3500	3500-4500	23,08	14,9-20,4	18,0-26,5	26,1
Jeotermal Enerji Santrali	4600-7250	4600-7250	0	8,9-14,2	8,9-14,2	0
Biokütle Enerji Santrali	3000-4000	3000-4000	0	8,7-11,6	8,7-11,6	0
Kömür Yakıtlı Termik Santral	3000-8400	3000-8400	0	6,2-14,1	6,2-14,1	6,9
Rüzgâr Enerji Santrali (Kara)	1500-2000	1400-1800	-8,58	4,8-9,5	3,7-16,2	39,2
Doğalgaz Yakıtlı Termik Santral	1006-1318	1006-1318	0	6,1-8,9	6,1-8,7	-1,3

2.3. Güneş Enerjisi Santrallerinin Çevresel Etkileri

İnsanlık tarihi boyunca yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar, atmosferik ve çevresel kirlilikte istenmeyen bazı olaylara yol açmıştır. Zamanla bu

⁶⁰ Kaya, K., Koç, E. (2015). Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi. *Mühendis ve Makina*, cilt 56, sayı 660, s. 61-68.

fenomenlerin etkisinin artması fosil yakıtların bu yıkıcı etkisinin fark edilmesini sağlamıştır. Bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmış ve alternatif enerji kaynakları için bir arayış başlamıştır. Alternatif enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi de bu yıkıcı etkilerin azaltılması için temiz, yenilenebilir bir evsel enerji kaynağı sunar. Güneş enerjisi sürdürülebilir enerjinin temel bileşenidir. Ancak doğada kaynağı ne olursa olsun bütün enerjilerin; üretim, kurulum ve işletme sırasında çevre üzerinde bazı olumsuz etkileri vardır. Yer seçimi sırasında dikkatsiz davranılırsa, bu etkiler sistemin tasarımı veya geliştirilmesi ve işletilmesi sırasında gelecek nesiller için zararlı etkilere neden olabilir. Güneş enerjisi santralleri ile ilgili etkiler genellikle tesisin gelişim ölçeğine, projenin yerine, kullanılan teknolojiye ve enerji nakil hatlarına olan mesafeye bağlı olarak değişmektedir (Interior Department, 2010; Aktaran: Mwanza, 2019). Bu yüzden bu olumsuz etkilerin azaltılması için yer seçiminin doğru yapılması ve bunun için ise ölçütlerin doğru belirlenmesi gerekmektedir.

2.3.1. Arazi Kullanım Etkileri

Güneş enerjisi santrallerinde, birim alandan elde edilen enerjinin miktarı ile arazinin büyüklüğü arasında sıkı bir ilişki vardır. Arazi ne kadar büyük ise kurulu güçte o kadar fazla olur. Diğer santraller ile karşılaştırıldığında, güneş enerjisi santrallerinin kurulumu için daha geniş araziler gerekmektedir. Güneş enerji santralleri, kurulduğu alanlarda, arazi kullanım durumunu üzerinde olumsuz çevresel etkilere neden olmaktadır.

Güneş enerjisi santralinden kaynaklanan arazi yıkımı, kullanılan solar PV hücre teknoloji türü, seçilen proje sahasının topografyası ve arazi tipi, güneş ışınımı yoğunluğu, PV modül eğim açısı ve enerji nakil hatlarına olan uzaklık gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir (Fylladitakis, 2015; UCS, 2015; Tsoutsos, 2005; Aktaran: Mwanza, 2019). Bir GES için MW başına 12000 m² ile 40000 m² arasında arazi gerekmektedir.

Enerji üretim kategorilerine göre arazi kullanım miktarları incelendiğinde en yüksek paya baraj tipi hidroelektrik santralleri (2350 m² /GWs)'nin olduğu 68 görülmektedir. Daha sonra 370 m² /GWs ile ısı güneş santralleri ve 340 m² /GWs ile fotovoltaik güneş santralleri gelmektedir. Alan kullanımı en az olan 130 m² /GWs ile nükleer santrallerdedir (Tablo 16).

Tablo 16: Enerji Üretim Kategorilerine Göre Arazi Kullanım Miktarları⁶¹.

Santral Türü	Arazi Kullanımı (m ² /GWs)
Hidroelektrik Santrali (Baraj Tipi)	2350
Isıl Güneş Santrali	370
Fotovoltaik Güneş Santrali	340
Doğalgaz Santrali	320
Kömür Santrali (Yüzeysel Madencilik)	240
Nükleer Santral	130

Güneş enerji santralleri, beton temeller üzerine çelik kolonlarla ve çelik ya da alüminyum destekler üzerine monte edilmektedir. Bunun için öncelikle arazi örtüsü üzerinde bulunan ağaç, maki, çalı gibi bitki toplulukları temizlenmektedir ve olası bir yangının ya da gölgelenmenin engellenmesi için bu temizleme işlemi rutin olarak yapılmaktadır. Bu temizleme işlemi bitki örtüsünün sökülmesi ya da herbisit türevi maddelerin kullanımı ile yapılmaktadır. Herbisit maddesi bitkilerin gelişimini engelleyip yok olmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu maddenin kullanımı toprak kirliliğine, yağmur ve sel suları ile topraktan yıkanması ile de su kirliliğine de sebep olmaktadır.

Güneş santrallerinin, ekilebilir alanlara uygulanması, verimli arazi alanlarına zarar verebilir. Arazinin geniş çapta kullanılması daha fazla enerjinin emilimine sebep olacağı için alanın termal dengesini etkilemektedir. Bu durum bölgedeki hayvan ve bitkilerin yaşamlarını olumsuz etkiler.

Güneş enerjisi santrallerinin kurulacağı alanlarda yapılan sıkıştırma ve düzleştirme işlemleri, toprağın doğal yapısını ve drenaj ağını bozarak erozyon ve su baskınlarına sebep olmaktadır.

Kısacası güneş enerjisi santralleri ormansızlaşma, toprak erozyonu, habitat kaybı, heyelan, taşkınlar, hava ve su kirliliği, ekosistem rahatsızlığı, toz kaçağı gibi olumsuz etkilere sebep olmaktadır.

Fosil kaynaklı santraller ile karşılaştırıldığında; bu santrallerde kullanılan yakıtın temin edilmesi için yapılan maden arama, çıkarma ve işletme faaliyetleri ve kullanılan ulaşım yolları arazi üzerinde güneş santralleri kadar büyük etkiler bırakmaktadır.

⁶¹ Fthenakis V. and Kim H. J. (2009). Land Use and Electricity Generation: A Life-Cycle Analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1471; Aktaran: Saner 2015.

2.3.2. Su Kaynakları ve Toprağa Etkileri

Isıl güneş enerjisi santrallerinde genellikle termal döngünün arka ucunda, tipik olarak ıslak bir soğutma kulesinde soğutma için su kullanmak üzere tasarlanmıştır. Bu su gereksinimleri kurak bölgelerde, örneğin dünyanın en büyük su stresini yaşayan MENA⁶² bölgesinde olduğu gibi bazı zorluklara neden olmaktadır. Isıl güneş enerjisi santrallerinin ihtiyacı olan suyu çevresindeki kaynaklardan sağlaması ve daha sonra bu suların kaynaklara geri verilmesi su kirliliğine sebep olmaktadır ve suyun termal dengesini bozarak buradaki canlı hayatını olumsuz etkilemektedir. Avrupa ve MENA bölgesi gibi su stresi yaşayan ülke ve bölgelerde, Isıl güneş enerjisi santrallerinin büyük ölçekli uygulanması, ek su ihtiyaçlarının etkin bir şekilde karşılanmasını veya daha düşük su kullanımına sahip teknolojilerin uygulanmasını gerektirmektedir.

Tipik bir 50 MW parabolik oluk tesisi, soğutma için yılda 0.4-0.5 milyon m³ su kullanmaktadır. Bu miktar yarı kurak bir iklimde, ısı güneş enerjisi santrali tarafından işgal edilen alana karşılık gelen bir alanın tarımsal sulamasıyla aynıdır. Ayrıca su, aynaların yüksek yansıtma özelliklerini korumak için periyodik olarak temizlenmesinde de kullanılmaktadır. Ancak temizlik için kullanılan su, soğutma için kullanılan suyun yüzde biri kadardır. Toz fırtınalarının olduğu çöl bölgelerinde ve kurak bölgelerde daha sık bir temizleme gerekeceği için su kullanım oranı daha fazla olmaktadır (Fabrizi, 2012).

Isıl güneş santrallerinde su kullanmak yerine hava ile soğutma yapılarak su kullanım miktarı azaltabilmektedir, ancak bu sistemin kullanılması verimliliğinin düşmesine sebep olur. Eğer santral, belediye atık su arıtma tesisine yakınsa atık sudan faydalanılarak su kullanımı azaltılabilir. Günümüzde çoğu enerji santrali su tüketimini en aza indirmek için suyu arıtıp yeniden kullanarak sıfır su deşarjına yönelmektedir. Ancak bu önemli bir sermaye ve işletme maliyetleri gerektirmektedir.

Faaliyette olan fotovoltaik güneş enerjisi santralleri, güneş radyasyonunu direkt elektrik enerjisine dönüştürdükleri için su kullanımı çok düşüktür. Periyodik bakım sırasında su kullanımı olmaktadır. Fakat fotovoltaik güneş

⁶² MENA Bölgesi, Kuzey Afrika'da Fas'tan başlayarak Orta Doğu'ya doğru uzanmaktadır. Cezayir, Sudan ve Libya'yı da içine alarak Mısır'a buradan da İran'a kadar uzanarak Suudi Arabistan, Yemen, Suriye, Türkiye, Ürdün, Lübnan, Irak, Kuveyt, Moritanya, Bahreyn, Birleşik Arap Emirlikleri, Umman, Katar, Tunus ülkelerini de içine almaktadır.

enerjisi için malzeme ve ekipmanın üretilmesi için yoğun bir su tüketimi olmaktadır.

Silikon hammaddeli fotovoltaik modüllerin üretiminde, her 1 W enerji başına kullanılan 2000 litre suyun %66-68 gibi büyük bir bölümü silikonun yüksek oranda saflaştırılması için kullanılmaktadır (Fthenakis ve Kim, 2010; Aktaran: Saner, 2015).

Güneş enerjisi santrallerinin kurulduğu sahalarda, doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi sonucunda erozyon meydana gelmektedir. Artan erozyon, akarsuların birikinti malzemeleri ile dolmasına, kirlenmesine ve drenajının bozulmasına sebep olmaktadır. Ayrıca doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi sonucu, yağmur sularının yüzeyle olan temas süresi azalacağı için infiltre edilmeden yüzeysel akıma geçerek sel riskini arttırmaktadır. Bu durum yeraltı sularının beslenmesini de olumsuz etkilemektedir.

Güneş enerjisi santrallerinin toprak üzerindeki önemli etkilerinden diğeri, santralin kurulma aşamasında toprakta yapılan sıkıştırma ve tesviye sonucu toprağın gözeneklilik, geçirgenlik, drenaj ağını etkileyerek toprakta uzun süren bozulmalara sebep olmaktadır.

Enerji santralleri içinde su tüketimi en fazla olan 5300 L/MWh ile hidroelektrik santralleri ve 3700 L/MWh ile ısı güneş santralleridir. Fotovoltaik ve rüzgâr enerjisi santrallerinde ise su tüketimi oldukça düşüktür (Tablo 17).

Tablo 17: Enerji Santralleri ve Su Tüketim Durumu⁶³.

Enerji Santrali	Su Tüketim (Litre/MWh)
Hidroelektrik	5300
Güneş (Isıl-su soğutma)	3700
Kömür (devir daim)	3100
Nükleer (devir daim)	3100
Petrol (devir daim)	3100
Doğalgaz (devir daim)	3100
Güneş (Isıl-su soğutma)	300
Güneş (Fotovoltaik)	15
Rüzgâr	4

⁶³ Fthenakis V. ve Kim H. J. (2009). Land Use and Electricity Generation: A Life-Cycle Analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1471; Aktaran: Saner 2015.

2.3.3. Hava Kirliliği Etkisi

Hava kirletici gazlar (karbon monoksit (CO), nitrojen oksitler (NO_x), sülfür oksitler (SO_x), ozon (O₃) ve kurşun (Pb)); volkanik patlamalar, orman yangınları, toz fırtınaları gibi doğal kaynaklardan ve ulaştırma, endüstri, ısınma sektörü gibi antropojenik kaynaklardan atmosfere karışmaktadır. Bu kirleticilerin etkileri küresel, bölgesel ve mahallî ölçekte olmaktadır. İklim değişikliği sonucunda meydana gelen ekstrem olaylar, sera etkisi, asit yağmurları, sanayi ve yerleşim yerlerinde görülen hava kirliliği atmosferdeki bu kirletici gazların bir sonucudur.

Enerji üretiminde fosil yakıtların yakılması sonucu çevreye birçok kirletici madde ve karbondioksit salınmaktadır. Aslında, güneş enerjisi de dâhil olmak üzere tüm antropojenik enerji üretme araçlarının yaşam döngüleri dikkate alındığında kirletici maddeler oluşturmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi sırasında atmosfere sera gazı salınımı olmamaktadır. Fakat malzeme üretim ve nakliyesi, kurulum, bakım ve demontaj da dâhil olmak üzere bu aşamalarda atmosfere sera gazı salınımı olmaktadır. PV hücrelerinin üretiminde kullanılan zararlı (toksik) kimyasal maddelerin işlem zincirleri yüzey veya yeraltı sularına ve havaya salınarak kirliliğe sebep olmaktadır.

Güneş enerjisi teknolojilerinin toksin madde salınımları, konvansiyonel enerji santrallerine kıyasla oldukça düşüktür. Güneş enerjisi sistemlerinde ise ısılı güneş enerji sistemleri, fotovoltaiik sistemlere göre daha az zehirli madde salınımı yapmaktadır. Toksin madde salınımı, ülkenin elektrik şebekesindeki karışımına ve malzeme/yakıt işleme yöntemlerine bağlı olarak ülkelere göre farklılık gösterebilmektedir.

2.3.4. Gürültü Kirliliği Etkisi

Güneş enerjisi santrallerinde gürültü kirliliği işletim aşamasından ziyade genellikle inşaat aşamasında olmaktadır. İnşaat aşamasında kullanılan elektronik malzemeler, ağır makineler, merkezi eviriciler ve transformatörler, zeminin yüzey malzemesi PV güç santrallerinde gürültü kirliliğine sebep olmaktadır.

Gürültü kirliliği; gürültü düzeyi, sıklık ve süre ölçütlerine göre değerlendirilmektedir. Gürültü düzeyi; düşük (75dB'den az), orta (75-100dB) ve yüksek (100dB üstü) olarak, sıklık düzeyi; düşük, orta ve yüksek olarak;

süreç ise çok nadir, haftalık, aylık, yıllık ve on yıllık olarak belirtilmektedir (Tablo 18).

Fotovoltaik ve ısıl güneş enerji santrallerinin inşa aşamasındaki gürültü düzeyi ve sıklığı düşüktür ve bu süre aylık (sesin bir seferde aylarca devam etmesi) olarak ifade edilmektedir. İşletme aşamasındaki gürültü düzeyi ise yoktur. Isıl güneş enerji santrallerinin kullandığı stirling motorları belli bir düzeyde gürültüye neden olsa da bu düzey diğer kategoriler ile karşılaştırıldığında yok denecek kadar azdır (Tablo 18).

Tablo 18: Enerji Üretim Sistemlerinin Gürültü Etkileri Karşılaştırması⁶⁴.

Enerji Santrali	İnşa Aşaması			İşletme Aşaması		
	Gürültü Düzeyi	Sıklık	Süre	Gürültü Düzeyi	Karışık	Süre
Jeotermal	Orta	Karışık	Haftalık	Orta-Yüksek	Karışık	Yıllık ile nadir arası değişir
Hidroelektrik	Yüksek	Düşük	Yıllık	Orta	Karışık	On Yıllık
Güneş (Isıl)	Düşük	Düşük	Aylık	Yok		On Yıllık
Güneş (Fotovoltaik)	Düşük	Düşük	Aylık	Yok		On Yıllık
Rüzgâr	Orta	Karışık	Aylık	Düşük	Karışık	On Yıllık
Kömür	Yüksek	Karışık	Yıllık	Orta	Karışık	On Yıllık
Doğalgaz	Yüksek	Karışık	Yıllık	Orta	Karışık	On Yıllık
Nükleer	Yüksek	Karışık	Yıllık	Orta	Karışık	On Yıllık
Petrol	Yüksek	Karışık	Yıllık	Orta	Karışık	On Yıllık

2.3.5. Ekosistem ve Biyolojik Çeşitliliğe Etkileri

PV santrallerin habitat kaybına, santrallerin inşaatı ve işletimi sırasında yerel biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu bilinmektedir. Bunun temel nedeni ağır makinelerden kaynaklanan gürültü, arazinin santral için düzenlenmesi ve bitki örtüsünün yok edilmesi ile santral arazisinin çevresinin hayvan hareketini sınırlandıracak şekilde kapatılmasıdır (Mwanza, 2019).

Güneş enerjisi santrallerinin yüzölçümlerinin büyüklüğüne göre ekosistem ve biyolojik çeşitlilik üzerinde önemli tahribatlara yol açar. Santralin kurulacağı yerlerde yapılan toprağın kazılması, sıkıştırılması ve vejetasyon örtüsünün tahrip edilmesi gibi olaylar buradaki doğal canlı yaşamını tehdit

⁶⁴ Applied Energy Studies Foundation. (2010). The Environmental Cost Of Energy, Damascus, 75; Aktaran: Saner, 2015.

etmektedir ve buralarda yaşayan canlıların beslenmeleri, barınmaları bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca güneş panellerinin kurulu olduğu alanların altında oluşan gölgelenme buralarda mikro klima alanın bozulmasına sebep olarak habitatı değiştirmektedir. Güneş enerjisi santrallerinin yoğun ışık yansımaya neden olması; bu alanlardaki termal dengenin bozulmasına sebep olmakta, sonuç olarak burada yaşayan kuşlar, böcekler, yarasaların yaşamını olumsuz etkilemektedir, bu sebeple birçok hayvan ölmektedir. Ayrıca yoğun ışık yansıması ile bozulan manyetik alan kuşların göç yollarını bulmalarına engel olmaktadır.

Enerji üretim sistemlerinin ekosistem ve biyolojik çeşitliliğe etkilerinin nispi olarak değerlendirilip karşılaştırılabilmesi için; faaliyetin yoğunluğu, süresi ve mekânsal etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Enerji üretim sistemlerinin ekosistem ve biyolojik çeşitliliğe nispi etkileri yoğunluk, süre ve mekânsal etki olarak değerlendirilmiştir. Faaliyetler yoğunluk kapsamında yüksek, orta ve düşük olarak değerlendirilmiştir. Yoğunluğu yüksek olan faaliyetlerde, yüzeyde büyük oranda değişim ve bozulmalar olmaktadır. Orta yoğunluklu faaliyetlerde, sınırlı düzeyde ancak yerel açıdan önemli yüzeysel bozulmalar olmaktadır. Düşük yoğunluklu faaliyetlerde ise sınırlı düzeyde zemin değişimine ilişkin bozulmalar olmaktadır. Faaliyetler süre kapsamında uzun vade (30 yıldan fazla) ve orta vade (10-30 yıl arası) olarak, mekânsal etkiler kapsamında ise yerel ve bölgesel olmak üzere iki ölçekte sınıflandırılmaktadır.

Yerel ölçek, faaliyetin yakın çevresindeki etkilenmeyi, bölgesel ölçek ise faaliyetin yakın çevresini kapsayacak şekilde daha geniş alanlardaki etkilenmeyi işaret etmektedir (Applied Energy Studies Foundation, 2010; Aktaran: Saner, 2015).

Güneş enerjisi santrallerinin ekosistem ve biyoçeşitlik üzerindeki etkisi; enerji yoğunluğu düşük, yoğunluğu yüksek, süresi uzun ve mekânsal etkisi yerel düzeydedir (Tablo 19).

Tablo 19: Enerji Üretim Sistemlerinin Ekosistem ve Biyolojik Çeşitliliğe Nispi Etkileri⁶⁵.

Enerji Kaynağı		Etki Karakteristikleri			Enerji Yoğunluğu (birim Enerji/ kaplanan alan)
		Yoğunluk	Süre	Mekansal Etki	
Kömür	Yüzeysel madenciligi	Yüksek	Orta	Yerel	Yüksek
	Yeraltı madenciligi	Düşük	Uzun	Yerel	Yüksek
	Kömür yakıtlı elektrik üretimi	Yüksek	Uzun	Bölgesel	Yüksek
Petrol ve Gaz	Konvansiyonel petrol ve gaz çıkarma	Orta	Kısa	Yerel	Yüksek
	Petrol ve gaz kaynaklı elektrik üretimi	Orta	Uzun	Yerel	Yüksek
Nükleer	Nükleer-hammadde madenciligi	Orta	Orta	Yerel	Çok Yüksek
	Nükleer yakıtlı elektrik üretimi	Yüksek	Uzun	Yerel	Çok Yüksek
Jeotermal		Yüksek	Orta	Yerel	Orta
Hidroelektrik		Yüksek	Uzun	Yerel	Düşük
Rüzgâr		Orta	Uzun	Yerel	Düşük
Güneş		Yüksek	Uzun	Yerel	Düşük

2.3.6. Rutin ve Kaza Sonucu Kimyasal Madde Salınımlarından Kaynaklı Etkiler

Faaliyet gösteren güneş enerjisi santrallerinde radyoaktif madde salınımı yoktur. Gaz ve sıvı kirletici maddeler konvansiyonel santrallere oranla düşüktür. Fotovoltaik teknolojide kullanılan bakır (Cu), indiyum (In), selenyum (Se) elementlerinin üçlü bileşiği olan CuInSe₂ temelli ince filmler, zehirli maddelerden üretilmektedir ve üretim aşamasında toksik madde yayarak çevresel problemlere yol açmaktadır. Güneş pillerinin yapımında kullanılan galyum arsenit (GaAs), bakır, indiyum ve silisyum maddelerinin kaza sonucu toprağa karışması; burada oluşan habitat ve canlı yaşamını olumsuz etkilerken, su kaynaklarına karışması; su kirliliğine ve hava kirleticilerinin derişimini arttırarak hava kirliliğine sebep olmaktadır. Kısacası önemli çevresel bozulmalara neden olmakta ve canlı hayatını tehdit etmektedir.

⁶⁵ Applied Energy Studies Foundation. (2010). The Environmental Cost Of Energy, Damascus, 75; Aktaran: Saner, 2015.

Isıl güneş enerjisi santrallerinde ise kullanılan soğutucu sıvının iki ya da üç yılda değişmesi gerekmektedir. Bu sıvı çok fazla pas önleyici ve antifriz malzeme kullanılmasından dolayı hem toprak hem de su üzerinde olumsuz çevresel etkilere sebep olmaktadır. Ayrıca sıvı iletim borularında oluşan herhangi bir sızıntı, çevreye olumsuz etkiler bırakmaktadır

2.3.7. Görsel Etkiler

Enerji yoğunluğu ile mekânsal bozulma arasında bir korelasyon vardır. Üretilen enerji yüksek olup görsel etkinin düşük olması, enerji yoğunluğunun yüksek olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisi santrallerinin boyutu, alanı, kullanımı, silüet etkisi, renk ve hareket kontrastı ve süresine göre görsel etki oluşturmaktadır. İşlevsel bir güneş paneli üretmek için öncelikle hammadde çıkarmak gerekir ve bu hammadde esas olarak silikonda işlenen kuvarstır. Ayrıca alüminyum ve bakır ya da gümüşte madencilik yapılması veya geri dönüştürülmüş kaynaklardan elde edilmesi gereken kilit malzemelerdir ancak PV endüstrisinin son 10 yılda artması nedeniyle çoğunlukla madencilik yapılır. Bu durum arazi kullanımı ve görsel kirlilik üzerinde etkiler yaratmaktadır.

Enerji üretim sistemlerinin görsel etkileri; silüet, mekânsal etki ve görsel etkilerin süreleri olarak değerlendirilmektedir. Faaliyetler mekânsal etki ölçütü kapsamında çok yüksek (40.468 hektardan büyük), yüksek (4.046- 40.468 hektar arası), orta (404- 4.046 hektar arası), düşük (40- 404 hektar arası) ve çok düşük (40 hektardan az) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu etki faaliyetlerin 1000 MW/s'lik elektrik üretimi için kapladıkları alan kapsamında değerlendirilmektedir. Silüet etkisi ölçütü, faaliyetin düşey yüksekliğine bağlı olarak değerlendirilmekte ve yüksek (45 m üstü), orta (8 – 45 m arası) ve düşük (8 m altı) olarak sınıflandırılmaktadır. Görsel etkilerin sürecine ilişkin ölçüt ise uzun (30 yıldan fazla), orta (10-30 yıl arası) ve kısa (10 yıldan az) olarak sınıflandırmaktadır (Applied Energy Studies Foundation, 2010; Aktaran: Saner, 2015).

Güneş enerjisi sistemlerinin çevre üzerindeki görsel etkisi incelendiğinde; silüet etkisi düşük, mekânsal etkisi yüksek ve süresi uzundur (30 yıldan fazla). Enerji yoğunluğu ise mekânsal bozulma ile arasındaki korelasyon sonucu düşüktür. Güneş enerjisi santrallerinin boyutu, alanı, kullanımı, silüet etkisi, renk ve hareket kontrastı ve süresine göre görsel etkinin şiddeti değişmektedir. Çevrenin doğal görüntüsünün bozulmasına neden olarak

görsel kirlilik oluşturmaktadır. Özellikle santralin çevresel açıdan hassas alanlara ve doğal güzelliklerin bulunduğu alanlara kurulması görsel kirliliği arttırmaktadır. Yerleşme alanlarının yakınlara kurulan santrallerde de görsel kirlilik fazla olmaktadır (Tablo 20).

Tablo 20: Enerji Üretim Sistemlerinin Görsel Etkilerinin Karşılaştırması⁶⁶.

Enerji Kaynağı		Etki Karakteristikleri			Enerji Yoğunluğu (birim Enerji/kaplanan alan)
		Yoğunluk	Süre	Mekansal Etki	
Kömür	Yüzeysel madenciligi	Yüksek	Orta	Yerel	Yüksek
	Yeraltı madenciligi	Düşük	Uzun	Yerel	Yüksek
	Kömür yakıtlı elektrik üretimi	Yüksek	Uzun	Bölgesel	Yüksek
Petrol ve Gaz	Konvansiyonel petrol ve gaz çıkarma	Orta	Kısa	Yerel	Yüksek
	Petrol ve gaz kaynaklı elektrik üretimi	Orta	Uzun	Yerel	Yüksek
Nükleer	Nükleer-hammadde madenciligi	Orta	Orta	Yerel	Çok Yüksek
	Nükleer yakıtlı elektrik üretimi	Yüksek	Uzun	Yerel	Çok Yüksek
Jeotermal		Yüksek	Orta	Yerel	Orta
Hidroelektrik		Yüksek	Uzun	Yerel	Düşük
Rüzgâr		Orta	Uzun	Yerel	Düşük
Güneş		Yüksek	Uzun	Yerel	Düşük

2.3.8. Kullanılan Malzeme ve Üretime İlişkin Çevresel Etkileri

Güneş enerjisi santrallerinde üretim sürecinde, yarı iletken malzemenin yüzeyini temizlemek ve saflaştırmak için hidroklorik asit, sülfürik asit, nitrik asit, hidrojen florür, trikloroetan ve aseton gibi tehlikeli maddeler kullanılır. Kullanılan kimyasalların miktarı ve türü hücre tipine, gereken temizleme miktarına ve silikon gofretin boyutuna bağlıdır. Ayrıca silikon tozunun solunması çalışanlar için risk faktörü oluşturmaktadır. Özellikle ince film PV hücreleri, galyum arsenit, bakır-indiyumgalyum-diselenid ve kadmiyum-tellür dâhil olmak üzere geleneksel silikon fotovoltaik hücrelerde kullanılanlardan daha fazla toksik madde içermektedir. Doğru şekilde kullanılmaması ve

⁶⁶ Applied Energy Studies Foundation. (2010). The Environmental Cost Of Energy, Damascus, 75 ; Aktaran: Saner, 2015.

atılmaması durumunda bu malzemeler ciddi çevresel veya halk sağlığı tehditleri oluşturabilir. Günümüzde üreticilerin değerli ve nadir bulunan bu malzemelerin geri dönüştürülmelerini sağlamak için güçlü bir finansal teşvikleri vardır.

İşlevsel bir güneş paneli üretmek için öncelikle hammadde çıkarmak gerekir. Bu madde esas olarak kuvarstır. Ayrıca alüminyum, bakır veya gümüşte madencilik yapılması veya geri dönüştürülmüş kaynaklardan elde edilmesi gereken kilit malzemelerdir. Ayrıca fotovoltaiik panellerin üretilirken silika tuzu, silan, diboran, fosfin gibi zararlı maddeler ve çeşitleri solventlerin salınımı, hava kirliliğine neden olmaktadır.

Isıl güneş santrallerinin üretim ve inşa aşamasında yüksek geri dönüşüm oranına sahip çelik, cam ve beton gibi toksin maddeler kullanılmaktadır. Santrallerin ısı iletim sıvılarında sentetik yağ, bifenil ve bifenil-eter karışımları kullanılmaktadır. Bu maddeler kolaylıkla yangına sebep olmakta, toprak ve suyu kirletmekte, çevre için zararlı atık kapsamında değerlendirilmektedir (Fabrizi, 2012; Aktaran: Saner, 2015).

Güneş enerjisi santrallerinde kullanılan ekipmanın üretim, nakliye ve kurulumu için çok fazla enerji gerekmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretilmesiyle ilgili küresel ısınma emisyonları olmamasına rağmen, üretim, malzeme nakliyesi, kurulum, bakım, hizmetten çıkarma ve demontaj da dâhil olmak üzere çok fazla enerjiye gereksinim vardır. Bu durumda fosil kaynakların kullanılması emisyon miktarının artmasına sebep olmaktadır.

Sera gazı emisyon değerleri incelendiğinde en fazla pay, yenilenemez kaynaklardan kömür, petrol ve doğalgaza aittir. Yenilenebilir enerji kaynaklar içinde fotovoltaiik güneş enerjisi santralleri en fazla emisyon değerine sahiptir. Isıl güneş enerjisi santralleri ise fotovoltaiik santrallere oranla daha az emisyon değerine sahiptir (Tablo 21).

Tablo 21: Elektrik Üretim Kategorilerine Göre Hayat Döngüsü Sera Gazı Emisyon Yoğunluğu⁶⁷.

	Üretim Kategorisi	Sera Gazı Emisyonu g CO _{2e} /KW's
Yenilene mez kaynaklar	Kömür	1689
	Petrol	1170
	Doğalgaz	930
	Nükleer	220
Yenilenebilir Kaynaklar	Güneş (Fotovoltaik)	217
	Güneş (Isıl)	89
	Rüzgar	81
	Jeotermal	79
	Biogaz	75
	Hidroelektrik	43
	Dalga	23

2.4. Güneş Enerjisi Santrallerinin Diğer Olumsuz Etkileri ve Çevresel Etki Performansı

Güneş enerjisi santrallerinin üretim, nakliye, kurulum, işletme ve geri dönüşüm sürecinde çevreye verdiği olumsuz etkilerin dışında kültürel miras üzerinde de etkileri bulunmaktadır. Kültürel ve paleontolojik miras alanları üzerine ya da yakın çevresine kurulan güneş enerjisi santralleri bu alanlara ve değerlere zarar vermektedir. Korunan alanlar, kentsel ve arkeolojik sit alanlarının bulunduğu arazilere ya da bu arazilerin yakınına bu santrallerin kurulması kültürel varlık ve değerleri olumsuz etkileyecektir. Ayrıca bu ölçütün göz ardı edilmesi santralin GES kurulum sürecini olumsuz etkileyecektir.

Hava, deniz ve karasal askeri faaliyetlerde eğitim, tatbikat vb. operasyonlar için engel ve tehlike yarattığı düşünülen büyük ölçekli güneş enerji santrallerinin kurulumu ve işletilmesi tercih edilmemelidir (Miller ve Lumby, 2012; Aktaran: Saner, 2017).

Havayolu alanlarının bulunduğu yerlere veya yakın çevresine kurulan güneş enerjisi santralleri, yoğun ışık yansımından dolayı havayolu güzergâhını olumsuz etkileyerek uçuş güvenliğini tehlikeye sokabilmektedir.

⁶⁷ Edenhofer, O. Madruga, R.P. ve Sokona, Y. (2012). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 370-372, New York; Aktaran: Saner, 2015.

Güneş enerjisi santrallerinin ürettiği enerjinin yerleşme alanları, sanayi ya da çalışma alanlarına taşınması için iletim hatları gerekmektedir. Bu iletim hatlarının, trafo merkezlerinin vb. inşa edilmesi, takılıp sökülmesi gibi aşamalar çevreyi ve doğal yaşamı olumsuz etkileyecektir.

Bu sonuçlar doğada kaynağı ne olursa olsun hiçbir enerji kaynağının tamamen temiz olmadığını göstermektedir. Enerji santrallerinin, üretimden inşasına, işletmeden geri dönüşüm sürecine kadar çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu bağlamda enerji kaynaklarının çevreyi ve insan sağlığını daha az etkileyecek teknolojiler ile üretilmesi ve arazi seçimi için ölçütlerin daha doğru belirlenip değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tablo 22: Güneş Enerjisi Santrallerinin Çevresel Etkileri.

Güneş Enerjisi Santrallerinin Çevresel Etkileri	
1.Arazi Kullanımı Üzerinde Etkileri	Geniş arazi kullanımı
	Ormansızlaşma
	Toprak erozyonu
	Heyelan
2. Su Kaynakları ve Toprağa Etkileri	Yoğun su kullanımı
	Su kirliliği
	Yeraltı su kaynaklarının beslenememesi
	Sel riski
	Toprağın gözeneklilik ve geçirgenliğinde bozulma
3. Hava Kirliliği	Dolaylı yoldan emisyon miktarında artış
	Toksin madde salınımları
4. Gürültü Kirliliği Etkisi	İnşaat aşamasında oluşan gürültü düzeyi
5. Ekosistem ve Biyolojik Çeşitliliğe Etkileri	Habitat kaybı
	Mikro iklim alanının bozulması
6. Rutin ve Kaza Sonucu Kimyasal Madde Salınımlarından Kaynaklı Etkiler	Sıvı kirleticiler
	Gaz kirleticiler
7. Görsel Etkiler	Enerji yoğunluğu
	Mekansal etki
	Silüet etkisi
	Yoğun arazi kullanımı
	Kullanılan malzemeye bağlı madencilik faaliyeti
8.Kullanılan Malzeme ve Üretime İlişkin Çevresel Etkileri	Çevresel tehdit
	Halk sağlığı tehdidi
	Hava kirliliği
9. Diğer Etkileri	Kültürel ve paleontolojik miras
	Hava, deniz ve karasal askeri faaliyetlere etkisi

3. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN YER SEÇİMİ İLE İLGİLİ YAKLAŞIMLAR

Güneş enerjisi santrallerinin yer seçim durumunu etkileyen üç faktör bulunmaktadır. Bunlar faaliyetin verimliliği, faaliyetin çevresel etkileri ve yasal düzenlemelerdir. Güneş enerjisinden enerji elde etme konusunda genellikle çevresel faktörler göz ardı edilmiştir ve verimlilik üzerinde durulmuştur. Fakat hem çevre hem de insan sağlığı açısından zararların en aza indirgene bilmesi için ölçütler belirlenirken, bütün faktörler göz önünde bulundurulmalıdır ve ulusal mevzuatın kısıtlayıcı ve teşvik edici yönden incelemesi gerekmektedir. Bu doğrultuda güneş enerji santrallerinin yer seçimine ilişkin ölçütlerin tespiti hukuki, doğal ve çevresel kısıtlamalar bütününde ele alınmıştır.

3.1. Faaliyetlerin Verimliliği Açısından Yer Seçim Koşulları

Faaliyetin verimliliği; santralin üretimden inşasına, işletmeden geri dönüşüm sürecine kadar olan üretim maliyetlerini kapsar. Uygun yer seçimi için belirli kurallar olmamakla beraber bu zamana kadar yapılmış çalışmalar ve uygulamalar belirli ölçütlerin oluşmasını sağlamıştır.

Türkiye ve İspanya, diğer Avrupa ülkelerine göre potansiyel bakımından daha güçlü bir konumdadır. Güneş ışıınım verileri ülke özelinde incelendiğinde; coğrafi konum olarak güney ve güneydoğu kesimlerinin güneş potansiyelinin daha fazla olduğu görülmektedir (Harita 4). Güneşlenme potansiyelinin yüksek olduğu sahaların hem bölgesel hem de yerel olarak da incelenmesi gerekmektedir. Çünkü bu sahalarda oluşan gölgelenme ve olumsuz iklim koşulları verimi olumsuz etkileyebilmektedir. Özellikle engebenin fazla olduğu sahalar, binalar, ağaçlık ve ormanlık alanlarda oluşan gölgelenme o bölgede yüksek ışıınım olsa dahi, oluşan gölgelenme verimi düşürmektedir. Çevrede gölge yaratan faktörlerin mevsimlerin değişmesiyle farklılaşan güneş açısına bağlı olarak arttığı unutulmamalıdır (Miller ve Lumby, 2012; Aktaran: Saner, 2015).

İklimde gözlenen aşırı hava olayları güneş enerjisi santralleri için risk oluşturarak zarar görmesine sebep olmaktadır. Özellikle sel riskinin yüksek olduğu sahalar erozyon riskini de arttırmaktadır. Oluşan toprak ve su hareketleri, tesislerin zarar görmesine neden olmaktadır. Tesisler, sert esen

rüzgârlar ve kar yağışından olumsuz etkilenmektedir. Panel ve yansıtıcıların geniş yüzeyli olması rüzgârdan etkilenerek zarar görmesine, bölgenin yüksek kar yağışına ve uzun süreli kar yağışının etkisinde olması ise ek temizleme bedeline sebebiyet vererek maliyetin artmasına neden olacaktır. Sıcaklıkta santraller için önemli bir etkidir. Ortalama sıcaklığın yüksek olması fotovoltaiik sistemlerdeki verimi düşürmektedir. Bu bölgelerde verimin sağlanması için yüksek sıcaklığı kaldırabilecek modüllerin kullanılmasını gerekmektedir. Yine bu durum maliyet üzerinde olumsuzluk oluşturmaktadır.

Genellikle santral için yer seçiminde düzlük ve güney bakı yönlü araziler tercih edilmektedir. Topografik yapısı dalgalı olan araziler gölgelenmeye sebep olmaktadır. Ayrıca bu araziler kurulumu zorlaştırarak maliyeti arttırmaktadır. Güney bakılı yönler günlük güneşlenme potansiyeli bakımından zengin olduğu için tercih edilmektedir.

Arazinin eğim durumu da santrallerin verimliliği açısından önem taşımaktadır. Farklı kaynaklar bu konuda farklı değerler vermekteyse de yer seçiminde en ekonomik eğim değerinin %1 ile %3 aralığı olduğu, %3 üstü eğimli arazilerin verimli olmadığı kabul edilmektedir (Hang vd., 2008; Aktaran: Saner, 2015). Ancak alternatif alan bulunamaması durumunda %5 eğime kadar yer seçim yapılabilir (Broesamle vd., 2000; Aktaran: Saner, 2015). Diğer taraftan %0 eğimli tamamen düz araziler de su birikmesi ve tahliye problemleri nedeniyle tercih edilmemektedir (ABD, Çevre Koruma Ajansı, 2006).

Arazi kullanım durumu da santralin verimi üzerinde etkili olmaktadır. Doğal bitki örtüsünün yoğun olduğu araziler gölgelenmeyi artırarak verimi düşürmektedir. Bu yüzden genellikle makilik, fundalık, sazlık alanlar tercih edilmemektedir. Taşlık ve kayalık alanlarda ise zeminin sert olması nedeniyle kurulum maliyetini arttırdığı için tercih edilmemektedir.

Santrallerin verimliliği açısından şebekeye yakınlık ve şebekenin kapasite durumu da etkilidir. Santral ile şebeke hattı arasındaki irtibat iletim hatlarıyla sağlanmaktadır. Mesafenin artması yeni iletim hatlarının inşa edilmesini gerektirecektir. Bu durum yine üretim maliyetini arttıracaktır. Şebeke hattının üretilen enerjinin kapasitesine kaldırabilecek durumda olmalıdır. Aksi takdirde yeni bir şebekenin inşa edilmesi ya da var olan şebekenin kapasitesi için uygun bağlantının oluşturulması gerekecektir.

Santral ile enerji tüketim alanı arasındaki mesafenin fazla olması enerjinin iletimi sırasında enerji kaybına sebep olur ve verimlilik buna bağlı olarak düşmektedir. Enerji santralinin kırsal, kentsel yerleşme alanları, sanayi ve çalışma alanları gibi tüketim alanlarına ne çok uzak ne de çok yakın olmaması gerekmektedir. Yerleşme alanlarına yakın olması tarım, yapılaşma, ulaşım gibi insan faaliyetleri sonucu oluşan hava kirliliği ve oluşan partiküller modüllerin daha hızlı kirlenmesine neden olarak bakım ve temizleme giderlerini arttırmaktadır. Bu bakımdan yerleşme alanlarına 5-10 km arasında bir uzaklıkta olması önerilmektedir.

Güneş enerjisi santralinin verimliliği açısından inşa ve kurulum aşamasında inşaat faaliyetinin yürütülmesi ve gerekli malzemelerin ulaştırılması ve kamyon, iş makinelerinin kolayca erişebilmesi de önemli bir faktördür. Ana ulaşım arterlerine yakınlık avantaj sağlamaktadır ve buralara ulaşımın tali yollar vasıtasıyla olması ve bu yolların fiziki durumlarının iyi olması önemli bir noktadır. Aksi takdirde yeni yolların yapılması ya da var olan yollarda yapılan iyileştirme, maliyeti arttıracaktır.

Su kaynaklarına olan mesafede önemlidir. Özellikle temiz ve düşük mineralli su kaynaklarına yakınlık güneş enerjisi santrallerinin ekonomik olarak verimliliğini etkilemektedir. Isıl güneş santrallerinde kullanılan soğutma suyu ve fotovoltaiik güneş enerjisi santrallerinde periyodik olarak yapılan temizleme işlemleri için su gerekmektedir. İkinci bir faktör olarak nem, sis, buharlaşma, sel ve taşkın olumsuz etkileri hem verimliliği etkilemekte hem de sel ve taşkın meydana geldiğinde santrallere zarar vererek maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu alanlara kurulan santrallerin burada yaşayan flora ve faunanın da etkilenmesine sebep olacaktır. Bu sebeple çalışma alanında GES için yer tayini yapılırken ikinci faktör göz önünde bulundurulmuştur.

Santrallerin yer seçiminde alanın toprak yapısı da önemli bir faktördür. Faaliyet alanının zemin yapısı, yeraltı su seviyesi, toprak direnci ve zemin mukavemetine ilişkin koşullar yer seçiminde önemli ölçütler olarak değerlendirilmektedir.

GES alanlarının aktif fay hatlarına uzak olması da başka bir yer seçim ölçütüdür. Bu bakımdan alanda yapılacak jeoteknik araştırmalar ile sismik aktivite, erozyon, sel ve don duyarlılığına ilişkin değerlendirmeler yapıp nihai yer seçim kararları verilmektedir (Miller ve Lumby, 2012; Aktaran: Saner, 2015).

3.2. Çevresel Etkiler Açısından Yer Seçim Koşulları

Güneş enerjisi santralleri için yer seçimi yapılırken çevreyle olan etkileşimi ve çevreye vermiş olduğu zararlar göz önünde bulundurularak minimize edilmelidir. Faaliyetin yapılacağı alanda meydana gelen herhangi bir değişim doğrudan ya da dolaylı yoldan birbirini tetiklemektedir. Güneş enerjisi santralinden yüksek kurulu gücün yani çevrim verimliliğinin sağlanabilmesi için santralin büyük bir alana kurulmuş olması gerekecektir. Diğer santrallerle karşılaştırıldığında oldukça büyük bir alana tekabül etmektedir. Kurulum yapılacak alanda yapılan temizleme işlemleri buradaki flora ve faunaya zarar vermektedir (Bkz. Bölüm 2.3.1).

Hazine arazisi olan mera alanlarında yapılan kurulum işlemleri, o alanda yapılan otlatma faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Orman vasfında olan ya da fiili olarak üzerinde orman bulunmayan alanlarda yapılan temizleme faaliyetleri bu alanlara büyük zarar vermektedir. Kurulum işlemlerinin dışında işletme süresince periyodik olarak temizleme işlemleri devam etmektedir. Makilik, fundalık, bataklık, sazlık vb. alanlarda yapılan zemin temizleme işlemi buradaki flora/faunaya ve araziye kalıcı zarar vermektedir. Bu tür alanlara yapılacak herhangi bir müdahale bu alanların kaybedilmesi anlamına gelmektedir.

Kurulum yapılacak alanlarda yapılan sıkıştırma ve tesviye işlemleri topografyayı, arazinin doğal yapısını ve doğal toprak örtüsünü bozmaktadır. Yapılan bu işlemlerin toprağın drenaj kanallarını bozmaktadır. Erozyonu hızlandırmaktadır. Drenaj kanallarının bozulması sel ve su baskınlarına neden olacaktır (Bkz. Bölüm 2.3.2). Bu yüzden sel ve taşkın riskinin yüksek olduğu ve erozyon riskinin yüksek olduğu sahalarda santraller kurulmamalıdır.

Arazi kullanım kabiliyeti sınıflandırmasında tarım arazisi olan ve buralara kurulan güneş enerjisi santralleri bu arazilerin kullanım kabiliyet sınıfını düşürmektedir. Santraller bu arazilerde bozulmaya sebep olup arazinin verimini düşürerek üretim kaybına sebep olmaktadır (Bkz. Bölüm 2.3.1). Tarımsal amaçla kullanılan, arazi kullanım kabiliyet sınıfında olan ve sulama yapılan araziler güneş enerjisi santralleri için yer seçimi yapılırken göz önünde bulundurulmalıdır.

Su kaynaklarına yakınlıkta önemlidir. Isıl güneş santrallerinde kullanılan soğutma suyu ve fotovoltaiik güneş enerjisi santrallerinde periyodik olarak yapılan temizleme işlemleri için su gerekmektedir. Su kaynaklarına olan bu

ihtiyaç hem yer altı hem yerüstü su kaynaklarını zorlayabilmektedir. Bu yüzden su kaynaklarının kısıtlı olduğu yerlere de santraller kurulmamalıdır (Bkz. Bölüm 2.3.2).

Ayrıca Isıl güneş santrallerinde kullanılan soğutma suyunun su kaynaklarına geri verilmesi hem yeraltı ve yerüstü suyunun termal dengesini ve doğal yapısını bozmaktadır hem de buradaki doğal yaşamı etkilemektedir. Yer seçimi yapılırken bu hassas bölgelerden kaçınılmalıdır.

Geniş alanlara kurulan güneş enerjisi santralleri ekosistem ve biyoçeşitlik açısından çevresini olumsuz yönde etkilemektedir. Buradaki canlıların avlanmaları, beslenmeleri, yaşam alanları, hareketleri kısıtlanmaktadır. Yüksek ışık yansımaları, yüzeyde oluşan yüksek sıcaklık, oluşan manyetik alan, mikro klimanın değişmesi, vejetasyonun ve su kaynaklarının azalması gibi etkenlerden dolayı ekosistem ve biyoçeşitlik olumsuz etkilenmektedir (Bkz. Bölüm 2.3.5).

Güneş enerjisi santrallerinde yüksek ışık yansımından dolayı görsel kirlilik oluşmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin boyutu, alanı, kullanımı, siluet etkisi, renk ve hareket kontrastı ve süresine göre görsel etkinin şiddeti değişmektedir. Çevrenin doğal görüntüsünün bozulmasına neden olarak görsel kirlilik oluşturmaktadır. Özellikle santralin çevresel açıdan hassas alanlara ve doğal güzelliklerin bulunduğu alanlara kurulması görsel kirliliği arttırmaktadır. Yerleşme alanlarının yakınlarına kurulan santrallerde de görsel kirlilik fazla olmaktadır (Bkz. Bölüm 2.3.7). Aynı zamanda oluşan bu görsel kirlilik kuşların göç hareket yollarını olumsuz etkilemektedir.

Güneş enerjisi santrallerinin rutin işletme faaliyetleri esnasında ya da kaza sonucu zarar veren kimyasalların çevreye yayılması önemli bir durumdur. Santrallerde kullanılan toksin maddeler ve soğutucu sıvıların bakım, monte ve de monte, yangın gibi herhangi bir durumdan kaynaklanan kaza sonucu çevreye az miktarda bile salınımı çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Bkz. Bölüm 2.3.6). Bu sebepten dolayı afet riski olan alanlar, hassas bölgeler ve yerleşme alanları yer seçiminin dışında tutulmalıdır.

3.3. Diğer Etkiler Açısından Yer Seçim Koşulları

Kültürel miras alanları, askeriyeğe ait alanlar, havayolu ulaşım ağı yer seçiminin dışında tutulmalıdır. Ayrıntılı olarak Bölüm 2.4’ te açıklanmıştır.

3.4. Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimini Etkileyen Mevzuatın Kısıtlayıcı ve Teşvik Edici Olmaları Yönünden İncelenmesi Endüstri Bölgeleri Kanunu

Enerji İhtisas Endüstri Bölgeleriyle ilgili çerçeve kanun niteliğindeki düzenleme 4737 Sayılı Endüstri Bölgeleri Kanunudur. Bu kanunun amacı endüstri bölgelerinin kurulmasını, işletilmesini ve gelişmesini sağlamaktır. Endüstri bölgelerinde, ileri teknoloji kullanılması ve ARGE imkânı sunuyor olması, Endüstri bölgeleri kanunun en önemli şartlarından biridir. Bu şartları sağlayan bölgeler; Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının önerisiyle Bakanlar Kurulu tarafından ilan edilmektedir.

Endüstri bölgesi olarak ilan edilen bölge kamulaştırılarak alt yapı ve kamulaştırma giderleri Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından karşılanır. Bu bölgede kurulacak tesisler ÇED yönetmeliğine tabii tutulmaktadır fakat yer seçimi hususunda ÇED’ e bağlı değildir.

Bu çerçevede Endüstri Bölgesi’nin sağlayacağı en büyük avantajlarından biri, Devletin enerji yatırımı yapılacak arsaları en uygun maliyetle uzun süreli irtifak hakkıyla yatırımcılara tahsis etmek ve yatırımcılara ucuz altyapı hizmetleri (enerji, iletişim, arıtma gibi) sağlamasıdır. Ayrıca altyapı bağlatma ve izin alma gibi çoğu bürokratik prosedürü kendi içlerinde halletmekte ve yatırımcılara zaman tasarrufu sağlamaktadır. İletişim, su ve elektrik gibi altyapı bağlantılarının süreleri EB dışındaki işletmelere kıyasla çok daha hızlı tamamlanabilmekte, izin ve ruhsat alma işlemleri de çok daha kısa sürede gerçekleşmektedir⁶⁸.

3.4.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma İlişkin Kanun

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakların kullanımının arttırılması için devlet tarafından destekleyici çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. 10.05.2005 tarihinde yürürlüğe giren 5346 Sayılı Yenilenebilir

⁶⁸ Orta Anadolu Kalkınma Ajansı. (2017). Gürün Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi Fizibilite Raporu,12.

Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun bunlardan biridir.

Kanuna göre “yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi” amaçlanmıştır. Kanuna göre; orman arazileri, devletin tasarrufu altında olan ya da hazinenin özel mülkiyetinde olan taşınmazlar kaynak bölge olarak kullanılabilir. Maliye Bakanlığı ve Orman ve Su İşleri Bakanlığına bu bölgeler için bir bedel ödenerek kiralanabilmekte, ittifak hakkı tesis edilebilmekte ve kullanma izni verilmektedir.

YEKA’nın belirlenmesi, derecelendirilmesi ve korunması ve kullanılmasına ilişkin usul ve yönetmelikte (2013) kamu ve hazine arazilerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi yapan tesislerin kurulması için YEKA’ya ilişkin teşvik edici usul ve esaslar düzenlenmektedir. YEKA teknik bir çalışmayla belirlenerek yatırım yapıp yapılmayacağı ile ilgili bir değerlendirilme yapılmaktadır.

Kanun kapsamında; yeraltı ve yerüstü su kaynakları, içme ve sulama suyu havzaları, ormanlık alanlar, sulama alanları, tarım alanları, ağaçlandırma alanları, maden ve enerji yatırımları, ulaşım ve teknik altyapı yatırımları, afet risk alanları ve yapılaşma yasağı getirilen alanlarda yer seçimi yapılırken ilgili kurum ve kuruluşların görüşleri alınmaktadır.

3.4.2. Çevre Kanunu

2872 sayılı çevre kanunu, yenilenebilir enerji santrallerinin yer seçimi için çerçeve kanun niteliğindedir. Bu kanunun amacı, “bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamaktır” (Resmi Gazete, 09.08.1983/18132). Kanunda; çevrenin korunması, çevre kirliliğinin en aza indirgene bilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını destekleyecek maddeler yer almaktadır. Çevre sorunlarına yol açabilecek faaliyetlere ilişkin ÇED raporunun ve proje tanıtım dosyalarının hazırlanması zorunlu tutulmuştur.

Güneş enerjisi santrallerinin yer seçiminde önemli olan konular Çevre Kanunu kapsamındaki yönetmeliklerle düzenlenmiştir. Çevresel Etki Değerlendirmesi bu yönetmeliklerden biridir. Bu yönetmelik; yapılacak projelerinin olumlu ve olumsuz yönlerinin ortaya konulması ve oluşacak olumsuz etkilerin önlenmesi ya da çevreye vereceği zararın en aza indirgenmesi için uygulanacak projenin denetim ve kontrolünde sürdürülecek çalışmaları ele almaktadır. Kurulu gücü 10 MW ve üstünde olan santraller çevresel etki değerlendirmesinde bulunmaktadır. 10 MW altında alan santraller ise seçme eleme projeler listesinin içinde yer alarak çevresel etki değerlendirmesi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yapılmaktadır.

Çevre kanunu içerisinde yer alan önemli bir diğer düzenleme ise Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'dir. Bu yönetmelikte kullanma ve içme suyu elde edilen kaynakların ve su toplama havzalarının korunmasına dair özel hükümler getirilmiştir ve bu alanlara güneş santrallerinin kurulmasına izin verilmemektedir.

Özel hüküm çalışmalarında yer alan mutlak koruma alanı, kısa ve orta mesafeli koruma alanlarında da güneş santrallerinin kurulumuna izin verilmemektedir. Uzun mesafeli alanlarda ise belirli şartlar dâhilinde izin verilmektedir.

Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği ise sulak alanlar ve buradaki habitatın korunmasıyla ilgili bir yönetmelik olup; Ramsar alanı, sulak alanların kirletilmemesi, çevrenin biyolojik ve ekolojik yapısının bozulmadan geliştirilip korunmasına ilişkin hükümler yer almaktadır. Yönetmeliğe mutlak koruma bölgesi, hassas koruma bölgesi, sürdürülebilir kullanım bölgesinde zorunlu olmadıkça özel mülkiyete konu olmaması esastır. Koruma bölgesinde Ek-1'de yer alan enerji endüstrine ilişkin güneş enerjisi faaliyetlerine izin verilmemektedir. Tampon Bölgede ise ek-2 de yer alan enerji endüstrisi ile ilgili faaliyetlerde güneş enerjisi santrallerinin kurulumuna izin verilmektedir (Resmi Gazete, 04.04.2014/28962).

3.4.3. Orman Kanunu

6831 Sayılı Orman Kanunu ormanlarımızın korunması, iyileştirilmesi, genişletilmesi ve bütün imkânlardan yararlanarak vatandaş ihtiyacını en kolay, en seri ve sürekli biçimde karşılanmasını sağlamak gerekçesiyle çıkarılmıştır. Kanunun 14, 15, 16, 17, 18 ve 19. maddelerinde ormanların korunmasına ilişkin yasak ve kısıtlamalar, bahkçılık, madencilik, taş-kum ocakları, fabrikalar vs. ile

kamu yararı ve zaruret olması halinde verilebilecek izinler düzenlenmiştir (TMMOB Orman Mühendisleri Odası Serbest Meslek Mensupluğuna Hazırlama Eğitimi).

Bu kanunda “Devlet ormanlarının amacı dışında kullanılamayacağı, sınırlarının daraltılamayacağı herhangi bir inşaat faaliyetine izin verilmeyeceğine ilişkin hükümler yer almaktadır”. Fakat 2011 yılında resmi gazetede yayımlanan Orman Kanununun 17 ve 18 inci Maddelerinin Uygulama Yönetmeliği’nde, kamu yararı ve zaruret bulunması halinde enerji nakil hattı, trafo ve enerji üretim santrallerinin de içinde olduğu bazı tesislerin orman arazileri üzerinde kurulmasına Orman ve Su İşleri Bakanlığınca izin verilmektedir (Resmi Gazete, 15.09.2011/28055).

3.4.4. Milli Parklar Kanunu

2873 Sayılı Milli Parklar Kanunu güneş enerji santralının yer seçiminde etkin olan bir başka düzenlemedir. Milli parklar içerik olarak tabiat parkları, tabiat anıtları ve tabiatı koruma alanlarına ilişkin yasal düzenlemelerden oluşmaktadır.

Bu kanun kapsamına giren yerlerdeki kamu idareleri, kamu kurum ve kuruluşları ve Hazineye ait taşınmaz mallar ile Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan yerlerdeki mevcut açıklıkların ve var olan ağaçların, bitki örtüsünün yanması, her ne sebeple olursa olsun kesilmesi, sökülmesi, boğulması, budanması sonunda oluşacak açıklıkların ve arazinin çeşitli şekillerde düzeltilmesi suretiyle elde edilecek sahaların işgali, kullanılması, bu yerlere her türlü yapı ve tesis yapılması, bu yapı ve tesislerin tapuya tescili yasaktır. Bu gibi yapı ve tesislere hiçbir kayıt ve şart aranmadan doğrudan doğruya Orman ve Su İşleri Bakanlığınca el konulur (Resmi Gazete, 11.08.1983/18132).

Bu bakımdan Milli Parklar Kanunu güneş enerji santrallerinin yer seçiminde kısıtlayıcı bir yasal düzenleme niteliğindedir.

3.4.5. Kara Avcılığı Kanunu

Güneş enerji santrallerinin yer seçiminde etkin bir diğer yasal düzenleme olan 4915 Sayılı Kara Avcılığı Kanunu’dur. Bu kanunun amacı;

Sürdürülebilir av ve yaban hayatı yönetimi için av ve yaban hayvanlarının doğal yaşam ortamları ile birlikte korunmalarını, geliştirilmelerini, avlanmalarının

kontrol altına alınmasını, avcılığın düzenlenmesini, av kaynaklarının milli ekonomi açısından faydalı olacak şekilde değerlendirilmesini ve ilgili kamu ve özel hukuk tüzel kişileri ile iş birliğini sağlamaktır” (Resmi Gazete, 11.07.2003/25165).

4915 sayılı Kara Avcılığı Kanunu kapsamında 2004 yılında yürürlüğe girmiş olan Yaban Hayatı Koruma ve Yaban Hayatı Geliştirme Sahaları ile İlgili Yönetmelik’te;

Yaban hayatı koruma ve geliştirme sahalarında, yönetim ve gelişme planlarında yer alan faaliyetler ve yapılaşmalar dışındaki faaliyetler ve yapılaşmalara izin verilemez, ekosistem bozulamaz. Bu alanların dışında da olsa bu sahalara olumsuz etki yapacak tesislere izin verilemez, varsa mevcut tesislerin atıkları arıtılmadan bırakılamaz. Bu sahalarda içerisinde çöp depolama ve imha alanları oluşturulamaz, onaylanmış plânlarda belirtilen yapı ve tesisler dışında hiçbir yapı ve tesis kurulamaz, irtifak hakkı tesis edilemez. Bu sahalarda Bakanlıkça gerektiğinde ilave yasaklamalar getirilir ve Bakanlığın uygun görüşü alınmadan diğer kamu kurum ve kuruluşlarınca yasaklama getirilemez hükmü yer almaktadır (Resmi Gazete, 08.11.2004/25637).

Bu bakımdan Kara Avcılığı Kanunu güneş enerji santrallerinin yer seçiminde kısıtlayıcı bir yasal düzenleme niteliğindedir.

3.4.6. Mer’a Kanunu

4342 Sayılı Mera Kanunun amacı;

Daha önce çeşitli kanunlarla tahsis edilmiş veya kadimden beri kullanılmakta olan mera, yaylak, kışlak ve kamuya ait otlak ve çayırın tespiti, tahdidi ile köy veya belediye tüzel kişilikleri adına tahsislerinin yapılmasını, belirlenecek kurallara uygun bir şekilde kullandırılmasını, bakım ve ıslahının yapılarak verimliliklerinin artırılmasını ve sürdürülmesini, kullanımlarının sürekli olarak denetlenmesini, korunmasını ve gerektiğinde kullanım amacının değiştirilmesini sağlamaktır (Resmi Gazete, 25.02.1998/23272).

Mera alanlarının tahsis amacının değiştirilmesi ile ilgili bazı istisnai durumlar da bulunmaktadır. Bu istisnai durumlardan biri mera alanlarının kiralanabilmesi durumudur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun talebi üzerine, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu ve 5015 sayılı Petrol Piyasası Kanunu hükümlerine göre, petrol iletim

faaliyetleri ile elektrik ve doğal gaz piyasası faaliyetleri için gerekli bulunduğu takdirde kullanım yerlerinin tahsis amacı değiştirilebilmektedir (Resmi Gazete, 25.02.1998/23272).

3.4.7. Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu

5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu'nun amacı;

Toprağın korunması, geliştirilmesi, tarım arazilerinin sınıflandırılması, asgari tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazi büyüklüklerinin belirlenmesi ve bölünmelerinin önlenmesi, tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazilerin çevre öncelikli sürdürülebilir kalkınma ilkesine uygun olarak planlı kullanımını sağlayacak usul ve esasları belirlemektir (Resmi Gazete, 19.07.2005/25880).

Mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri ile sulu tarım arazileri tarımsal üretim amacı dışında kullanılamaz. Ancak, alternatif alan bulunmaması ve Kurulun uygun görmesi şartıyla; Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun talebi üzerine 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu uyarınca Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak elektrik enerjisi üretimi yapan tüzel kişiler, ürettikleri elektrik enerjisinin kaynağının yenilenebilir kaynak olduğuna dair Bakanlıktan “Yenilenebilir Kaynaktan Elektrik Üretim Belgesi alabilmektedir” Söz konusu belgenin verilmesine ilişkin usul ve esaslar Bakanlık tarafından çıkarılan yönetmelikle düzenlenmektedir. Rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi kurulması için yapılan ön lisans başvurularının değerlendirilmesi ise kanunda belirtilen esaslara göre yapılmaktadır (Resmi Gazete, 30.03.2013/28603).

Bu Esaslar;

a) Üretim tesisinin kurulacağı sahanın maliki tarafından başvuru yapılması durumunda, aynı saha için yapılan diğer başvurular dikkate alınmaz (Resmi Gazete, 30.03.2013/28603).

b) Başvurularda, tesisin kurulacağı saha üzerinde son üç yıl içinde elde edilmiş en az bir yıl süreli standardına uygun rüzgâr veya güneş ölçümü bulunması zorunludur. Bu konuya ilişkin usul ve esaslar Kurum tarafından çıkarılan yönetmelikle düzenlenir (Resmi Gazete, 30.03.2013/28603).

c) TEİAŞ veya ilgili dağıtım şirketi tarafından, kullanılacak teknolojilerin şebeke bakımından etkileri de dikkate alınarak uygun bağlantı görüşü verilen başvurular değerlendirmeye alınır (Resmi Gazete, 30.03.2013/28603).

ç) Değerlendirmede aynı bağlantı noktasına ve/veya aynı bağlantı bölgesine bağlanmak için birden fazla başvurunun bulunması hâlinde başvurular arasından ilan edilen kapasite kadar sisteme bağlanacak olanları belirlemek için TEİAŞ tarafından, işletmeye girdikten sonra en fazla üç yıl içerisinde ödenmek üzere birim megavat başına en yüksek toplam katkı payını ödemeyi teklif ve taahhüt edenlerin seçilmesi esasına dayanan yarışma yapılır. Yarışmaya ve yarışma sonunda belirlenen katkı payının ödenmesine ilişkin usul ve esaslar TEİAŞ tarafından teklif edilen ve Kurum tarafından çıkarılan yönetmelikle düzenlenir. Rüzgâr ve güneş enerjisi lisans başvurularının teknik değerlendirmesine ilişkin usul ve esaslar Bakanlık tarafından çıkarılan yönetmelikle düzenlenir (Resmi Gazete, 30.03.2013/28603).

3.4.8. Sulama Alanlarında Arazi Düzenlenmesine Dair Tarım Reformu Kanunu

3083 Sayılı Sulama Alanlarında Arazi Düzenlenmesine Dair Tarım Reformu Kanununda;

Devletin hüküm ve tasarrufu veya özel mülkiyetinde olup kamu hizmetlerinde kullanılmak üzere tahsis edilmemiş arazi, uygulama kararının Resmi Gazete’de yayımı ile gerçek veya özel hukuk tüzelkişilerinin mülkiyetinde bulunan arazi ve diğer gayrimenkuller kamulaştırma ile Uygulayıcı kuruluşun tasarrufuna geçer (Resmi Gazete, 01.12.1984/18592).

Bu tür arazilerde tarımsal yapılar dışında inşaat yapılması yasaktır. Uygulama alanlarında bulunan tarım arazisi, zorunlu sebepler olmadıkça tarım dışı amaçlarla kullanılmaz. Ancak zorunlu hallerde, uygulama alanlarındaki arazi ilgililerin müracaatı üzerine uygulayıcı kuruluşun izni ile tarım dışı amaçlarda kullanılabilir. Uygulayıcı kuruluşun izni olmadıkça bu taşınmazlarda cins değişikliği yapılamaz (Resmi Gazete, 01.12.1984/18592) ⁶⁹.

⁶⁹ 01.03.2020 tarihinde <http://tapu-kadastro.net/index.php/makaleler/diger-tapu-kadastro/400-sulama-alanlarinda-3083-sayili-kanuna-goere-kisitli-araziler> adresinden erişildi.

3.4.9. Zeytinciliğin Islahı ve Yabanilerin Aşılınması Hakkında Kanun

3573 Sayılı Zeytinciliğin Islahı Yabanilerinin Aşılattırılmasına Dair Yönetmelik'te;

Zeytinlik sahaları içinde ve bu sahalara en az üç kilometre mesafede zeytin ağaçlarının bitkisel gelişimini ve çoğalmalarını engelleyecek kimyevi atık, toz ve duman çıkaran tesis yapılamaz ve işletilemez. Bu alanlarda yapılacak zeytinyağı fabrikaları ile küçük ölçekli tarımsal işletmelerin yapımı ve işletilmesi Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın iznine bağlıdır.

Ancak alternatif alan bulunmaması ve Çevresel Etki Değerlendirme Raporu (ÇED)'ne uygun olması, bitkilerin vegetatif ve generatif gelişimine zarar vermeyeceği Bakanlık araştırma enstitüleri veya üniversiteler tarafından belirlenmesi durumunda; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesisleri kurulmasına izin verilebilmektedir (Resmi Gazete, 03.04.1996 /22600).

3.4.10. Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu

2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu'nun amacı korunması gerekli taşınır ve taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları ile ilgili tanımları belirlemek, yapılacak işlem ve faaliyetleri düzenlemek, bu konuda gerekli ilke ve uygulama kararlarını alacak teşkilatın kuruluş ve görevlerini tespit etmektir. Korunması gerekli kültür ve tabiat varlıklarının korunma alanlarının tespiti ve bu alanlar içinde inşaat ve tesisat yapılıp yapılamayacağı konusunda karar alma yetkisi koruma kurullarına aittir.

5226 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu ile Çeşitli Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun'da ise Koruma Yüksek Kurulunun ilke kararları çerçevesinde koruma bölge kurullarınca alınan kararlara aykırı olarak, korunması gerekli taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları ve koruma alanları ile sit alanlarında inşaat ve fizikî müdahalede bulunulamayacağı, yeniden kullanıma açılmayacağı veya kullanımının değiştirilemeyeceği belirtilmiştir. Esaslı onarım, inşaat, tesisat, sondaj, kısmen veya tamamen yıkma, yakma, kazı veya benzeri işler inşaat ve fizikî müdahale olarak sayılmaktadır (Resmi Gazete, 14.04.2004).

Tarihi Sitler, Koruma ve Kullanma Koşullarına ilişkin 271 sayılı ilke kararında tarihi sit alanlarında zorunlu altyapı uygulamaları ve kamu hizmet yapıları

dışında, bitki örtüsünü, topografik yapıyı, silüet etkisini bozabilecek, tahribata yönelik hiçbir inşai ve fiziki uygulamada bulunulamayacağına ilişkin açık hüküm bulunmaktadır (Resmi Gazete, 18.02.2014/28917).

Arkeolojik Sitler, Koruma ve Kullanma Koşullarına ilişkin 658 sayılı ilke kararı 1. ve 2. Derece arkeolojik sit alanlarında yapılaşmaya izin verilmeyeceği, 3. Derece arkeolojik sit alanlarında kamu yararına ve ülke enerji üretimine sağlayacağı fayda doğrultusunda bu alanlarda koruma kurulunun uygun görmesi durumunda güneş enerji santrali yapılabileceğine dair açık hükümler bulunmaktadır (Kültür Bakanlığı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu, Karar No. ve Tarihi 05.11.1999).

Kentsel Arkeolojik Sit Alanları Koruma ve Kullanma Koşulları- 702 nolu İlke Kararı (736 sayılı ilke kararı ile değişmiştir). Geçiş dönemi koruma esasları ve kullanma şartları bulunmayan kentsel sit alanlarında, her ne surette olursa olsun yeni yapı veya imar uygulaması yapılamayacağına; koruma amaçlı imar planı onaylanmış kentsel sit alanlarında, tescilli taşınmaz kültür varlığı parseline komşu olan veya aralarından yol geçse dahi bu parsellere cephe veren parsellerdeki her türlü inşai ve fiziki uygulama ile yeni yapılanma için koruma bölge kurulundan izin alınmasına dair hükümler yer almaktadır (Resmi Gazete; 27.10.2006/26329).

Doğal Sitler, Koruma ve Kullanma Koşulları - 740 Sayılı ilke kararında; I. Derece Doğal (Tabii) Sit alanlarında; bitki örtüsü, topografya, silüet etkisini bozabilecek, tahribata yönelik hiçbir eylemde bulunulamayacağına; kesin yapı yasağı olmakla birlikte, resmi ve özel kuruluşlarca zorunlu olan alanlarda, teknik altyapı hizmetleri (kanalizasyon, açık otopark, tesisiyej, teleferik, içme suyu, enerji nakil hattı, telefon hattı, doğalgaz hattı, GSM baz istasyonu ve benzeri) uygulamalarının koruma bölge kurulunun uygun göreceği şekliyle yapılabileceğine dair; II. Derece Doğal (Tabii) Sit alanlarında; turizm yatırım ve turizm işletme belgeli turistik tesisler ile hizmete yönelik yapılar dışında herhangi bir yapılaşmaya gidilemeyeceğine, III. Derece Doğal (Tabii) Sit alanlarında ise kullanıma açılacak bölgelerde geçici dönem yapılanma koşullarının ilgili kurumların görüşleri alınarak koruma kurullarınca belirlenmesine, bu belirlemede varsa 1 /25.000 ölçekli çevre düzeni planı veya 1/5.000 ölçekli nazım planı kararları ile arazinin topografya, peyzaj, silüet vb. karakteristiklerinin göz önünde tutulmasına, ancak hazırlanacak Koruma

Amaçlı İmar Planı ölçütlerini etkileyebilecek nitelik ve yoğunluktaki uygulamalara koruma amaçlı imar planı yaptırılmadan izin verilemeyeceğine dair şartlar yer almaktadır. Bu şartlar, güneş enerji santrallerinin kurulması ve işletilmesini kısıtlamaktadır (Resmi Gazete, 19.06.2007).

3.4.11. Kıyı Kanunu

3621 Sayılı Kıyı Kanunu güneş enerji santrallerinin yer seçini etkileyen bir başka kanundur. Bu Yönetmeliğin amacı;

Deniz, tabii ve suni göller ve akarsularda kıyı kenar çizgisinin tespiti, kıyıların kullanılması ve korunması ile kıyılarda, doldurma ve kurutma yoluyla kazanılan alanlarda, deniz ve göllerin kıyılarının devamı niteliğinde olan sahil şeritlerinde planlama ve uygulama esaslarını belirlemektir (Resmi Gazete, 17.04.1990/20495).

2018 yılında yapılan düzenlemeyle kıyıda imar planı kararı ile elektrik iletim hatlarının kurulumuna izin verilmektedir (Ek: 29/11/2018-7153/18 md.).

Denizlerde imar planı kararı ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca yenilenebilir enerji kaynak alanı olarak ilan edilen alanlarda yenilenebilir enerji üretim santralleri yapılmasına izin verilmektedir (Ek fıkra: 29/11/2018-7153/18 md.).

Doldurma ve kurutma yoluyla arazi kazanma ve bu araziler üzerinde yapılabilecek yapılar için ise doldurma ve kurutma işlemleri yürürlükteki mevzuat hükümlerine göre yapılmaktadır ve bu arazilerin devletin hüküm ve tasarrufu altında olduğuna ve özel mülkiyet konusu olamayacağına dair hükümler yer almaktadır (Değişik fıkra: 18/6/2017–7033/34 md.).

Sahil şeridinde yapılabilecek yapılarda ise kıyı kenar çizgisinden itibaren kara yönünde yatay olarak en az 100 metre genişliğindeki alanda hiçbir yapı ve tesisin yapılmasına izin verilmemektedir (Resmi Gazete, 17.04.1990/20495).

3.4.12. Askeri Yasak Bölgeler ve Güvenlik Bölgeleri Kanunu

Güneş enerji santrallerinin yer seçimini etkileyen bir diğer kanun da 2565 Sayılı Askeri Yasak Bölgeler ve Güvenlik Bölgeleri Kanunu'dur. Kanun hükümlerine göre 1. ve 2. Derece hava, kara ve deniz askeri yasak bölgelerinde ve askeri güvenlik bölgelerinde güneş enerji santrallerinin kurulmasına ve işletilmesine izin verilmemektedir (Resmi Gazete, 22.12.1981/17552).

3.4.13. Sivil Havacılık Kanunu

2920 Sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu güneş enerji santrallerinin yer seçimini etkileyen hükümler içermektedir.

Havaalanlarının ve ilgili tesis ve teçhizatın çevresinde, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğüne belirlenecek esaslar içinde ve saptanacak bir alan dahilinde izin alınmadıkça hava trafiği, uçuş güvenliği ve haberleşmeyi engelleyecek, seyrüseferi ve meydan güvenliğini tehlikeye düşürecek nitelikte ve yükseklikte bina, yapı, inşaat yapılması, ağaç ve direk dikilmesi, tesis kurulması

yasaklanmıştır (Resmi Gazete, 03.08.1990/ 20594).

Kanun kapsamında havaalanlarının ilk 3000 metrelik koruma bölgesinde herhangi bir yapı ve tesise izin verilmemektedir. 3000 metre dışında yapılacak yapı ve tesislere ilişkin kurallar ise Genel Müdürlüğün hazırladığı mânia planlarında belirlenmektedir (Resmi Gazete, 23.08.2013/28744).

4. BÖLÜM

KARABÜK İLİ GÜNEŞ SANTRALİ KURULACAK ALANLARIN ÇOK KRİTERLİ KARAR ANALİZİ – ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

4.1. Çalışma Alanı

Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan ve yüzölçümü 4.140 km² olan Karabük ili; 40° 57' ve 41° 34' kuzey enlemleriyle 32° 04' ve 33° 06' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Batısında en uzak komşusu Zonguldak (170 kilometre) yer alırken, doğu ve kuzeydoğu yönünde Kastamonu (120 kilometre) yer alır. Güneydoğusunda Çankırı (195 kilometre) ili, güneybatısında ise Köroğlu diyarı Bolu (130 kilometre) yer almaktadır. Karabük'ün en yakın komşusu ise kuzeyinde yer alan Bartın (80 kilometre) ilidir (Sevimler, 2017).

Karabük ilinde Aktif olan 3 tane güneş enerjisi santrali bulunmaktadır. 2017 yılında devreye giren Enerjisa Elektrik Firması tarafından Eskipazar ilçesinin Bölükören köyünde kurulan Enerjisa Karabük Enerji Santrali, 7 MW'lık kurulu gücü ile 3444 kişinin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Yıllık enerji üretim kapasitesi 11.1 GWh 'tır (Fotoğraf 9). Diğer aktif santraller ise 2017 yılında Safranbolu ilçesi Kuzyakaköseler köyünde kurulan Tema Trend Gayrimenkul Firması tarafından kurulan Tema Trend Gayrimenkul Güneş Enerjisi Santrali'dir. Burada üretilen toplam enerji 2 MW'tır. Mevsime göre değişen güneş radyasyonunun etkisine bağlı olarak yıllık ortalama elektrik üretimi yaklaşık olarak 1.600 MW/s'tır. Üretilen elektrik kullanılmadan Enerjisa 'ya satılmaktadır (Fotoğraf 10). Ayrıca özel bir şirkete ait olan alışveriş merkezinin çatısında 12 bin m² alana Tema Trend Gayrimenkul Firması tarafından kurulan panellerden 150 bin kWh elektrik üretilmekte ve 50 bin kWh 'tı iç tüketimde kullanılmaktadır. Yıllık enerji üretim kapasitesi 1 milyon KWh 'tır (Fotoğraf 11). Üçüncü güneş enerjisi santrali ise Safranbolu ilçesinin Sine köyünde iki ayrı özel şirket tarafından birbirine yakın konumda bulunan santrallerdir. Buradan üretilen toplam enerji ise 2 MW'tır (Fotoğraf 12).



Fotoğraf 9: Enerjisa Karabük Enerji Santralinin Farklı Bir Açıdan Görünümü.



Fotoğraf 10: Safranbolu ilçesi Kuzyakaköseler Köyünde Kurulan Güneş Enerjisi Santrali.



Fotoğraf 11: Özel Bir Şirkete Ait Olan Alışveriş Merkezinin Çatısına Kurulmuş Güneş Enerjisi Panelleri ⁷⁰.



Fotoğraf 12: Safranbolu ilçesi Sine Köyünde Kurulan Güneş Enerjisi Santrali.

⁷⁰<https://www.facebook.com/646061445429756/posts/1309691582400069/sayfasından>
08.05.2020 tarihinde erişildi.

Ayrıca Karabük üniversitesi bünyesinde üniversitenin çatı ve yan yüzeylerinde 10 m2 alana PV sistemi kurularak 1 MW kurulu gücü ile kendi elektriğini kendi üretmektedir. Bu uygulama Karabük Üniversitesi, Türkiye’de en çevreci 5 üniversitesi ile Uluslararası alanda en çevreci ve yeşil kampüslü 1000 üniversitesi arasında yer almıştır (Fotoğraf 13; Fotoğraf 14; Fotoğraf 15).



Fotoğraf 13: Karabük Üniversitesi Güneş Enerjisi Sistemlerinin Yakından Görüntüsü ⁷¹.



Fotoğraf 14: Karabük Üniversitesi Güneş Enerjisi Sistemlerinin Uzaktan Görüntüsü ⁷².

⁷¹ Karabük Üniversitesi, Basın, Yayın ve Halkla İlişkiler Koordinatörlüğü.

⁷² Karabük Üniversitesi, Basın, Yayın ve Halkla İlişkiler Koordinatörlüğü.



Fotoğraf 15: Güneş Enerjisi Panellerinden Üretilen Elektrğin Üniversitenin Aydınlatılmasında Kullanılması ⁷³.

4.2. GES Alanlarının Yer Seçimine Etki Eden Faktörler

Güneş enerjisi santrallerinin kurulacağı yerlerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler kadar kullanılacak ölçütlerinde önemli bir rolü vardır. Bu ölçütler doğru seçildiği takdirde elde edilecek harita ile mevcut durum daha iyi yansıtılabilecektir.

Kullanılan ölçütler; güneşlenme potansiyeli, bakı, eğim, toprak sınıfları, arazi kullanım durumu, deprem fay hattı, heyelan risk durumu, trafo merkezleri, karayolu ve demiryolu ağı, akarsular, göletler, su kapanları, yerleşim alanlarıdır. Karabük'te kuş göç yolu olmadığı için bu ölçüt değerlendirilmemiştir. Bu parametreler gerekli literatür incelemesi yapılarak belirlenmiştir.

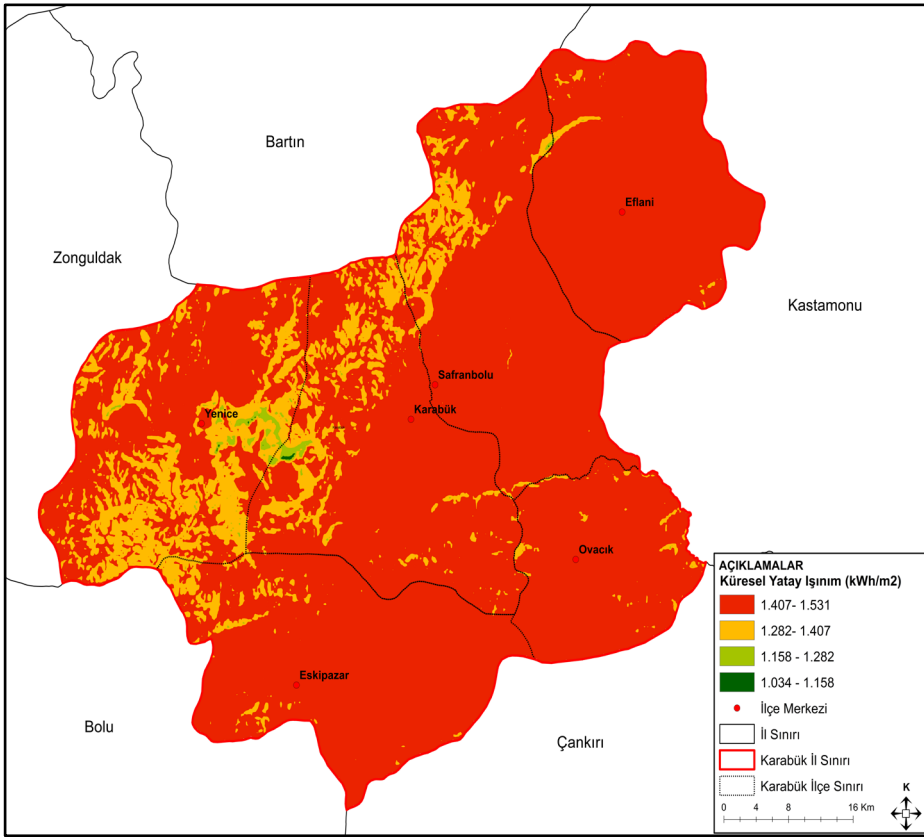
4.2.1. Güneşlenme Potansiyeli

Güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin verimliliği için en önemli ölçüt o bölgeye düşen güneş ışıdır. Çalışmada PV sistemleri için yıllık küresel yatay ışıdır (GHI) verisi kullanılmıştır. GHI, yukarıdan zemine yatay bir yüzeyle alınan toplam kısa dalga boylu radyasyonun miktarıdır. Bu değer

⁷³ Karabük Üniversitesi, Basın, Yayın ve Halkla İlişkiler Koordinatörlüğü.

özellikle fotovoltaik tesisler için önemlidir ve hem doğrudan normal ışıınım (DNI) hem de yaygın yatay ışıınım⁰ (DIF) içermektedir. DNI, gökyüzünde mevcut konumundaki güneş yönünden düz bir çizgide gelen güneş ışıınımıdır. DIF ise atmosferdeki moleküller ve parçacıklar tarafından dağılmış ve her yönden eşit olarak gelen güneş ışıınımıdır.

Çalışma alanına ait küresel yatay ışıınım katmanını yeniden sınıflandırılarak (reclassify), 9 (en uygun) ve 1 (en az uygun) olarak değerlendirilmiştir (Harita 3; Şekil 24; Harita 4; Tablo 23).

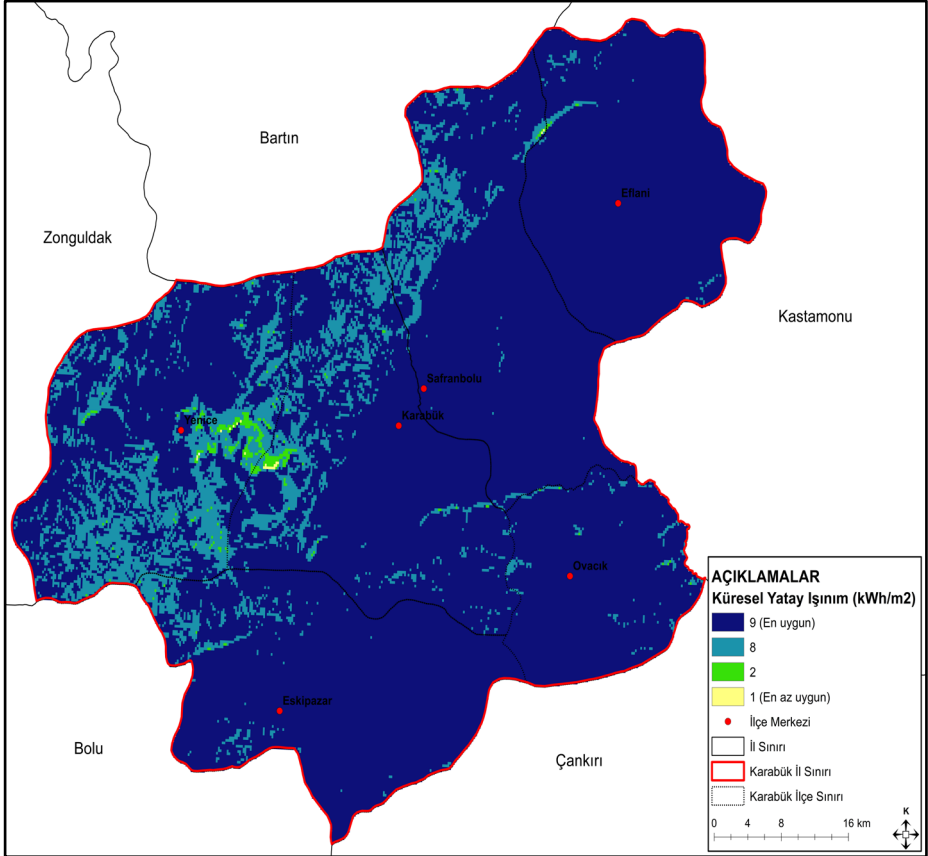


Harita 3: Karabük ili Küresel Yatay Işıınım (kWh/m²) Haritası (Kaynak: Solargis, 2020)⁷⁴.

⁷⁴ Solargis, 2020.



Şekil 24: Küresel Yatay Işınım (kWh/m²) Katmanı İçin Oluşturan Veri Modeli.



Harita 4: Küresel Yatay Işınım (kWh/m²) Katmanı İçin Yeniden Sınıflandırma Haritası.

Küresel yatay ışıınım katmanı için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0741 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 23: Küresel Yatay Işınım (kWh/m^2) Katmanı İçin Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

GHI	Değer
1531-1407	9 (En uygun)
1407.1-1282	8
1282.1-1158	2
1158.1-1034	1 (En az uygun)

Tablo 24: Küresel Yatay Işınım (kWh/m^2) için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	1531-1407	1407.1-1282	1282.1-1158	1158.1-1034
1531-1407	1			
1407.1-1282	1/2	1		
1282.1-1158	1/7	1/6	1	
1158.1-1034	1/9	1/8	1/3	1

Tablo 25: Küresel Yatay Işınım (kWh/m^2) için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,5701	0,6075	0,4883	0,4285	0,524	0,9185
2	0,285	0,3037	0,4186	0,3809	0,347	1,1425
3	0,0814	0,0506	0,0697	0,1428	0,086	1,2351
4	0,0633	0,0379	0,0232	0,0476	0,043	0,904

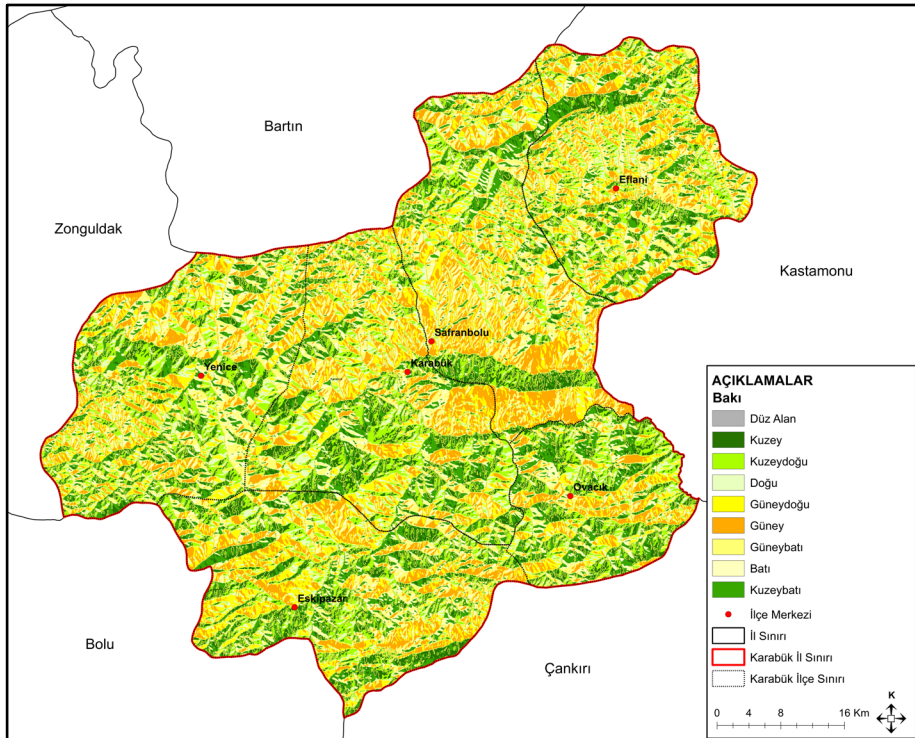
Tablo 26: Küresel Yatay Işınım (kWh/m^2) İçin CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,0667	0,9	0,0741

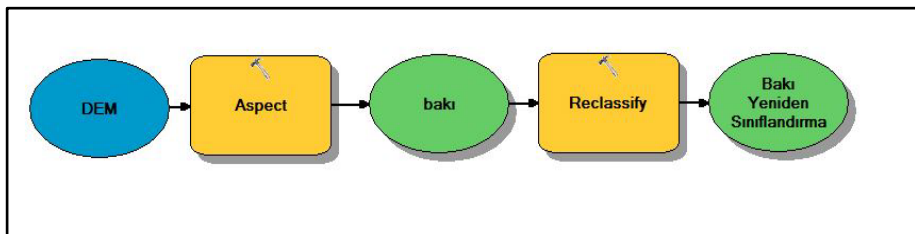
4.2.2. Bakı

Güneş enerjisi santralleri için bakı önemli bir faktördür. Santral kurulacak alanlar için doğu, batı ve güney yönleri arasında gölgelenme yapacak yükseltilerin bulunmadığı alanlar seçilmelidir. Özellikle güney ve düz alanlar yer seçimi için en uygun alanlardır. Güney yönlü araziler mevsimsel koşullara göre yüksek güneş açısı sağlamaktadır.

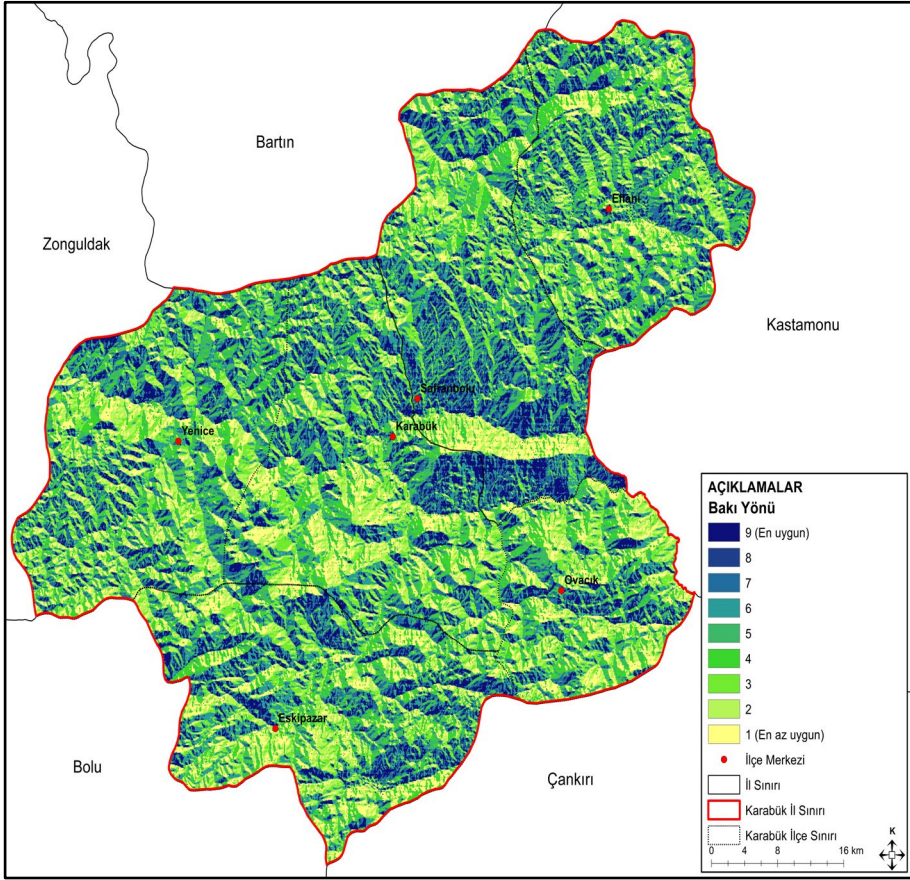
Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modelinden (DEM) üretilen bakı katmanı yeniden sınıflandırılarak (reclassify), 9 (en uygun) ve 1 (en az uygun) olarak değerlendirilmiştir (Harita 5; Şekil 25; Harita 6; Tablo 27).



Harita 5: Karabük ili Bakı Haritası



Şekil 25: Bakı Katmanı için Oluşturulan Veri Modeli.



Harita 6: Bakı Haritası için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 27: Bakı Katmanı için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Bakı Yönü	Değer
Güney	9 (en uygun)
Düz	8
Güneybatı	7
Güneydoğu	6
Batı	5
Kuzeybatı	4
Doğu	3
Kuzeydoğu	2
Kuzey	1 (en az uygun)

Bakı katmanı için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0407 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 28: Bakı Katmanı için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	Güney	Düz	Güneybatı	Güneydoğu	Batı	Kuzeybatı	Doğu	Kuzeydoğu	Kuzey
Güney									
Düz									
Güneybatı	1/2	1/2							
Güneydoğu	1/3	1/3	1/2						
Batı	1/4	1/4	1/3	1/2					
Kuzeybatı	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2				
Doğu	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2			
Kuzeydoğu	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2		
Kuzey	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Tablo 29: Bakı Katmanı için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,2699	0,2689	0,3033	0,287	0,2617	0,2371	0,2155	0,1971	0,2	0,249	0,9223
2	0,2699	0,2689	0,3033	0,287	0,2617	0,2371	0,2155	0,1971	0,1777	0,247	0,9165
3	0,1349	0,1344	0,1516	0,1913	0,1962	0,1897	0,1796	0,169	0,1555	0,167	1,1008
4	0,0899	0,0896	0,0758	0,0956	0,1308	0,1422	0,1437	0,1408	0,1333	0,116	1,2101
5	0,0674	0,0672	0,0505	0,0478	0,0654	0,0948	0,1077	0,1126	0,1111	0,081	1,2311
6	0,0539	0,0537	0,0379	0,0318	0,0327	0,0474	0,0718	0,0845	0,0888	0,056	1,1783
7	0,0449	0,0448	0,0303	0,0239	0,0218	0,0237	0,0359	0,0563	0,0666	0,039	1,0779
8	0,0385	0,0384	0,0252	0,0191	0,0163	0,0158	0,0179	0,0281	0,0444	0,027	0,963
9	0,0299	0,0336	0,0216	0,0159	0,013	0,0118	0,0119	0,014	0,0222	0,019	0,8723

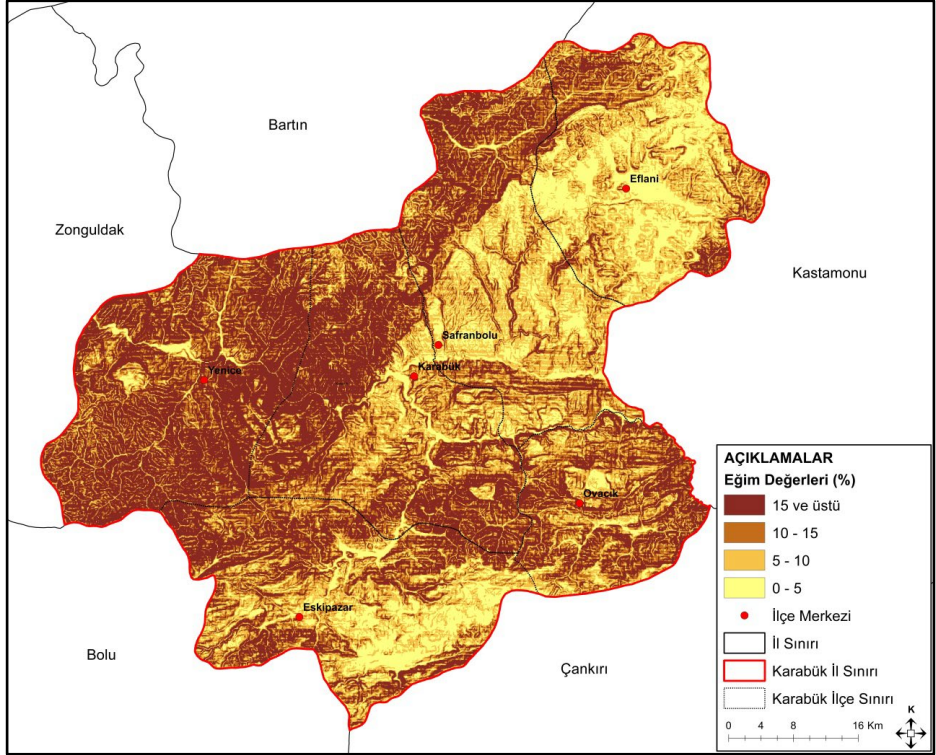
Tablo 30: Bakı Katmanı için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,059	1,45	0,0407

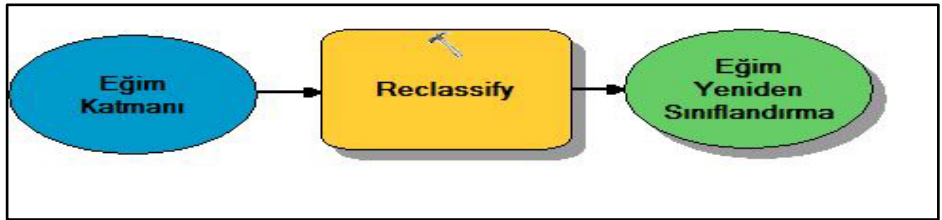
4.2.3. Eğim

Güneş enerjisi kurulacak alanların eğim açısından uygun alanların seçiminde farklı kaynaklar farklı eğim değeri öne sürmektedir Hang vd. (2008 :2510)’na göre yer seçiminde en ekonomik eğim değerinin %1 ile %3 arası olduğu, %3 üzeri eğimli arazilerin ise verimli olmadığını kabul etmektedir. Ancak, bu eğim değerlerine sahip uygun alanlar saptanmadığı takdirde Miller ve Lumby (2012:2057) ve Broesamle vd.”na göre alternatif alan olarak %5 eğimli arazilerde yer seçimi yapılabileceğini belirtmişlerdir. ABD çevre koruma ajansı %0 eğimli alanların su birikimi ve tahliye problemlerine sebep olmasından dolayı güneş enerjisi santralleri kurulumuna uygun olmadığını belirtmektedir (Obut, 2016).

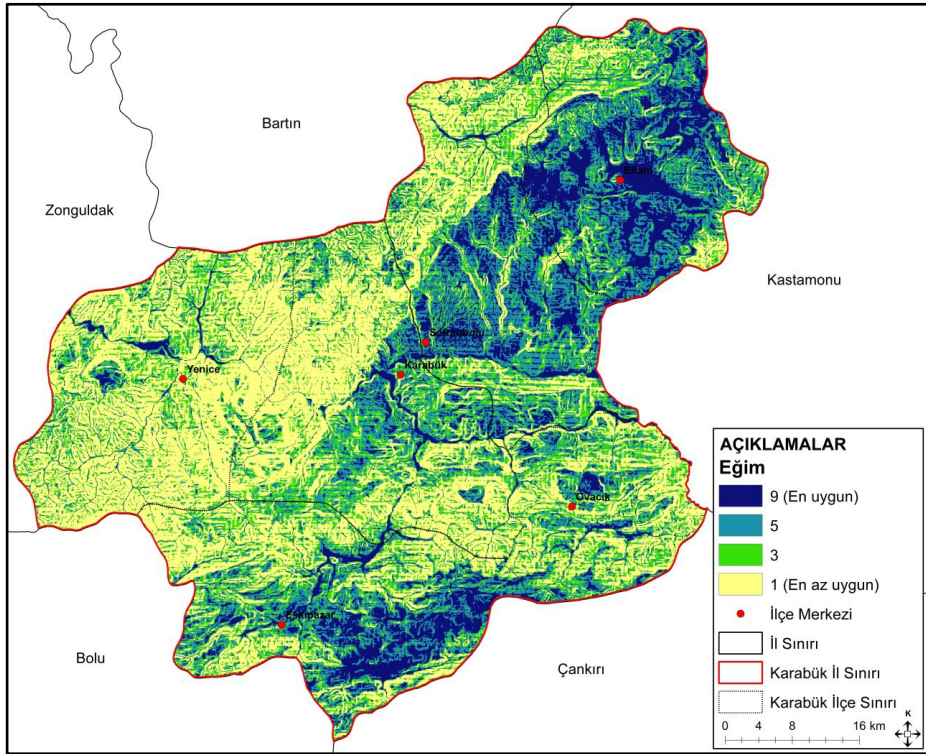
Çalışma alanına ait Sayısal Yükseklik Modelinden (DEM) üretilen eğim katmanı yeniden sınıflandırılarak (reclassify), 4 (en uygun) ve 1 (en az uygun) olarak değerlendirilmiştir (Harita 7; Şekil 26; Harita 8; Tablo 31).



Harita 7: Karabük ili Eğim Haritası.



Şekil 26: Eğim Katmanı İçin Oluşturulan Veri Modeli.



Harita 8: Eğim Haritası için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 31: Eğim için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Aralık (%)	Değer
0-5	9 (En uygun)
5-10	5
10- 15	3
15+	1 (En az uygun)

Eğim katmanı için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0509 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 32: Eğim Katmanı için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	1-5	5.1-10	10.1-15	15+
1-5	1			
5.1-10	1/3	1		
10.1-15	1/8	1/5	1	
15+	1/9	1/7	1	1

Tablo 33: Eğim Katmanı için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,6371	0,6907	0,5333	0,5	0,59	0,9264
2	0,2123	0,2302	0,3333	0,3888	0,291	1,2647
3	0,0796	0,046	0,0666	0,0555	0,062	0,9297
4	0,0707	0,032	0,0666	0,0555	0,056	1,0166

Tablo 34: Eğim katmanı için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,0458	0,9	0,0509

4.2.4. Toprak

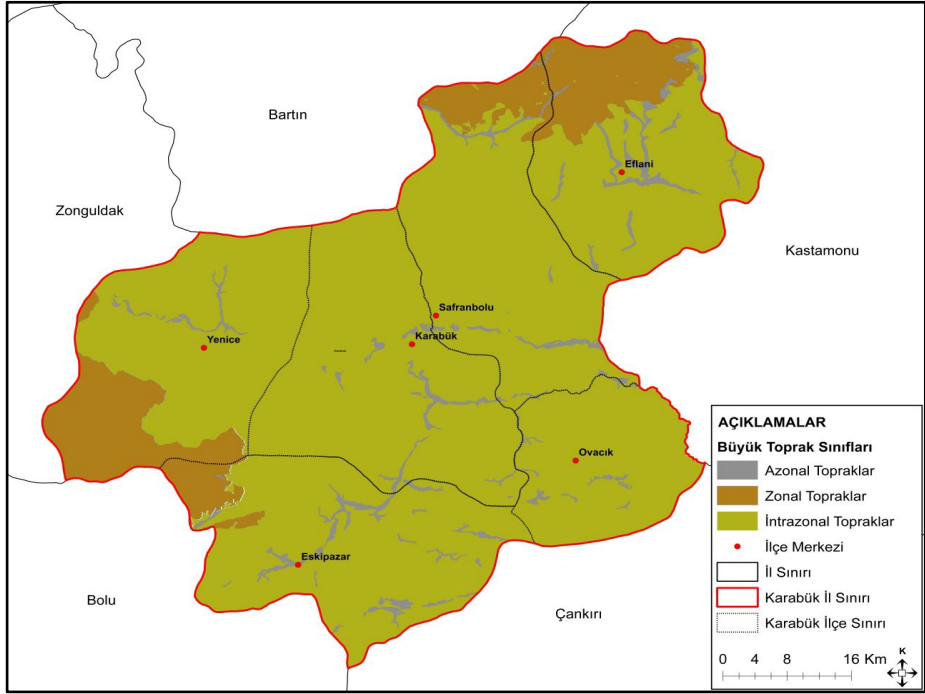
Benzer özellikler gösteren topraklar aynı kategori içinde ele alınarak azonal, zonal ve intrazonal olmak üzere üç kategori belirlenmiştir.

Azonal toprak takımına giren topraklarda, toprak oluşum süreci başlangıç aşamasında olup horizonlaşma meydana gelmemiştir. Çünkü bu topraklar eğimli yamaçlarda, devamlı taşkın alanlarında, genç alüvyal ya da volkanik satırlar üzerinde yer almaktadır ve toprak oluşum sürecinde hareketli bir süreç vardır. Oldukça genç topraklardır. B horizonu yani birikim horizonu yeterli zaman geçmediği için ve sürekli aşınmadan dolayı oluşmamaktadır. Bu topraklar toprak oluşum süreci devam ettiği için yer seçimi yapılırken tercih edilmemelidir.

Zonal toprak takımına giren toprakların oluşumunda iklim ve vejetasyon etkili olmuştur. Bu topraklar iyi gelişmiş profil özelliğine sahiptir. Santral için yer tayini yapılırken bu toprakların tercih edilmesi maliyet için olumlu bir etkiye sahip olacaktır.

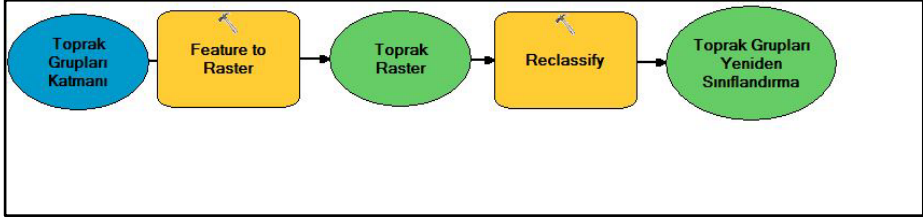
Intrazonal toprak takımına giren topraklarda, toprak oluşumu yeteri kadar ilerlememiştir. Genellikle AC horizonludur. A horizonu belirli bir erişkinliğe ulaştığından dolayı yer seçimi yapılırken tercih edilebilmektedir.

Çalışma alanına ait toprak katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) veriye dönüştürülmüştür ardından yeniden sınıflandırma yapılarak en uygun alanlar 9 (en uygun) ve 1 (en az uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 9; Şekil 27; Harita 10; Tablo 35).

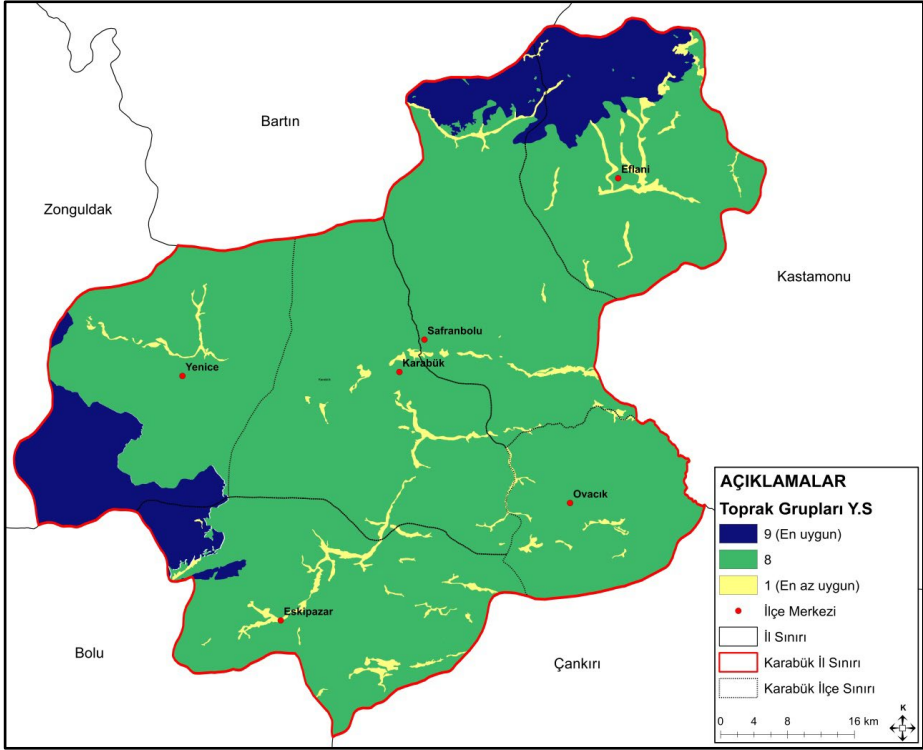


Harita 9: Karabük ili Toprak Sınıfları Haritası⁷⁵.

⁷⁵ Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı.



Şekil 27: Toprak Sınıfları Katmanı İçin Oluşturulan Veri Modeli.



Harita 10: Toprak Haritası İçin Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 35: Toprak Haritası İçin Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Toprak Sınıfları	Değer
Zonal Toprak	9
İntrazonal Toprak	8
Azonal Toprak	1

Toprak katmanı için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,045 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 36: Toprak Katmanı için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	Zonal Toprak	İntrazonal Toprak	Azonal Toprak
Zonal Toprak	1		
İntrazonal Toprak	1/2	1	
Azonal Toprak	1/9	1/8	1

Tablo 37: Toprak Katmanı için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,6206	0,64	0,5	0,587	0,9455
2	0,3103	0,32	0,4444	0,358	1,1195
3	0,0689	0,04	0,0555	0,055	0,9871

Tablo 38: Toprak katmanı için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

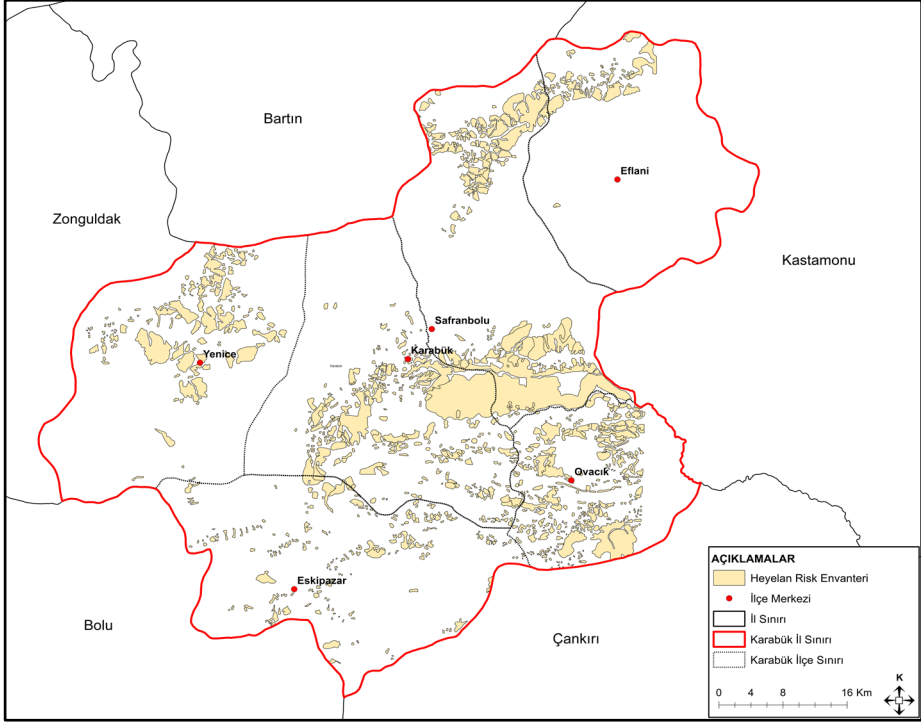
CI	RI	CI/RI
0,0261	0,58	0,045

4.2.5. Heyelan Risk Envanteri

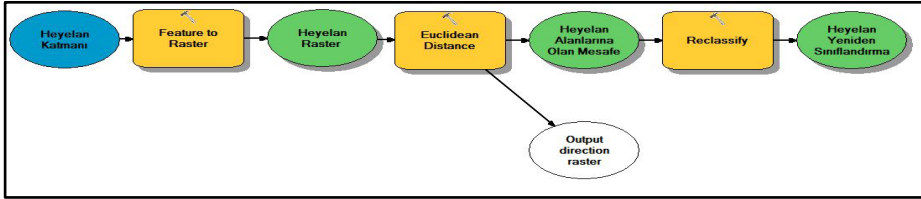
Heyelan alanları tüm mühendislik yapılarını negatif yönde etkilemektedir. Tesis kurulumu yapılmadan önce heyelan altyapısı göz önünde bulundurulmalıdır. Heyelan durumu bazı güzergah çalışmalarında (Yıldırım ve Nisanci, 2010; Eroğlu ve Aydın, 2015) kullanılmasına karşın GES yer tayini çalışmalarında kullanılmamıştır (Eroğlu,2018). Karabük ilinde kayma, akma, krip şeklinde heyelan hareket tipleri görülmektedir. Bu hareket tiplerinden herhangi birinin arazide görülmesi zarara yol açacağı için maliyeti aynı şiddette etkileyecektir. Bu yüzden bu alanlara olan uzaklık göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır.

Çalışma alanına ait heyelan katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) dönüştürülmüştür. Heyelan alanlarına olan mesafeyi hesaplamak için öklid mesafesi (euclidean distance) modülü kullanılarak mesafe katmanları belirlenmiştir. Ardından yeniden sınıflandırma yapılarak 5 (En az uygun) ve 9 (en uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 11; Şekil 28;

Harita 12; Tablo 39). Risk faktöründen dolayı heyelan bölgelerinden 1000 metre sonrası değerlendirmeye alınmıştır.



Harita 11: Karabük ili Heyelan Risk Envanter Haritası⁷⁶.



Şekil 28: Heyelan Alanlarına Yakınlık İçin Oluşturulan Veri Modeli.

⁷⁶ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Tablo 40: Heyelan Alanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	20000-15000	15000-10000	10000-5000	5000-1000
20000-15000	1			
15000-10000	1	1		
10000-5000	1/2	1/2	1	
5000-1000	1/4	1/4	1/4	1

Tablo 41: Heyelan Alanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,3636	0,3636	0,3809	0,3076	0,354	0,9734
2	0,3636	0,3636	0,3809	0,3076	0,354	0,9734
3	0,1818	0,1818	0,1904	0,3076	0,215	1,1311
4	0,0909	0,0909	0,0476	0,0769	0,077	0,9956

Tablo 42: Heyelan Alanlarına Yakınlık İçin CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,0245	0,9	0,0272

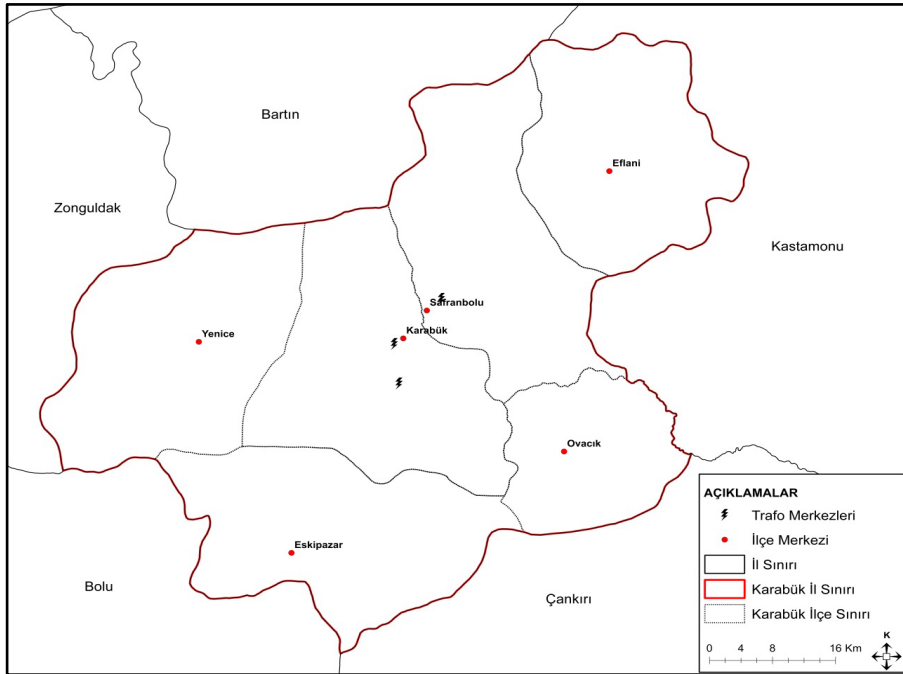
4.2.6. Trafo Alanları

Sahanın güneş potansiyeli ve diğer özellikleri çok uygun olsa dahi, sahada kurulacak bir tesisin şebekeye bağlantı olanaklarının bilinmesi, bağlantı imkanı yok ise trafo ve/veya iletim hattının yapılmasının ekonomik ve teknik olurunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Trafo bağlantı ve iletim olanakları (dengeli) elektrik enerjisi üretebilen hibrid GES tesisleri için veya gündüz saatlerinde depolanan ısı enerjisinin, güneş enerji girdisinin azaldığı saatlerde ve güneşin batımını takiben de düzenli bir şekilde elektrik üretiminde kullanabilen ısı depolu sistemlerde daha fazla önem kazanacaktır. Örneğin; 50 MW Kurulu güce sahip bir tesis dikkate alınırsa, ilgili resmi birimlerin uygunluk vermesi durumunda yatırımcı, yatırım bedelinin %1'ini geçmeyecek bir trafo ve hat yatırımını uygun görebilir. Bu durumda sahanın belirlenmesinde

mevcut trafoya bağlantı kısıtları ve mevcut iletim hatlarının zamana göre sürekli değişen kapasite kısıtları belirleyici ana faktör olmayabilmektedir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2009:122; Obut, 2016).

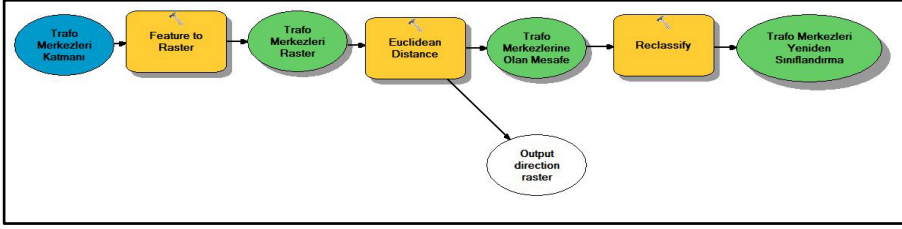
GES kurulacak alanların trafo alanına yakın olması enerji iletim masraflarını azaltarak maliyeti düşürecek ve enerji kaybını azaltarak verimliliği arttıracaktır. Karabük ilinde Trafo merkezlerinin iskan alanlarının içinde bulunması ve akarsuya yakın olması nedeniyle çalışmada trafo merkezlerinin iskan alanlarından ve akarsudan uzaklığı göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışma alanına ait trafo merkezleri katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) dönüştürülmüştür. Trafo merkezlerine olan mesafeyi hesaplamak için öklid mesafesi (euclidean distance) modülü kullanılarak mesafe katmanları belirlenmiştir. Ardından yeniden sınıflandırma yapılarak 1 (En az uygun) ve 9 (en uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 13; Şekil 29; Harita 14; Tablo 43).

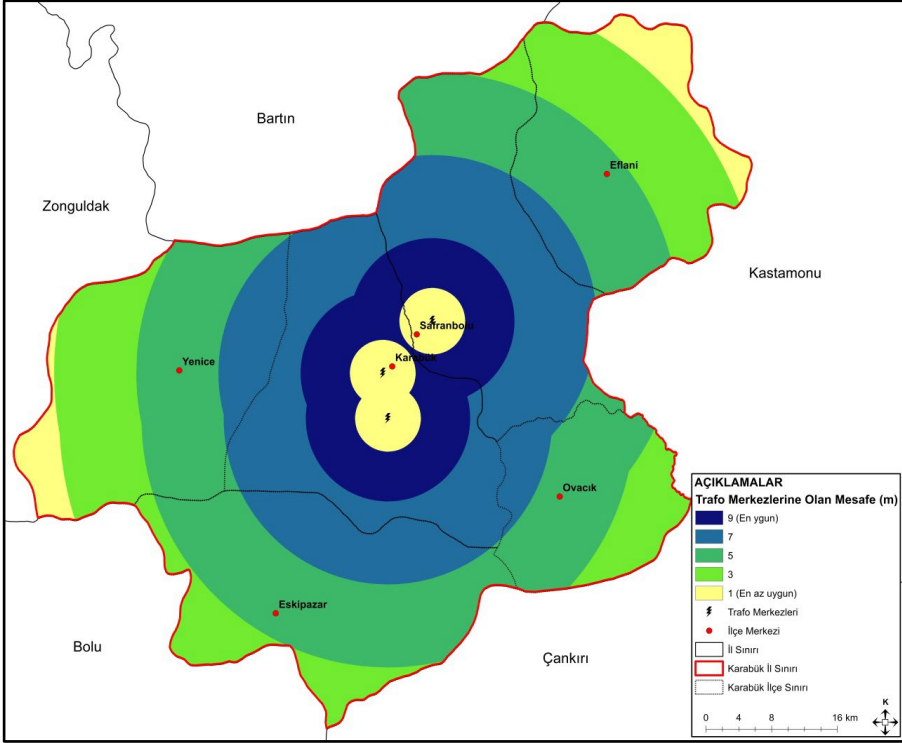


Harita 13: Karabük ili Trafo Merkezleri Haritası⁷⁷.

⁷⁷TEİAŞ.



Şekil 29: Trafo Merkezlerine Yakınlık İçin Oluşturulan Veri Modeli.



Harita 14: Trafo Merkezlerine Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 43: Trafo Haritası için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Aralık (m)	Değer
0-4000	1 (En az uygun)
4000-10000	9 (En uygun)
10000-20000	7
20000-30000	5
30000-40000	3
40000-470000	1 (En az uygun)

Trafo merkez katmanı için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0714 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 44: Trafo Merkezlerine Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	4000-10000	10000-20000	20000-30000	30000-40000	40000-47000	0-4000
4000-10000	1					
10000-20000	1/2	1				
20000-30000	1/3	1/2	1			
30000-40000	1/5	1/3	1/2	1		
40000-47000	1/9	1/9	1/9	1/5	1	
0-4000	1/9	1/9	1/9	1/9	1	1

Tablo 45: Trafo Merkezlerine Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	5	6	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,4433	0,4931	0,4462	0,442	0,2647	0,2368	0,388	0,8745
2	0,2216	0,2465	0,2975	0,2652	0,2647	0,2368	0,255	1,0358
3	0,1477	0,1232	0,1487	0,1768	0,2647	0,2368	0,183	1,2303
4	0,0886	0,0821	0,0743	0,0884	0,147	0,2368	0,12	1,3527
5	0,0492	0,0273	0,0165	0,0176	0,0294	0,0263	0,028	0,944
6	0,0492	0,0273	0,0165	0,008	0,0294	0,0263	0,026	1,0053

Tablo 46: Trafo Merkezlerine Yakınlık için CL, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,0885	1,24	0,0714

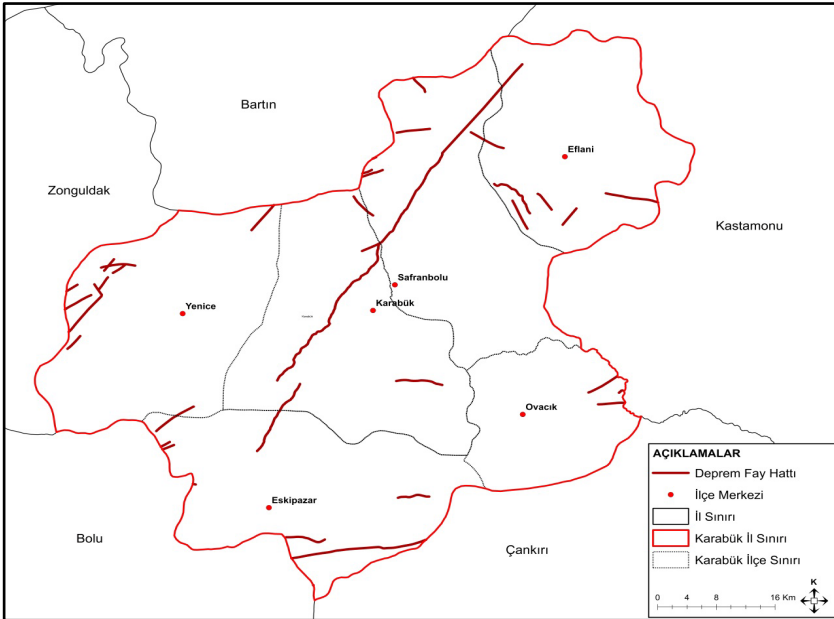
4.2.7. Enerji Nakil Hattı

Trafo merkezlerinde olduğu gibi iletim alanlarına olan yakınlık maliyet ve verimlilik üzerinde olumlu bir etkiye sahip olacaktır. Fakat güvenlik sebebiyle kurumlardan veri temin edilemediğinden dolayı bu ölçüt değerlendirilememiştir.

4.2.8. Deprem Fay Hattı

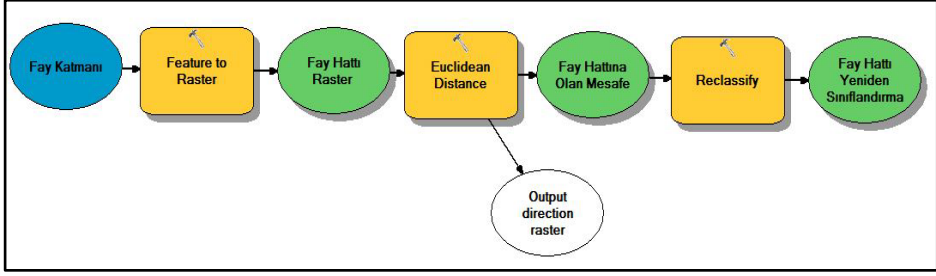
Karabük ili 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Deprem bölgeleri, sismik aktivite açısından yüksek potansiyele sahip olduğundan dolayı güneş enerji santralleri için yer tayini yapılırken fay hattına olan uzaklık göz önünde bulundurulmalıdır. Sismik aktivitenin santral üzerinde oluşturacağı yıkıcı etkiyi azaltmak için önemli bir ölçüttür.

Çalışma alanına ait fay hattı katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) dönüştürülmüştür. Deprem fay hattına olan mesafeyi hesaplamak için öklid mesafesi (euclidean distance) modülü kullanılarak mesafe katmanları belirlenmiştir. Ardından yeniden sınıflandırma yapılarak 1 (En az uygun) ve 9 (en uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 15; Şekil 30; Harita 16; Tablo 47).

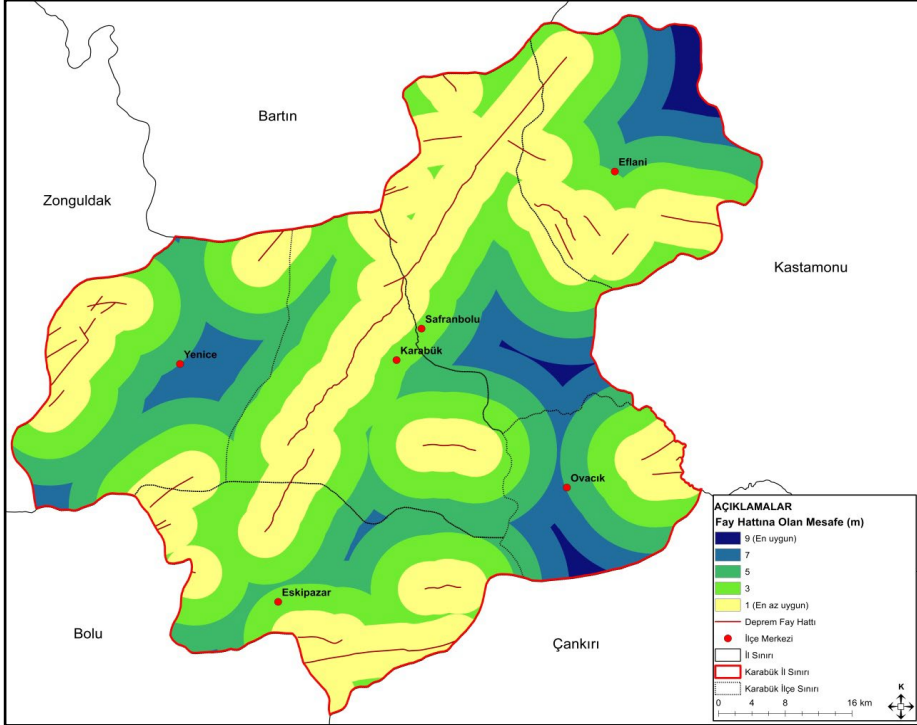


Harita 15: Karabük ili Deprem Fay Hattı Haritası⁷⁸.

⁷⁸ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü



Şekil 30: Deprem Fay Hattına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli.



Harita 16: Deprem Fay Hattına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 47: Deprem Fay Hattına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Aralık (m)	Değer
0-3257	1 (En az uygun)
3257-6515	3
6515-9772	5
9772-13030	7
13030-16288	9

Deprem fay hattı katmanı için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0685 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 48: Deprem Fay Hattına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	16288-13030	13030-9772	9772-6515	6515-3257	3257-0
16288-13030	1				
13030-9772	1/3	1			
9772-6515	1/5	1/3	1		
6515-3257	1/7	1/5	1/3	1	
3257-0	1/9	1/7	1/5	1/2	1

Tablo 49: Deprem Fay Hattına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	5	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,5595	0,6415	0,5244	0,4242	0,375	0,59	0,9025
2	0,1865	0,2138	0,3146	0,303	0,2916	2,291	1,2249
3	0,1119	0,0712	0,1048	0,1818	0,2083	0,062	1,2931
4	0,0799	0,0427	0,0349	0,0606	0,0833	0,056	0,9952
5	0,0621	0,0305	0,0209	0,0303	0,0416	0,037	0,8911

Tablo 50: Deprem Fay Hattına Yakınlık için CL, RI ve CI/RI Değerleri.

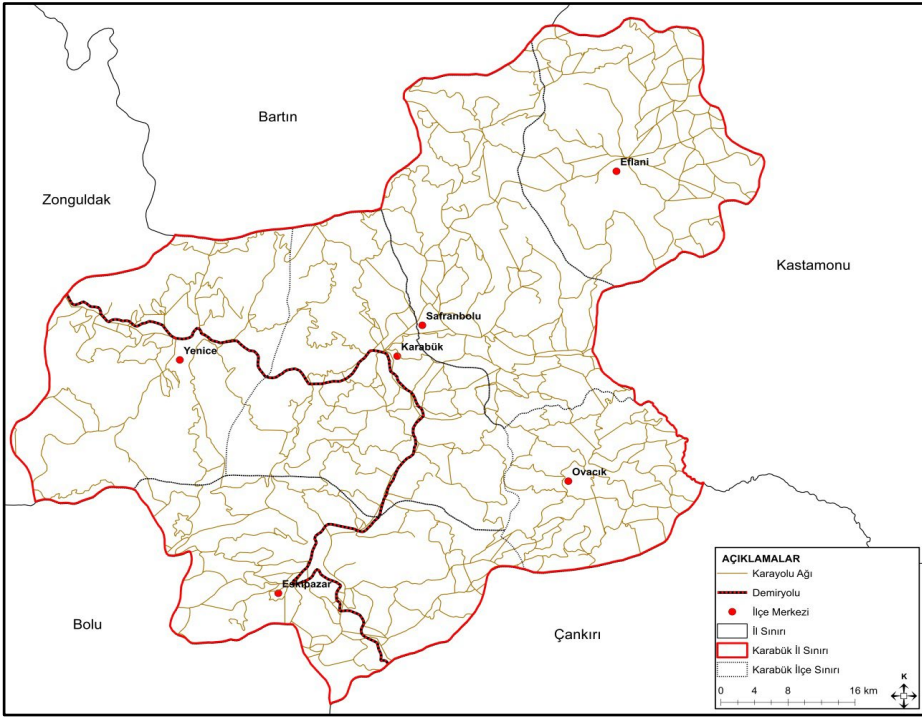
CI	RI	CI/RI
0,0767	1,12	0,0685

4.2.9. Karayolu ve Demiryolu Ağı

Güneş enerjisi santralinin verimliliği açısından inşa ve kurulum aşamasında inşaat faaliyetinin yürütülmesi ve gerekli malzemelerin ulaştırılması ve kamyon, iş makinelerinin kolayca erişebilmesi önemli bir faktördür. Ana ulaşım arterlerine yakınlık avantaj sağlamaktadır ve buralara ulaşımın tali yollar vasıtasıyla olması ve bu yolların fiziki durumlarının iyi olması önemli bir noktadır. Aksi takdirde yeni yolların yapılması ya da var olan yollarda yapılan iyileştirme maliyeti arttıracaktır. Çevre Şehircilik Bakanlığı'nın çevresel etki değerlendirmesine göre; kara ve demir yolları ile

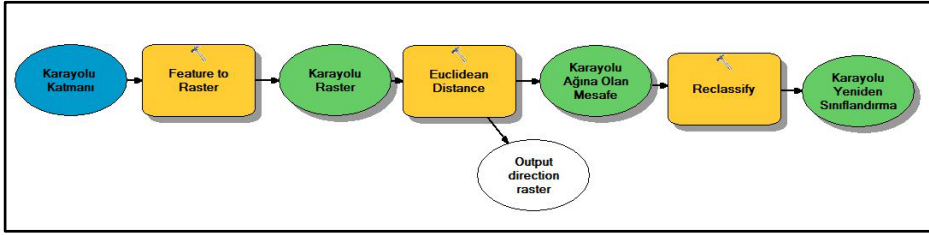
100 metre emniyet Şeridi içindeki alanların uygun olmayışı dikkate alınmalıdır (Obut, 2016).

Çalışma alanına ait karayolu katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) dönüştürülmüştür. Karayollarına olan mesafeyi hesaplamak için öklid mesafesi (euclidean distance) modülü kullanılarak mesafe katmanları belirlenmiştir. Ardından yeniden sınıflandırma yapılarak 1 (En az uygun) ve 9 (en uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 17; Şekil 31; Harita 18; Tablo 51). Mevzuat ve kısıtlamalardan dolayı karayollarından 100 metre sonrası değerlendirilmiştir.

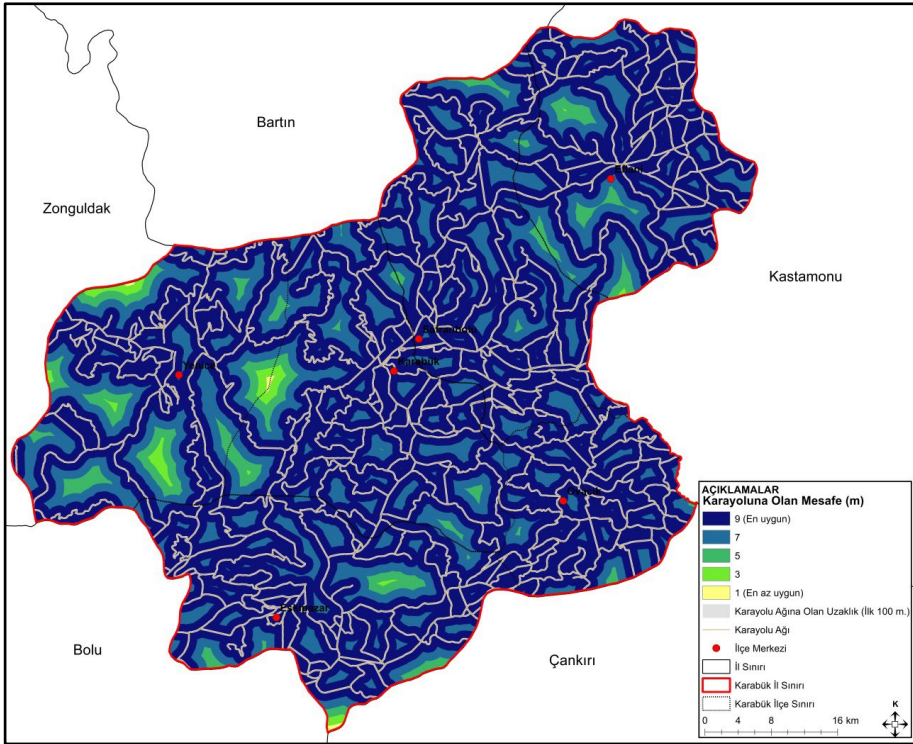


Harita 17: Karabük İli Karayolu ve Demiryolu Ağı Haritası⁷⁹.

⁷⁹ Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.



Şekil 31: Karayolu Ağına Mesafe için Oluşturulan Veri Modeli.



Harita 18: Karayolu Ağına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 51: Karayolu Ağına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Aralık (m)	Değer
0-100	NoData
100-1000	9 (En uygun)
1000-2000	7
2000-3000	5
3000-4000	3
4000-5000	1 (En az uygun)

Karayolu ağı katmanı için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0304 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 52: Karayolu Ağına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	100-1000	1000-2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000
100-1000	1				
1000-2000	1/2	1			
2000-3000	1/3	1/2	1		
3000-4000	1/5	1/4	1/4	1	
4000-5000	1/9	1/8	1/5	1/2	1

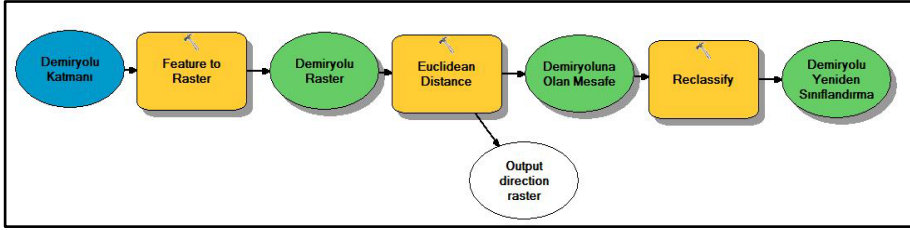
Tablo 53: Karayolu Ağına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	5	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,4663	0,5161	0,4651	0,3448	0,36	0,43	0,9231
2	0,2331	0,258	0,31	0,2758	0,32	0,279	1,0828
3	0,1554	0,129	0,155	0,2758	0,2	0,183	1,1808
4	0,0932	0,0645	0,0387	0,068	0,08	0,069	1,0019
5	0,0518	0,0322	0,031	0,0344	0,04	0,038	0,9478

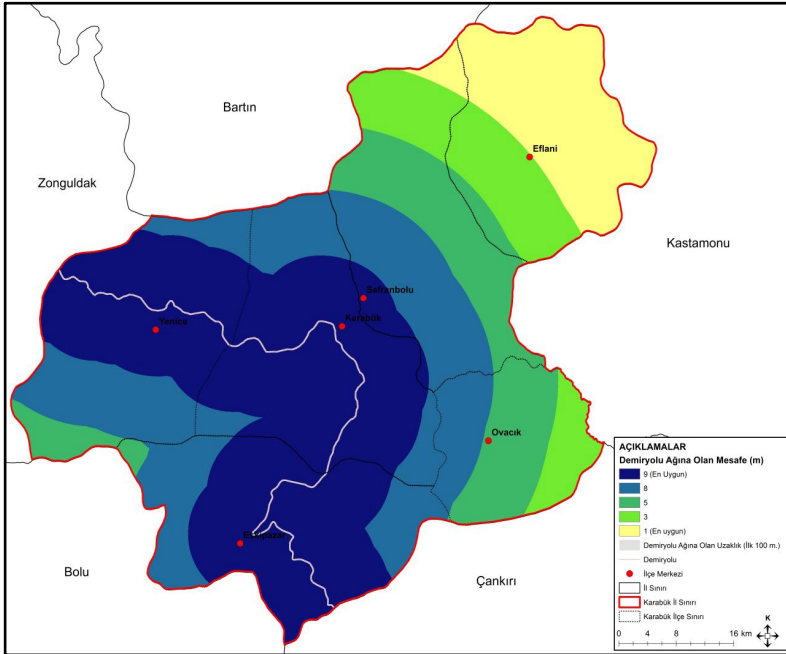
Tablo 54: Karayolu Ağına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,0341	1,12	0,0304

Çalışma alanına ait demiryolu katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) dönüştürülmüştür. Demiryollarına olan mesafeyi hesaplamak için öklid mesafesi (euclidean distance) modülü kullanılarak mesafe katmanları belirlenmiştir. Ardından yeniden sınıflandırma yapılarak 1 (En az uygun) ve (en uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 17; Şekil 32; Harita 19; Tablo 55). Mevzuat ve kısıtlamalardan dolayı demiryollarından 100 metre sonrası değerlendirilmiştir.



Şekil 32: Demiryolu Ağına Olan Mesafe için Oluşturulan Veri Modeli.



Harita 19: Demiryolu Ağına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 55: Demiryolu Ağına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Aralık (m)	Değer
0-100	NoData
100-9000	9 (En uygun)
9000-18000	8
18000-27000	5
27000-36000	3
360000+	1 (En az uygun)

Demiryolu ağı katmanı için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0315 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 56: Demiryolu Ağına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	100-9000	9000-18000	18000-27000	27000-36000	36000+
100-9000	1				
9000-18000	1/2	1			
18000-27000	1/3	1/2	1		
27000-36000	1/5	1/4	1/3	1	
36000+	1/9	1/7	1/6	1/3	1

Tablo 57: Demiryolu Ağına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	5	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,4663	0,5137	0,4615	0,375	0,3461	0,433	0,9275
2	0,2331	0,2568	0,3076	0,3	0,2692	0,273	1,0642
3	0,1554	0,1284	0,1538	0,225	0,2307	0,179	1,1615
4	0,0932	0,0642	0,0512	0,075	0,1153	0,08	1,0644
5	0,0518	0,0366	0,0256	0,025	0,0384	0,036	0,9235

Tablo 58: Demiryolu Ağına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,0353	1,12	0,0315

4.2.10. Su Alanları

Akarsu alanlarına olan yakınlık panellerin temizlenmesini kolaylaştırılarak maliyeti azaltmaktadır. İkinci bir faktör olarak nem, sis, buharlaşma, sel ve taşkın olumsuz etkileri hem verimliliği etkilemekte hem de sel ve taşkın meydana geldiğinde santrallere zarar vererek maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu alanlara kurulan santrallerin burada yaşayan flora ve faunanın da etkilenmesine sebep olacaktır. Bundan dolayı GES için yer tayini yapılırken ikinci faktör göz önünde bulundurularak sınıflandırma yapılmıştır. Ayrıca sel ve taşkın olayları, GES alanları için tehlike arz ettiği için bu alanlara uzaklık göz önünde bulundurulmuştur.

Yılın farklı zamanlarında, göllerin hacimlerinin değişiklik göstermesi sebebi ile göllerde yaşanacak taşkınların oluşturacağı olumsuz etkilere karşı alınacak güvenlik gerekçesi ve çevresel kirliliğin önlenmesi amaçlı GES'lerin göllerden en az 400 m uzaklıkta olması istenir⁸⁰. Karabük ilinde Bostancılar, Kadıköy ve Ortakçılar göletleri bulunmaktadır ve bu göletlere olan uzaklık göz önünde bulundurulmuştur (Tablo 59).

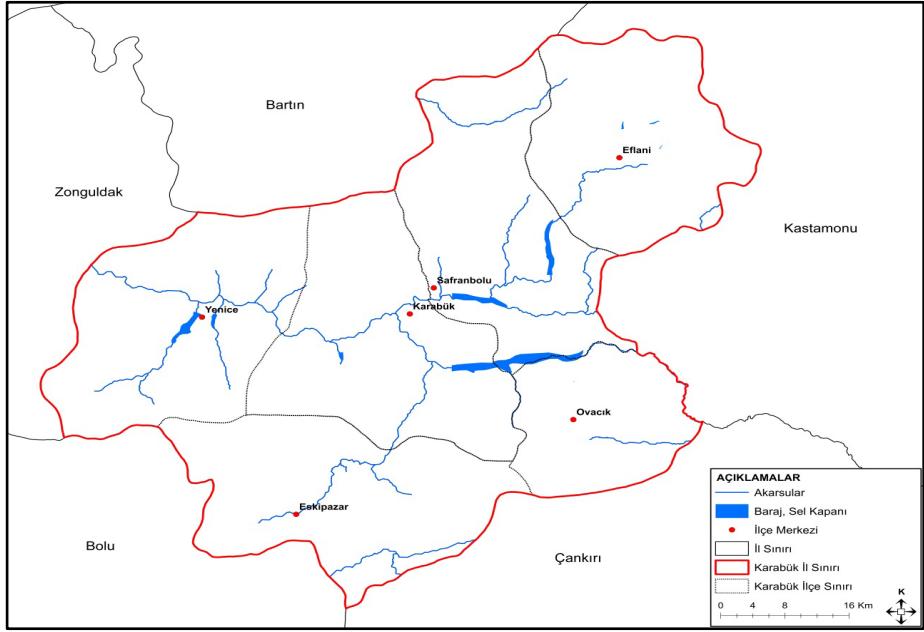
Tablo 59: Karabük İlinde Mevcut Sulama Göletleri⁸¹.

Göletin Adı	Tipi	Göl Hacmi (m ³)	Sulama Alanı, (ha)	Kullanım Amacı
Bostancılar Göleti	Toprak Dolgu	1.192,00	350	Sulama
Kadıköy Göleti	Toprak Dolgu	800	300	Sulama
Ortakçılar Göleti	Toprak Dolgu	590	150	Sulama

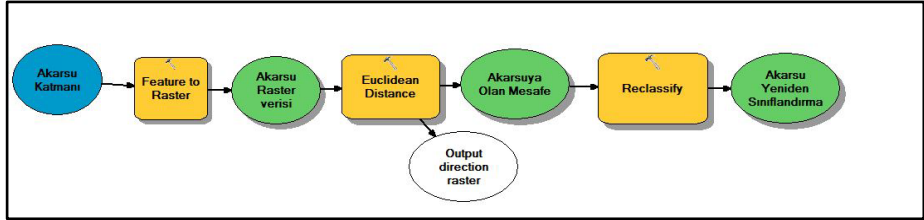
Çalışma alanına ait akarsu katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) dönüştürülmüştür. Akarsuya olan mesafeyi hesaplamak için öklid mesafesi (euclidean distance) modülü kullanılarak mesafe katmanları belirlenmiştir. Ardından yeniden sınıflandırma yapılarak 2 (En az uygun) ve 9 (en uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 20; Şekil 33; Harita 21; Tablo 60). Risk faktöründen dolayı akarsudan 1000 metre sonrası değerlendirilmiştir.

⁸⁰ Uzar, M. ve Koca, H. (2020). Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi İçin Uygunluk Haritasının Oluşturulmasında Klasik ve Bulanık Mantığa Dayalı Yöntemlerin Analizi: Menemen Örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 1-18.

⁸¹ DSI 23. Bölge Müdürlüğü, 2019; Karabük ili 2018 Yılı Çevre Durum Raporu, 2018.

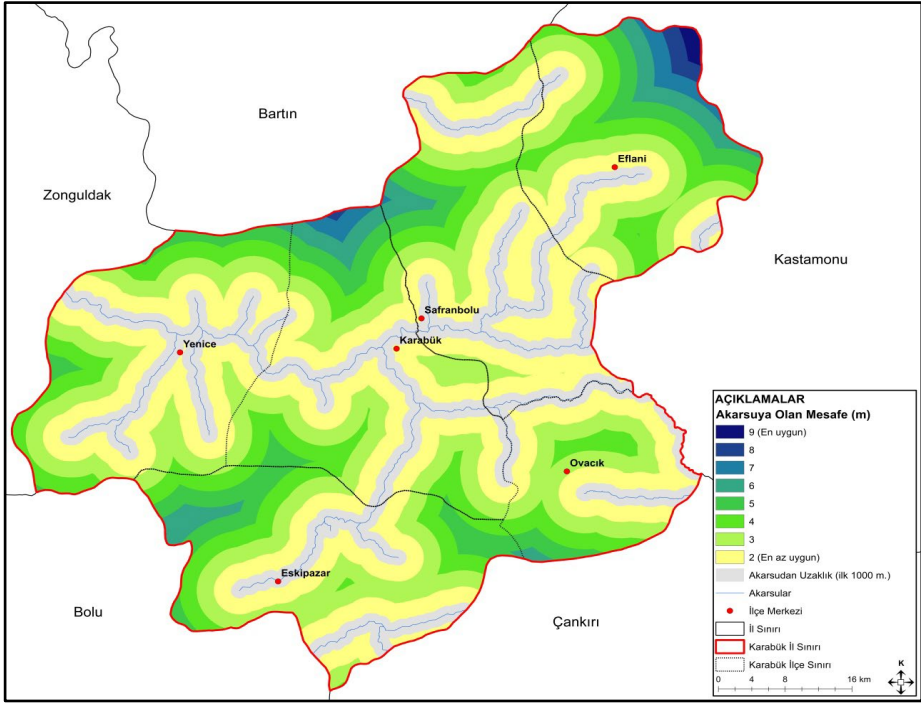


Harita 20: Karabük ili Akarsu, Gölet ve Sel Kapanı Haritası⁸².



Şekil 33: Akarsu Alanlarına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli

⁸² Göletler, Harita Genel Komutanlığı ve sel kapanları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan alınan verilerden üretilmiştir.



Harita 21: Akarsu Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 60: Akarsu Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Aralık (m)	Değer
0-1000	NoData
1000-3053	2
3053-5106	3
5106-7159	4
7159-9212	5
9212-11265	6
11265-13318	7
13318-15371	8
15371-17424	9 (En uygun)

Akarsu alanlarına yakınlık için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0428 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 61: Akarsu Alanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	17424-15371	15371-13318	13318-11265	11265-9212	9212-7159	7159-5106	5106-3053	3053-1000
17424-15371	1							
15371-13318	1/2	1						
13318-11265	1/3	1/2	1					
11265-9212	1/4	1/3	1/2	1				
9212-7159	1/5	1/4	1/3	1/2	1			
7159-5106	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1		
5106-3053	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	
3053-1000	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

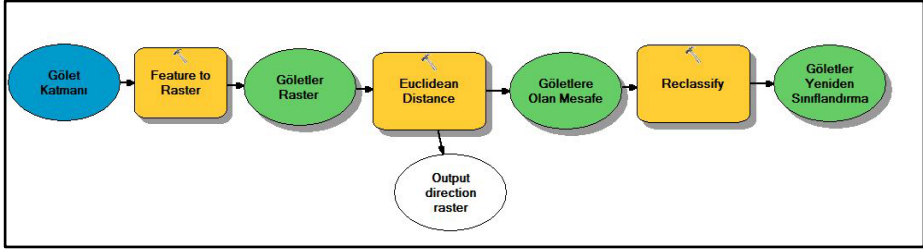
Tablo 62: Akarsu Alanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerleri.

Normalizasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	Ölçüt Ağırlığı	Toplam Ağırlıklı Değerler
1	0,3679	0,4354	0,4026	0,3545	0,3108	0,2748	0,2456	0,222	0,327	0,8881
2	0,1839	0,2177	0,2684	0,2658	0,2487	0,229	0,2105	0,1944	0,227	1,0441
3	0,1226	0,1088	0,1342	0,1772	0,1865	0,1832	0,1754	0,1666	0,157	1,1685
4	0,0919	0,0725	0,0671	0,0886	0,1243	0,1374	0,1403	0,1388	0,108	1,2147
5	0,0735	0,0544	0,0447	0,0443	0,0621	0,0916	0,1052	0,1111	0,073	1,1805
6	0,0613	0,0435	0,0335	0,0295	0,031	0,0458	0,0701	0,0833	0,05	1,0872
7	0,0525	0,0362	0,0268	0,0221	0,0207	0,0229	0,035	0,0555	0,034	0,9694
8	0,0459	0,0311	0,0223	0,0177	0,0155	0,0152	0,0175	0,0277	0,024	0,8699

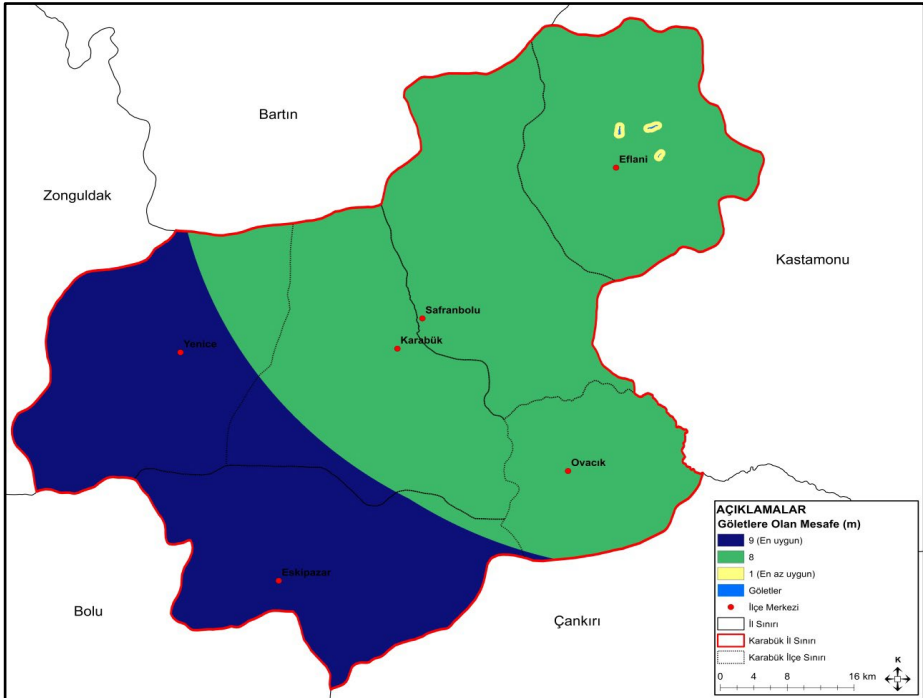
Tablo 63: Akarsu Alanlarına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,0603	1,41	0,0428

Çalışma alanına ait gölet katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) dönüştürülmüştür. Göletlere olan mesafeyi hesaplamak için öklid mesafesi (euclidean distance) modülü kullanılarak mesafe katmanları belirlenmiştir. Ardından yeniden sınıflandırma yapılarak 1 (en az uygun) ve 9 (en uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 20; Şekil 34; Harita 22; Tablo 64).



Şekil 34: Gölet Alanlarına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli



Harita 22: Gölet Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 64: Gölet Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Aralık (m)	Değer
0-500	1 (En az uygun)
500-52906	8
52906-83092	9 (En uygun)

Gölet alanlarına yakınlık için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,045 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 65: Gölet Alanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	83092-52906	52906-500	0-500
83092-52906	1		
52906-500	1/2	1	
0-500	1/9	1/8	1

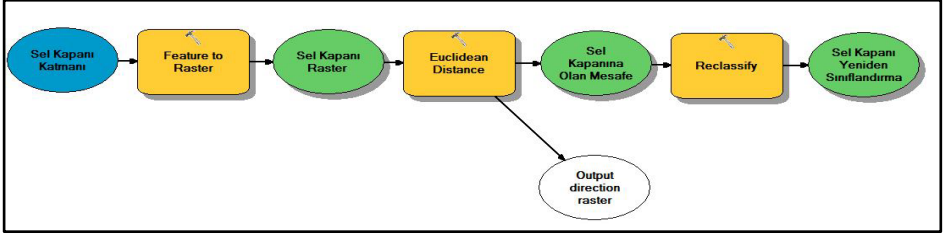
Tablo 66: Gölet Alanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Toplam Ağırlıklı Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,6206	0,64	0,5	0,587	0,9455
2	0,3103	0,32	0,4444	0,358	1,1195
3	0,0689	0,04	0,0555	0,055	0,9871

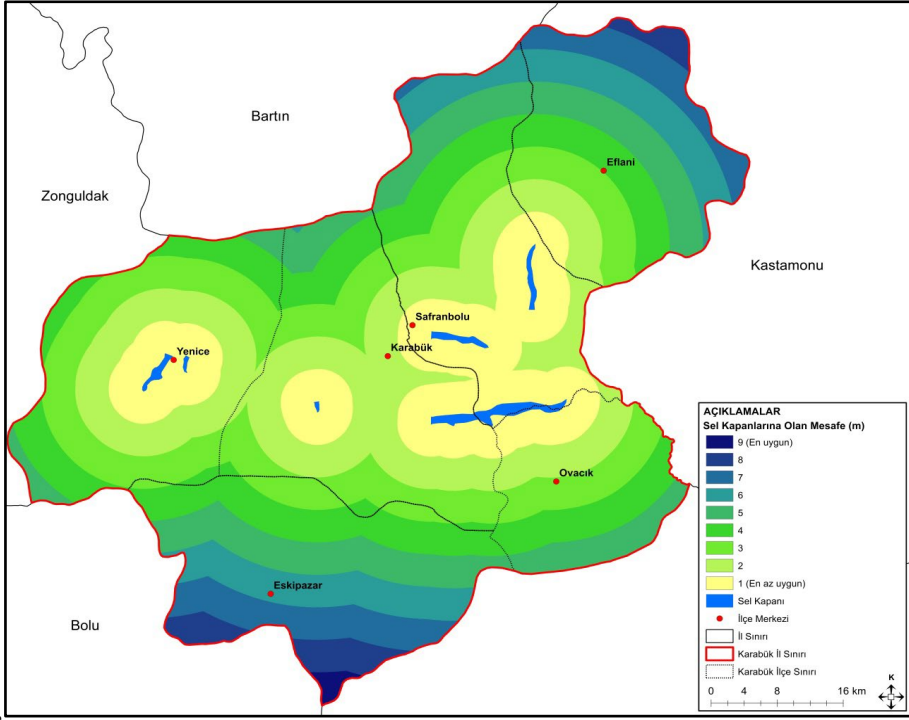
Tablo 67: Gölet Alanlarına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,0261	0,58	0,045

Çalışma alanına ait sel kapanı katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) dönüştürülmüştür. Sel kapanlarına olan mesafeyi hesaplamak için öklid mesafesi (euclidean distance) modülü kullanılarak mesafe katmanları belirlenmiştir. Ardından yeniden sınıflandırma yapılarak 1 (en az uygun) ve 9 (en uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 20; Şekil 35; Harita 23; Tablo 68).



Şekil 35: Sel Kapanlarına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli.



Harita 23: Sel Kapanı Haritası için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 68: Sel Kapanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Aralık (m)	Değer
0-4061	1 (En az uygun)
4061.1-8123	2
8123.1-12184	3
12184.1-16246	4
16246.1-20307	5
20307.1-24369	6
24369.1-28431	7
28431.1-32492	8
32492.1-36554	9 (En uygun)

Sel kapanlarına yakınlık için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,052 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 69: Sel Kapanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	32492.1-36554	28431.1-32492	24369.1-28431	20307.1-24369	16246.1-20307	12184.1-16246	8123.1-12184	4061.1-8123	0-4061
32492.1-36554									
28431.1-32492	1/2								
24369.1-28431	1/3	1/2							
20307.1-24369	1/4	1/3	1/2						
16246.1-20307	1/5	1/4	1/3	1/2					
12184.1-16246	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2				
8123.1-12184	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2			
4061.1-8123	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2		
0-4061	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	

Tablo 70: Sel Kapanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,3534	0,4239	0,3951	0,3493	0,307	0,2716	0,2427	0,2191	0,2	0,307	0,8683
2	0,1767	0,2119	0,2634	0,262	0,2456	0,2264	0,208	0,1917	0,1777	0,218	1,0294
3	0,1178	0,1059	0,1317	0,1746	0,1842	0,1811	0,1734	0,1643	0,1555	0,154	1,1717
4	0,0883	0,0706	0,0658	0,0873	0,1228	0,1358	0,1387	0,1369	0,1333	0,109	1,2466
5	0,0706	0,0529	0,0439	0,0436	0,0614	0,0905	0,104	0,1095	0,1111	0,076	1,2447
6	0,0589	0,0423	0,0329	0,0291	0,0307	0,0452	0,0693	0,0821	0,0888	0,053	1,1772
7	0,0504	0,0353	0,0263	0,0218	0,0204	0,0226	0,0346	0,0547	0,0666	0,037	1,0676
8	0,0441	0,0302	0,0219	0,0174	0,0153	0,015	0,0173	0,0273	0,0444	0,026	0,947
9	0,0392	0,0264	0,0188	0,0145	0,0122	0,0113	0,0115	0,0136	0,0222	0,019	0,8511

Tablo 71: Sel Kapanlarına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

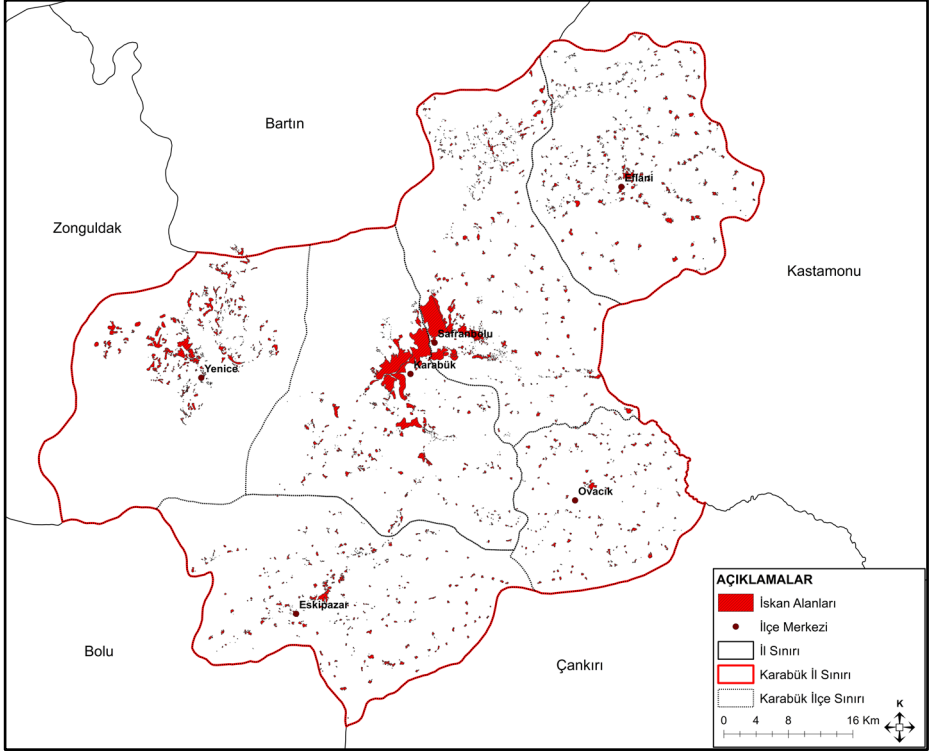
CI	RI	CI/RI
0,0755	1,45	0,052

4.2.11. İskan Alanları

İskan alanları insan faaliyetleri açısından aktiftir ve insan faaliyetleri neticesinde oluşan hava kirliliği modüllerin daha çabuk kirlenmesine sebep olarak bakım ve temizleme giderlerini arttırmaktadır. Ayrıca Güneş enerji santrallerinin iskan alanlarının yakınında kurulması güvenlik, bakım, onarım ve temizlik gibi işlemler için erişimi kolaylaştıracağından iş gücü maliyetini azaltmaktadır. Bu iki etkenden dolayı güneş enerjisi kurulacak alanların iskan alanlarına ne çok yakın nede çok uzak olması gerekmektedir. Çevre Şehircilik Bakanlığı çevresel etki değerlendirmesin 'de yerleşim bölgeleri ile 500 m emniyet şeridi içindeki alanlarda güneş enerji santrali kurmak için uygun olmadığı belirtilmiştir.

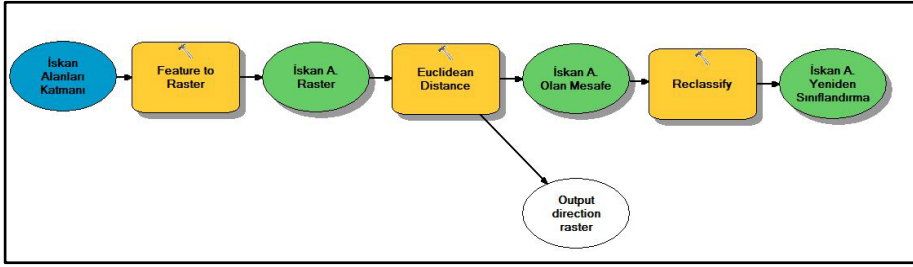
Çalışma alanına ait iskan alanları katmanı (vektör veri), raster veri kümesine (feature to raster) dönüştürülmüştür. İskan Alanlarına olan mesafeyi hesaplamak için öklid mesafesi (euclidean distance) modülü kullanılarak mesafe katmanları belirlenmiştir. Ardından yeniden sınıflandırma yapılarak 1 (En az uygun) ve 92 (en uygun) arasında değerlendirilmiştir (Harita 24; Şekil

36; Harita 25; Tablo 72). İskan alanlarından 500 metre sonrası değerlendirilmiştir.

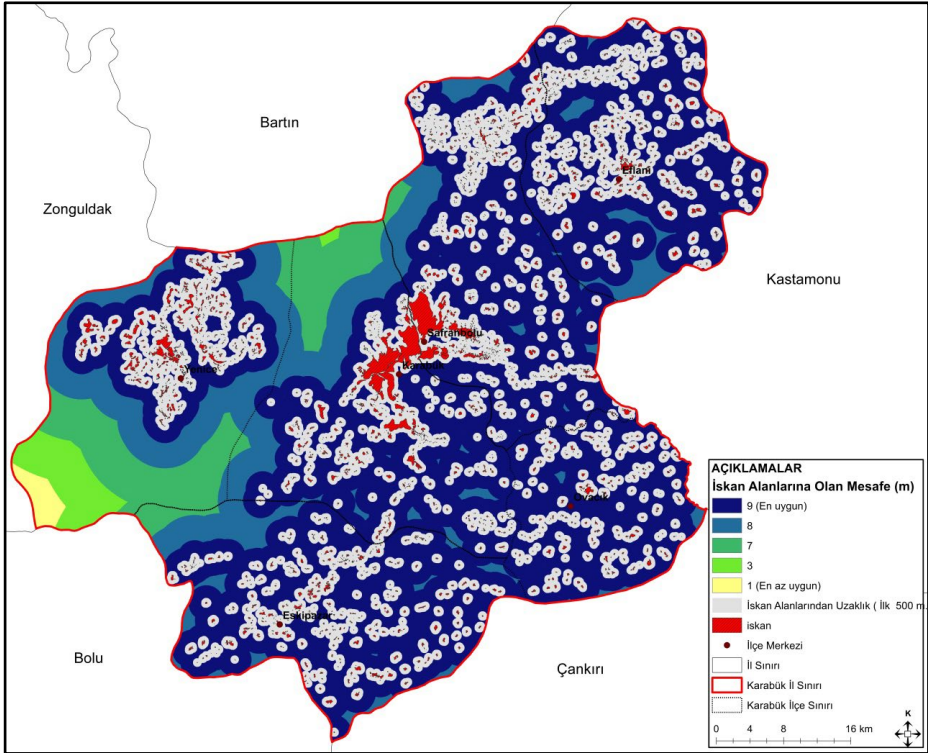


Harita 24: Karabük İli İskan Alanları Haritası⁸³.

⁸³ Google Earth.



Şekil 36: İskan Alanlarına Yakınlık için Oluşturulan Veri Modeli.



Harita 25: İskan Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Tablo 72: İskan Alanlarına Yakınlık için Yeniden Sınıflandırma Sonrası Verilen Değerler.

Aralık (m)	Değer
0-500	NoData
500-2000	9 (En uygun)
2000-5000	8
5000-10000	7
10000-15000	3
15000-18000	1 (En az uygun)

İskan alanlarına yakınlık için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0329 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir;

Tablo 73: İskân Alanlarına Yakınlık için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	500-2000	2000-5000	5000-10000	10000-15000	15000-18000
500-2000	1				
2000-5000	1/2	1			
5000-10000	1/3	1/2	1		
10000-15000	1/7	1/5	1/3	1	
15000-18000	1/9	1/7	1/5	1/3	1

Tablo 74: İskân Alanlarına Yakınlık için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

Normalizasyon	1	2	3	4	5	Ölçüt Ağırlığı	Ağırlıklı Toplam Değerler
1	0,479	0,5204	0,4591	0,4285	0,36	0,449	0,9381
2	0,2395	0,2602	0,3061	0,3061	0,28	0,278	1,0698
3	0,1596	0,1301	0,153	0,1836	0,2	0,165	1,08
4	0,0684	0,052	0,051	0,0612	0,12	0,071	1,1522
5	0,0532	0,0371	0,0306	0,0204	0,04	0,036	0,9071

Tablo 75: İskân Alanlarına Yakınlık için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,0368	1,12	0,0329

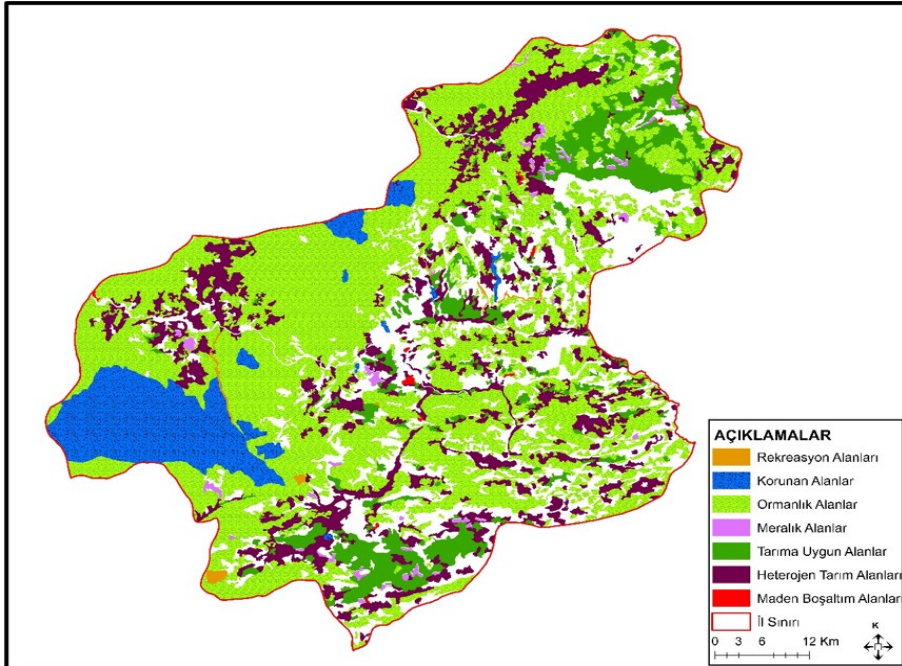
4.2.12. GES İçin Kullanılmayan Alanlar

Kültürel ve paleontolojik miras alanlarına ya da yakın çevresine GES ya da herhangi bir enerji üretim tesisinin kurulması doğru değildir. Bu gibi

santrallerin kurulum aşamasından üretim aşamasına kadar olan süreç bu alanlara olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu ölçütün değerlendirilmemesi aynı zamanda GES kurulum sürecini olumsuz etkileyecektir. Bu yüzden bu alanlara GES kurulumuna izin verilmemektedir.

Ormanlarının amacının dışında kullanılamayacağı ve sınırlarının daraltılamayacağı Orman Kanunu'nda belirtilmiştir (Bkz. Bölüm 3.1.4.4). Ayrıca Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanununda; özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri ile sulu tarım arazilerinin tarımsal üretim amacı dışında kullanılamayacağı belirtilmiştir. Bu kısıtlayacağı etkiler GES alanları için yer tayini yapılırken göz önünde bulundurulmalıdır.

1140 km² alana sahip olan çalışma alanında güneş enerjisi santrali için kullanılamayan alan 3332 km² (%80)'dir. Kullanılamayan alanları rekreasyon alanları, korunan alanlar, meralık alanlar, tarıma uygun alanlar, heterojen tarım alanları ve maden boşaltım alanları oluşturmaktadır (Harita 26). Bu alanlar arazi kullanım durumu göz önünde bulundurularak güneş enerjisinin yer seçimini etkileyen mevzuatın kısıtlayıcı faktörleri incelenerek belirlenmiştir ve geriye kalan alanın 808 km² (%20)' si değerlendirilmiştir (Tablo 79).



Harita 26: GES Kurulamayacak Alanlar Haritası⁸⁴.

4.3. Ana Ölçütler İçin Analitik Hiyerarşi Süreci

Alt ölçütler için AHS karar süreci uygulandıktan sonra ana ölçütler içinde aynı süreç uygulanmıştır. Bu süreçten sonra veriler CBS' ye işlenerek Karabük ilinde güneş enerjisi santrali kurulması için uygun olan yerlerin haritası elde edilmiştir.

Katmanlar için uygulanan AHS karar sürecinde tutarlılık oranı 0,0778 olarak belirlenmiştir. Uygulanan işlem ve sonuçları aşağıdaki gibidir (Tablo 76; Tablo 77; Tablo 78).

Tablo 76. Ana Ölçütler için İkili Karşılaştırma Matrisi.

İkili Karşılaştırma Matrisi	Güneşlenme Potansiyeli	Baki	Eğim	Trafo Merkezine Yakınlık	İskan Alanlarına Yakınlık	Karayolu Alanlarına Yakınlık	Akarsuya Yakınlık	Heyelan Alanlarına Yakınlık	Fay Hattına Yakınlık	Sel Kapanına Yakınlık	Toprak Sınıfları	Göletlere yakınlık	Demiryoluna Yakınlık
Güneşlenme Potansiyeli	1												
Baki	1	1											
Eğim	1/2	1/2	1										
Trafo Merkezine Yakınlık	1/4	1/4	1/3	1									
İskan Alanlarına Yakınlık	1/3	1/3	1/3	1/2	1								
Karayolu Alanlarına Yakınlık	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1							
Akarsuya Yakınlık	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1						
Heyelan Alanlarına Yakınlık	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1					
Fay Hattına Yakınlık	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1				
Sel Kapanına Yakınlık	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1			
Toprak Sınıfları	1/8	1/8	1/6	1/5	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1		
Göletlere Yakınlık	1/8	1/8	1/7	1/7	1/6	1/6	1/5	1/5	1/5	1/5	/5	1	
Demiryoluna Yakınlık	1/8	1/8	1/7	1/7	1/6	1/6	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1	1

⁸⁴ Corine (<https://corine.tarimorman.gov.tr/>).

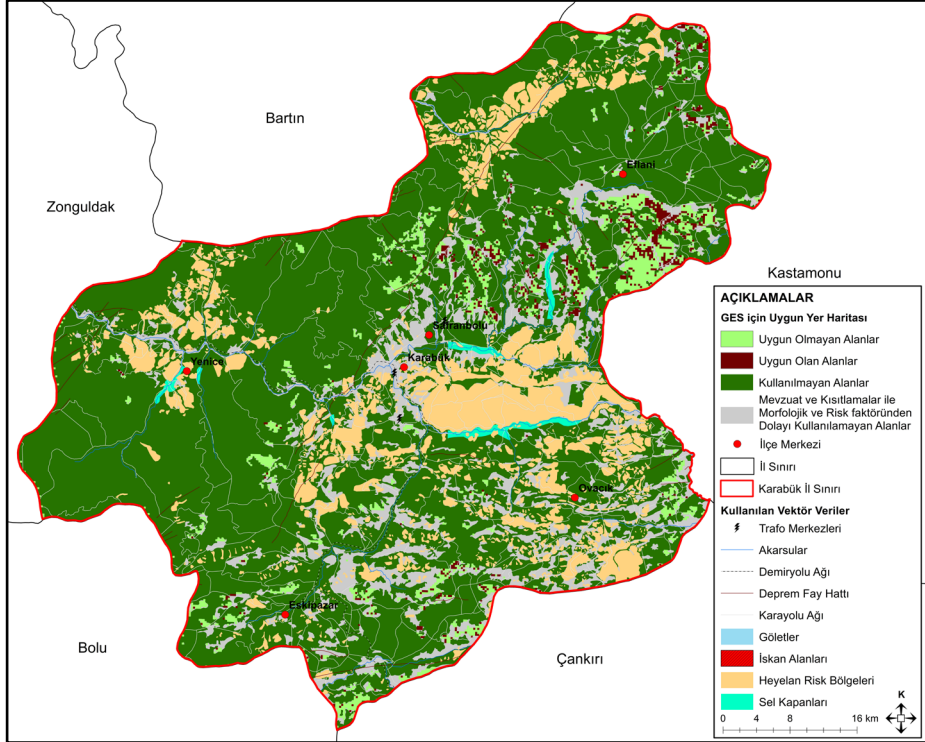
Tablo 77: Ana Ölçütler için Normalizasyon, Ölçüt Ağırlığı ve Ağırlıklı Toplam Değerler.

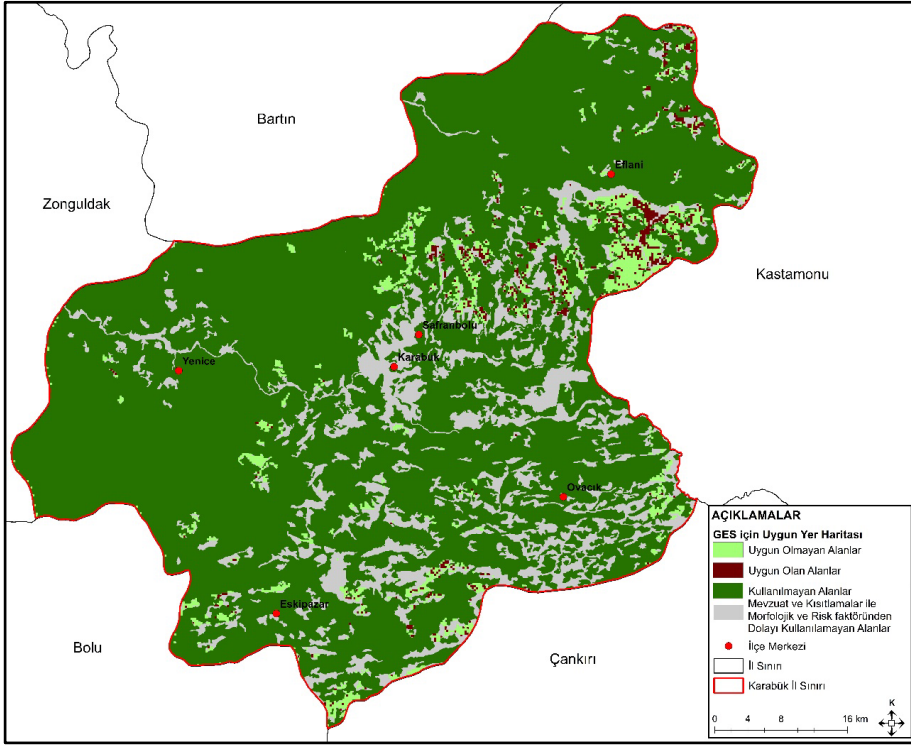
Ağırlıklı Toplam Değerler	Ölçüt Ağırlığı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,8883	0,178	0,2003	0,2003	0,2613	0,2634	0,2011	0,1875	0,1645	0,1446	0,1446	0,1446	0,1687	0,1159	0,1159
0,8883	0,178	0,2003	0,2003	0,2613	0,2634	0,2011	0,1875	0,1645	0,1446	0,1446	0,1446	0,1687	0,1159	0,1159
1,0862	0,142	0,1001	0,1001	0,1306	0,1975	0,2011	0,1875	0,1645	0,1446	0,1446	0,1446	0,1265	0,1014	0,1014
1,4469	0,095	0,05	0,05	0,0435	0,0658	0,134	0,1875	0,1096	0,0964	0,0964	0,0964	0,1054	0,1014	0,1014
1,2013	0,081	0,0667	0,0667	0,0435	0,0329	0,067	0,1125	0,1096	0,0964	0,0964	0,0964	0,0843	0,0869	0,0869
1,673	0,063	0,04	0,04	0,0261	0,0131	0,0223	0,0375	0,1096	0,0964	0,0964	0,0964	0,0632	0,0869	0,0869
1,1428	0,063	0,0667	0,0667	0,0435	0,0329	0,0335	0,0187	0,0548	0,0964	0,0964	0,0964	0,0632	0,0724	0,0724
1,0249	0,049	0,0667	0,0667	0,0435	0,0329	0,0335	0,0187	0,0274	0,0482	0,0482	0,0482	0,0632	0,0724	0,0724
1,0249	0,049	0,0667	0,0667	0,0435	0,0329	0,0335	0,0187	0,0274	0,0482	0,0482	0,0482	0,0632	0,0724	0,0724
1,0249	0,049	0,0667	0,0667	0,0435	0,0329	0,0335	0,0187	0,0274	0,0482	0,0482	0,0482	0,0632	0,0724	0,0724
1,2646	0,027	0,025	0,025	0,0217	0,0131	0,0167	0,0125	0,0182	0,016	0,016	0,016	0,021	0,0724	0,0724
0,8954	0,013	0,025	0,025	0,0186	0,0094	0,0111	0,0062	0,0109	0,0096	0,0096	0,0096	0,0042	0,0144	0,0144
0,8954	0,013	0,025	0,025	0,0186	0,0094	0,0111	0,0062	0,0109	0,0096	0,0096	0,0096	0,0042	0,0144	0,0144

Tablo 78: Ana Ölçütler için CI, RI ve CI/RI Değerleri.

CI	RI	CI/RI
0,1214	1,56	0,0778

4.4.Sonuç Haritasının (Uygun Alanlar) Üretilmesi

**Harita 27:** Karabük İli Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Yer Haritası.



Harita 28: Karabük İli Güneş Enerjisi Santrali için Uygun Yer Haritası.

4140 km² alana sahip Karabük ilinde, toplam alanın 3332 km² (%80) ‘sini kullanılmayan alanlar oluşturmaktadır. Geriye Kalan 808 km² (%20) ‘lık alan göz önünde bulundurulmuştur (Tablo 79). Değerlendirilen alanlar, mevzuat ve kısıtlamalar ile arazinin morfolojik durumu ve risk faktörü göz önünde bulundurularak kendi içinde kullanılan ve kullanılmayan alanlar olarak gruplandırılmıştır. 808 km² ile kullanılan alan içerisinde 54 km² (%7) ‘si güneş enerjisi santrali için uygun alan olarak belirlenmiştir. Arazi kullanım durumundan dolayı uygun olmayan alanlar 159 km² (%20) ile mevzuat ve kısıtlamalar ile morfolojik ve risk faktöründen dolayı kullanılmayan alanlar ise 595 km² (%73)’dir (Tablo 80).

Tablo 79: Arazinin Genel Görünümünün Alansal Olarak Dağılımı, Karabük İli.

Arazi Durumu	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Kullanılmayan Alan	3.332	80
Kullanılan Alan	808	20
Toplam	4.140	100

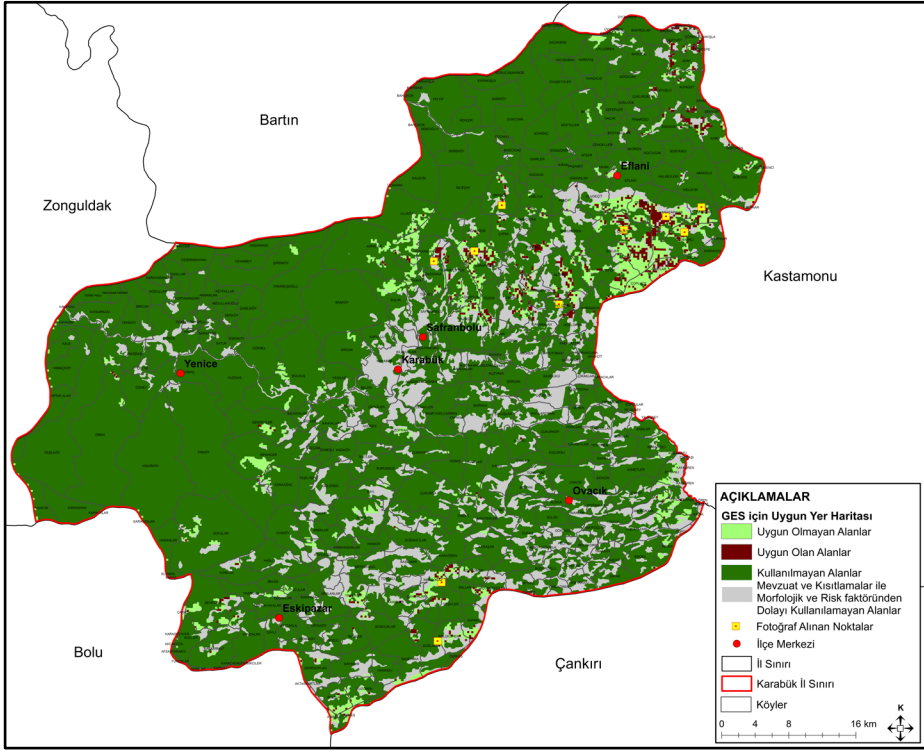
Tablo 80: Güneş Enerjisi Santrali için Arazinin Alansal Olarak Dağılımı, Karabük İli.

GES için Arazi Durumu	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Uygun Alan	54	7
Arazi Kullanımından Dolayı Uygun Olmayan Alan	159	20
Mevzuat ve Kısıtlamalar ile Morfolojik ve Risk faktöründen Dolayı Kullanılmayan Alanlar	595	73
Toplam	808	100

Eflani ilçesinde 673 km² olan toplam alanının 29 km² (%4)'sini uygun alanlar, 62 km² (%9)'sini uygun olmayan alanlar ve 582 km² (%87)'sini ise kullanılmayan alanlar oluşturmaktadır. Güneş enerjisi santrali için uygun alanlar, Eflani'nin güney, güneydoğu, kuzey ve kuzeydoğusunda bulunmaktadır. Safranbolu ilçesinde 759 km² olan toplam alanının 16 km² (%2)'sini uygun alanlar, 32 km² (%4)'sini uygun olmayan alanlar ve 702 km² (%94)'sini ise kullanılmayan alanlar oluşturmaktadır. Güneş enerjisi santrali için uygun alanlar, Safranbolu ilçe merkezinin doğu ve kuzeyinde yer almaktadır. Eskipazar ilçesinde 754 km² olan toplam alanının 7 km² (%1)'sini uygun alanlar, 34 km² (%4)'sini uygun olmayan alanlar ve 713 km² (%95)'sini ise kullanılmayan alanlar oluşturmaktadır. Güneş enerjisi santrali için uygun alanlar, Eskipazar ilçesinin batı ve doğusunda yer almaktadır. Karabük, Yenice ve Ovacık ilçelerinde güneş enerjisi santrali için uygun alanların neredeyse hiç yoktur. Bu durum arazinin morfolojisi ile yakından alakalıdır (Tablo 81).

Tablo 81: Güneş Enerjisi Santrali için Karabük ve İlçe Arazilerinin Alansal Olarak Dağılımı.

Eflani	GES için Arazi Durumu	Alan (km²)	Yüzde (%)
	Uygun Alan	29	4
	Uygun Olmayan Alan	62	9
	Kullanılamayan Alan	582	87
	Toplam	673	100
Safranbolu	GES için Arazi Durumu	Alan (km²)	Yüzde (%)
	Uygun Alan	16	2
	Uygun Olmayan Alan	32	4
	Kullanılamayan Alan	702	94
	Toplam	750	100
Eskipazar	GES için Arazi Durumu	Alan (km²)	Yüzde (%)
	Uygun Alan	7	1
	Uygun Olmayan Alan	34	4
	Kullanılamayan Alan	713	95
	Toplam	754	100
Karabük	GES için Arazi Durumu	Alan (km²)	Yüzde (%)
	Uygun Alan	1	0
	Uygun Olmayan Alan	20	3
	Kullanılamayan Alan	768	97
	Toplam	789	100
Yenice	GES için Arazi Durumu	Alan (km²)	Yüzde (%)
	Uygun Alan	0	0
	Uygun Olmayan Alan	2	0
	Kullanılamayan Alan	775	100
	Toplam	777	100
Ovacık	GES için Arazi Durumu	Alan (km²)	Yüzde (%)
	Uygun Alan	1	0
	Uygun Olmayan Alan	9	2
	Kullanılamayan Alan	387	98
	Toplam	397	100



Harita 29: Fotoğraf Alınan Noktalara Ait Yer Bulduru Haritası.



Fotoğraf 16: Pelitören Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Bir Görünüm.



Fotoğraf 17: Karapınar ve Ağaçkese Köyleri Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesimlerinden Bir Görünüm.



Fotoğraf 18: Örencik Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Bir Görünüm.



Fotoğraf 19: Aşağıdana Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Bir Görünüm.



Fotoğraf 20: Aşağıdana Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesimin Yol Kenarından Çekilmiş Görüntüsü.



Fotoğraf 21: İnceboğaz Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Bir Görünüm.



Fotoğraf 22: Doğlacık Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Bir Görünüm.



Fotoğraf 23: Karacapınar Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Bir Görünüm.



Fotoğraf 24: Karacapınar Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Farklı Açıdan Bir Görünüm.



Fotoğraf 25: Başığıdır Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Bir Görünüm.



Fotoğraf 26: Başığıdır Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Farklı Açıdan Bir Görünüm.



Fotoğraf 27: Gelecek Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Bir Görünüm.



Fotoğraf 28: Gelecek Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Farklı Açıdan Bir Görünüm.



Fotoğraf 29: Demirli Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Bir Görünüm.



Fotoğraf 30: Demirli Köyü, Güneş Enerji Santrali için Önerilen Kesiminden Farklı Açıdan Bir Görünüm.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Enerji, ülkeler için gerekli olan temel ihtiyaçlardan biridir. Küresel anlamda ticareti yapılan bir sektör olmuştur. Bilgi çağıyla beraber gelişen sanayi sektörü ve artan dünya nüfusu, enerjiye karşı bir doyumsuzluk oluşturmaktadır. 1970’te yaşanan petrol krizinin ardından birçok ülke enerjide bağımsızlığını kazanmak ve yerli elektrik üretimini teşvik etmek için çeşitli politikalar hazırlayarak doğal kaynak tabanına yönelmiştir. Diğer taraftan konvansiyonel enerji kaynaklarının kullanımının atmosferdeki sera gazı miktarını arttırarak iklimde ciddi tahribatlara neden olduğunun fark edilmesi ile birçok ülke bir araya gelerek Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto protokolü ve Paris antlaşmaları ile küresel boyutta önlem almaya başlamışlardır. Bu iki durumun sonucu olarak ülkeler enerjide güvenlik, çeşitlilik, sürdürülebilirlik ve verimliliği sağlayarak daha çevreci olan enerjiyi kullanmayı esas almıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, doğada bol miktarda bulunması ve sürdürülebilir olmasının yanında çevreci olmasıyla birlikte ilgileri üzerine çekmektedir. Fakat bir enerji kaynağının çevreci olması tamamen temiz olduğu anlamına gelmemektedir. Doğada kaynağı ne olursa olsun bütün enerji kaynaklarının üretimi, kurulumu ve işletilmesi sırasında çevre üzerinde az ya da çok olumsuz etkisi vardır. Fakat bu olumsuz etkiler enerji sektörü için üretilen malzemelerin hammadde kullanımına dikkat edildiği ve yer seçimi yapılırken dikkatli davranıldığı takdirde minimize edilebilmektedir.

Güneş enerjisi santrallerinin diğer santrallere göre çevresel etki değerlendirmesi yapıldığında; hidroelektrik santrallerinden sonra arazi kullanım miktarı en fazla olan güneş enerjisi santralleridir. Arazi üzerinde ormansızlaşma, toprak erozyonu, habitat kaybı, heyelan, taşkınlar, su kirliliği, ekosistem rahatsızlığı, toz kaçağı gibi olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Diğer santraller ile kıyaslandığında güneş enerjisi santrallerinin arazi üzerinde oluşturacağı tahribat fazladır. Bu yıkımın azaltılması için doğru yer seçimi yapılmalıdır. Hava kirliliği üzerindeki etkisi konvansiyonel enerji kaynakları ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. Gürültü kirliliği santralin inşaat aşamasının dışında yok denecek kadar azdır. Görüntü kirliliği fazladır. Ekosistem ve biyoçeşitlik üzerindeki etkisi ise enerji yoğunluğu bakımından düşük, etki karakteristiği bakımından yüksek, süresi uzun ve mekânsal etkisi yerel

düzeydedir. Bu sonuçlar doğada kaynağı ne olursa olsun hiçbir enerji kaynağının tamamen temiz olmadığını göstermektedir.

Hazırlanan çalışma kapsamında güneş enerjisi için yer seçimi yapılırken faaliyetin verimliliği, çevresel etkisi ve mevzuatın kısıtlayıcı ve teşvik edici yönleri incelenmiştir ve yer seçimi için uygun olan ölçütler belirlenmiştir. Belirlenen ölçütler ve yapılan değerlendirmeler sonucunda güneş enerjisi santrallerinin yer seçiminde odak noktasının çevresel etkiler olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanı olarak seçilen Karabük ili Karadeniz Bölgesi'nde olmasına rağmen güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça avantajlıdır. Fakat Karabük ilinin yüzölçümünün küçük, topografyanın dalgalı, arazi kullanımının yoğun, heyelan riskinin ve turizm potansiyelinin yüksek olması, kısa mesafelerde ciddi eğim farklarının bulunması ve 1. derece deprem bölgesinde yer alması kullanılamayacak alanların yüzölçümünün fazla olmasına sebep olarak güneş enerjisi santrallerinin yer seçiminde dezavantaj oluşturmıştır.

Yaklaşık 40 yıl öncesine kadar mekânsal veriler geleneksel yöntemlerle toplanarak insanların ihtiyaçları doğrultusunda haritalar oluşturulmaktaydı. Daha sonra gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayar destekli teknolojiler kullanılarak mekânsal bilgi elde etme, bunun üzerinde çalışabilme imkanı artmış ve belli bir otomasyon sağlanmıştır. Bilgisayar destekli teknolojinin ürünü olan coğrafi bilgi sistemleri, mekân analizi yaparak mekânın görüntülenmesini sağlamaktadır. Ayrıca kompleks olan veri grupları coğrafi bilgi sistemleri aracılığıyla zaman tasarrufu sağlanarak daha güvenilir ve doğru sonuçlar ortaya koymaktadır. Güneş enerjisi santrali için yer seçimi yapılırken coğrafi bilgi sistemlerinden faydalanılarak kompleks veri grubundan oluşan ölçütler değerlendirilmiş ve mekânsal tanımlaması yapılmıştır. CBS ile ÇÖKA-AHS yöntemi birlikte kullanılarak daha güvenilir ve doğru bilgi elde edilmiştir. Sonuç olarak kullanılan veriler doğrultusunda Karabük ili için GES kurulabilecek alanların uygunluk haritası elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada Karabük ilinin yer seçim ölçütleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Karabük ili yıllık küresel yatay ışıınım bakımından uygun bir konumdadır. Özellikle Eflani, Eskipazar, Ovacık ilçelerinin çoğunluğu ile Safranbolu ilçesi ve 163 Karabük merkez ilçesinin güney kesimleri yıllık 1400-1531 kWh/m² küresel yatay ışıınım almaktadır. Yenice ilçesi, Karabük ilçe

merkezinin batı ve kuzey kesimleri ve Safranbolu ilçesinin kuzeybatısında ise yıllık küresel yatay ışıınım miktarı 1200-1400 kWh/m² arasındadır. Küresel yatay ışıınım miktarının bu kesimlerde düşmesinin ana sebepleri yükselti ve bitki örtüsünden kaynaklanan kapalılıktır. Karabük il merkezinin ve Yenice ilçe merkezi arasında fiyos çayının derin vadiler oluşturmaları ve vadilerin etrafının dağlarla çevrili olması mevkiinin izolasyonunu sağlayarak yıllık küresel yatay ışıınım miktarının düşmesine sebep olmuştur.

Karabük ilinin eğim derecesi genel olarak fazladır. Bu duruma etrafının yüksek dağlarla çevrili olması ve arazinin akarsular tarafından parçalanmış olması etkili olmuştur. Karabük ilinde 1-5 eğim aralığında 675 km² (%16), 5-10 eğim aralığında 997 km² (%24), 10-15 eğim aralığında 876 km² (%21) ve eğimin 15 derecenin üzerinde olduğu 1592 km² (%39) alan bulunmaktadır. Genellikle Karabük-Safranbolu-Eflani havzasının bulunduğu sahada eğim derecesi düşüktür (Tablo 82).

Tablo 82: Karabük İli Eğim Gruplarının Alansal Olarak Dağılımı.

Eğim Grupları	Alan (km ²)	Yüzde (%)
1-5	675	16
5-10	997	24
10-15	876	21
15+	1592	39
Toplam	4140	100

Güneş enerjisi santralleri için güney ve güneyli bakılar ile düz alanlar verimlilik sağlanması açısından en uygun alanlardır. Kuzey ve kuzeyli bakılarda ışıınım, nemlilik ve yağışın fazla olması verimliliği olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden güneş enerjisi santralleri için yer seçimi yapılırken tercih edilmemektedir. Karabük ilinin bakı yönlerinin oransal dağılımına göre düz alanlar 7 km², güney 554 km² (%13), güneybatı 477 km² (%12), güneydoğu 541 km² (%13), batı 501 km² (%12), kuzeybatı 515 km² (%12), doğu 522 km² (%13), kuzeydoğu 464 km² (%11) ve kuzey 559 km² (%14) alan kaplamaktadır. Güneyli yönler 1572 km² ile %51, kuzeyli yönler 1538 km² ile %49 oranında alan kaplamaktadır (Tablo 83).

Tablo 83: Karabük İli Bakı Yönünün Alansal Olarak Dağılımı.

Bakı Yönü	Alan (km ²)	Yüzde (%)
Düz	7	0
Güney	554	13
Güneybatı	477	12
Güneydoğu	541	13
Batı	501	12
Kuzeybatı	515	12
Doğu	522	13
Kuzeydoğu	464	11
Kuzey	559	14
Toplam	4140	100

Toprağın oluşum sürecini tamamlamış veya belirli bir horizon erişkinliğine ulaşmış olması güneş enerjisi santrallerinin kurulumunu kolaylaştırarak maliyeti olumlu yönde etkileyecektir. Karabük ilinde toprak gruplarının büyük çoğunluğunu intrazonal ve zonal topraklar oluşturmaktadır. Bu toprak sınıfları, belirli bir kalınlığa sahip olduğundan santral kurulumu için uygundur. Bu konu kapsamında yapılmış çalışmalar incelendiğinde toprak faktörü göz önünde bulundurulmamış olması önemli bir eksiklikler.

Heyelan, deprem fay hattı ve sel kapanları, arazinin kullanımı ve değerlendirilmesi için önemlidir. Özellikle risk faktörü taşıyan bu bölgeler üzerinde yapıların kurulması can ve mal güvenliği açısından risklidir. Karabük ili için güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi yapılırken bu alanlara olan mesafe göz önünde bulundurulmuştur.

Karabük ilinde 3 adet trafo merkezi bulunmaktadır. Trafo merkezlerinin genel olarak yerleşim alanlarının içinde ve akarsuya yakın noktalarda kurulması çalışma alanı için bir dezavantaj oluşturmuştur. Çünkü güneş enerjisi santrallerinin trafo merkezlerinin yakınında, olası bir sel ve taşkın riskinden dolayı akarsu alanlarının uzağında ve yerleşim alanlarının ise ne çok uzağı ne de çok yakınında olması gerekmektedir. Yapılan AHS-ÇÖKA analizinde bu bilgiler doğrultusunda değerlendirme yapılarak CBS ile görselleştirildiğinde uygun yerlerin iskan alanlarının içinde ve akarsu alanlarının yakınında çıkmasına neden olmuştur. Daha sonra trafo merkezlerinin bu alanlara yakınlığı

da göz önünde bulundurularak ikinci bir düzenleme ile doğru bir sonuç elde edilmiştir.

Karabük ilinin gelişmiş bir karayolu ağına sahip olması bir avantaj oluşturmuştur. Aynı etki demiryolu ağı için geçerli değildir. Çünkü demiryolu ağının yalnızca Eskipazar, Karabük ve Yenice ilçelerinden geçmesi diğer ilçelerin analiz sonucundan olumsuz etkilenmesine neden olacaktır. Bu sebepten dolayı ölçütler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

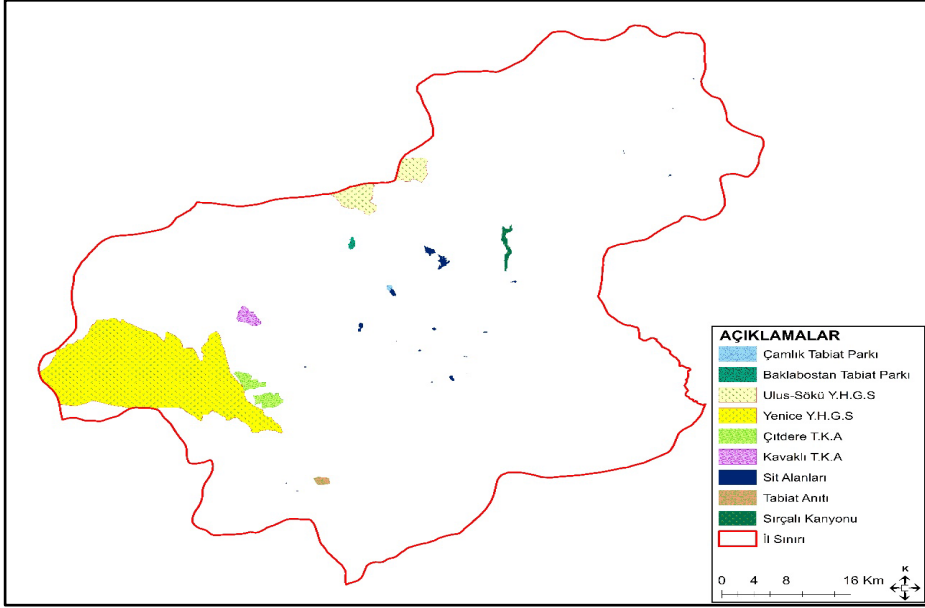
Karabük ilinin akarsu kaynakları bakımında zengin olması bu kaynaklardan yararlanma konusunda bir avantaj oluştururken güneş enerjisi santralleri için olası bir sel ve taşkın olması durumunda maliyet konusunda sorun teşkil etmektedir. Ayrıca akarsu, göl ve çevresinde oluşan iklim koşulları da verimlilik konusunda önemli bir etkidir.

Karabük ilinin ilçeleri alternatif olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Karabük ilinde güneş enerjisi için uygun yerler Eflani, Safranbolu ve Eskipazar ilçelerinde yoğunluk kazanmıştır. Yaklaşık 54 km² 'lik alanda yapılacak fizibilite çalışmalarıyla bu alanların belli kesimlerinde santralin kurulabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu ilçelerin kullanılmayan alanları mevzuat ve kısıtlamalar ile morfolojik ve risk faktörü olarak değerlendirildiğinde bu alanların dışında kalan uygun alanların fazla olması etkilidir. Karabük ilinde düşük eğimli, güneş radyasyonunun yüksek olduğu güneye bakan yamaçlar (güney, güneydoğu, güneybatı), seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar, marjinal tarım alanları güneş enerjisi santralleri için uygun alanlar oluşturmaktadır.

Güneş enerjisi için uygun olmayan yerler Yenice, Karabük il merkezi ve Ovacık ilçeleridir. Yenice ilçesinin yoğun orman varlığına sahip olması ve akarsuların derin vadiler oluşturması güneşlenme potansiyelini düşürmüştür. Ayrıca Yenice Yaban Hayatı Geliştirme Sahası, Kavaklı ile Çitdere Tabiatı Koruma Alanlarının bulunması; Karabük il merkezinin güneşlenme potansiyeli, eğim bakımından uygun olması ve trafo merkezlerine yakın olması bir avantaj oluştururken, yerleşim alanları bakımından yoğun olması, heyelan ve deprem bakımından riskli bir konumda bulunması, trafo merkezlerinin akarsuya yakın konumda bulunması, Baklabostan ile Çamlık Tabiat parkı, sit alanları ve idari olarak, Bartın iline bağlı olan Ulus-Sökö Yaban Hayatı Geliştirme Sahasının bulunması; Ovacık ilçesinde ise morfolojinin etkisi, eğim derecesinin fazla

olması, heyelan bakımından riskli bir konumda ve kuzeyli bakılarda bulunması güneş enerjisi santralleri için uygun olmayan alanlar oluşturmıştır.

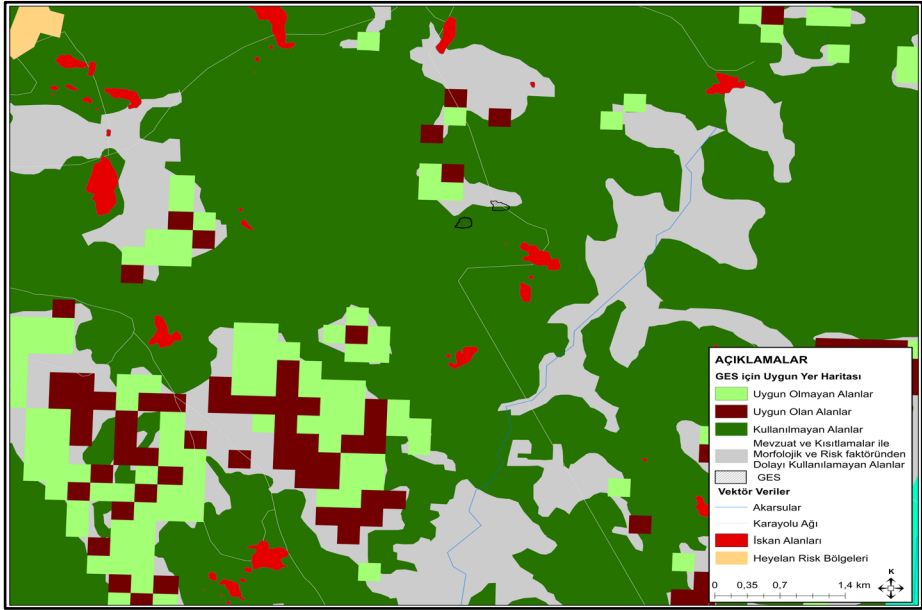


Harita 30: Karabük İlinde Bulunan Korunan Alanlar⁸⁵.

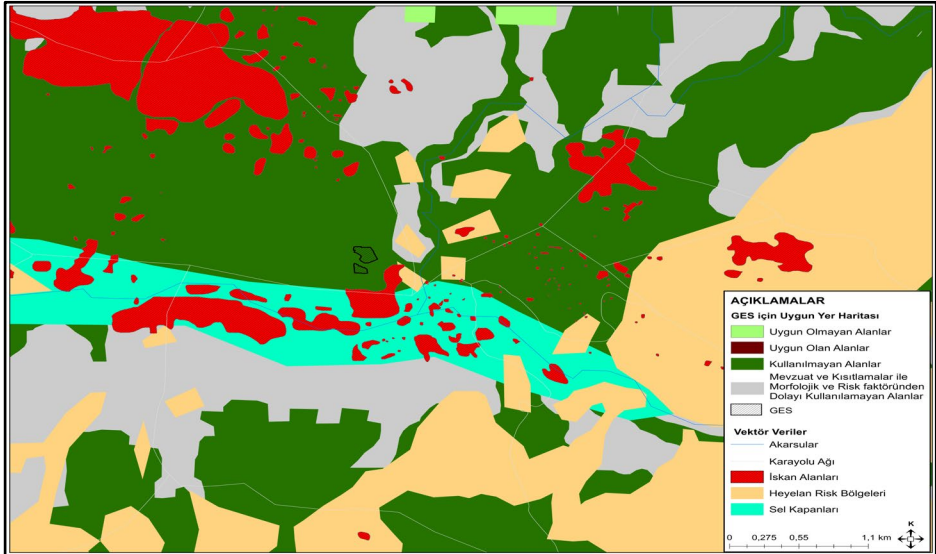
Karabük ilinde bulunan güneş enerjisi santralleri kurulum yeri bakımından incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Eskipazar ilçesi Bölükören köyünde, Safranbolu ilçesi Sine ile Kuzyakaköseler köylerinde bulunan güneş enerjisi santrallerinin, Corine uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama metoduyla üretilen arazi örtüsü/kullanımını 2018 verisine göre; tarımsal amaçlı kullanılan araziler üzerinde kurulduğu ve bu arazilerde kuru tarımın (sulanmayan ekilebilir alanlar) yapıldığı tespit edilmiştir. Bu arazilere kurulan güneş enerjisi santralleri, arazi kullanım kabiliyetini olumsuz bir şekilde etkileyerek zamanla bu arazilerin amacı dışında kullanılmasına ve tarım arazilerinde verim kaybına sebep olacağı öngörülmektedir (Harita 31; Harita 32; Harita 33; Fotoğraf 31; Fotoğraf 32; Fotoğraf 33).

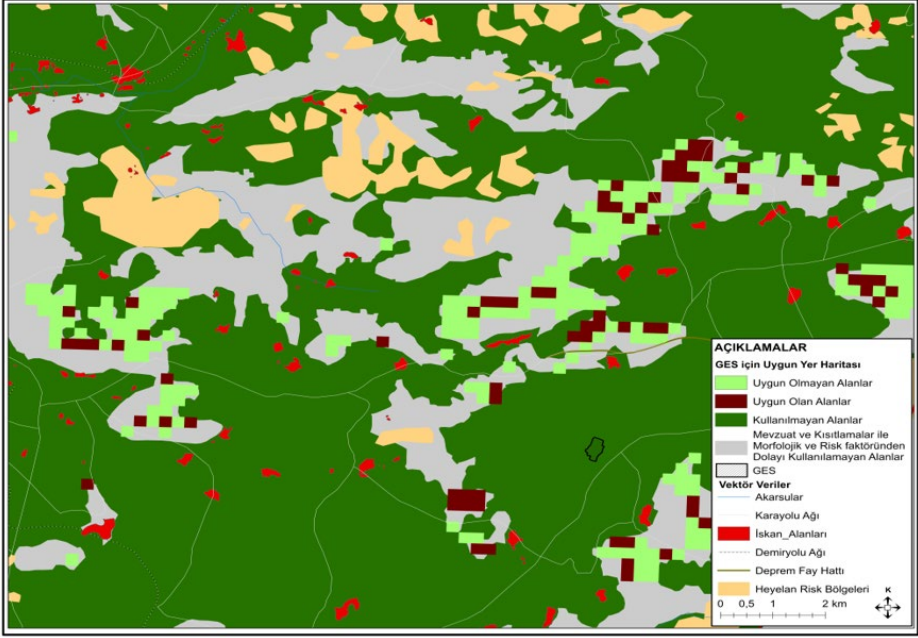
⁸⁵Doğa ve Çevre Koruma Müdürlüğü



Harita 31: Safranbolu İlçesi Sine Köyünde Kurulu Olan Güneş enerjisi Santralinin Uygun Yer Haritası.



Harita 32: Safranbolu İlçesi Kuzyakaköseler Köyünde Kurulu Olan Güneş enerjisi Santralinin Uygun Yer Haritası.



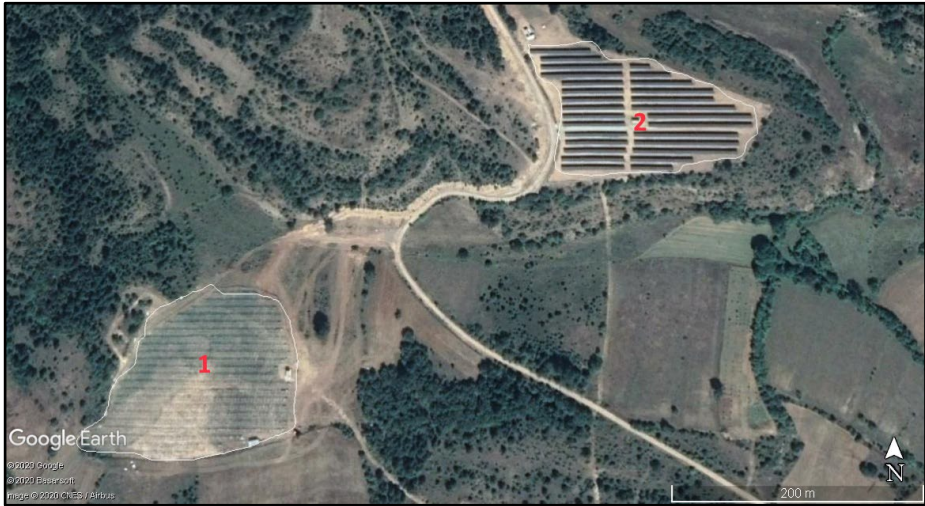
Harita 33: Eskipazar İlçesi Bölükören Köyünde Kurulu Olan Güneş enerjisi Santralinin Uygun Yer Haritası.



Fotoğraf 31: Bölükören Köyünde Tarım Arazilerine Kurulan Güneş Enerjisi Santrali.



Fotoğraf 32: Kuzyakaköseler Köyünde Tarım Arazilerine Kurulan Güneş Enerjisi Santrali.



Fotoğraf 33: Sine Köyünde Tarım Arazilerine Kurulan Güneş Enerjisi Santrali.

Güneş enerjisi santrallerinin bulunduğu arazilerin topografik yapısı incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Bölükören köyünde bulunan güneş enerjisi santrali, %0-5 eğim aralığında kurulmuştur. Bu arazide güneş ışığını engelleyecek ve gölgelenme yapacak bir unsur bulunmamaktadır. Kuzyakaköseler köyünde bulunan güneş enerjisi santralinin %0-5 ile %10-15 eğim aralığında kurulduğu tespit edilmiştir. Kuzyakaköseler köyünde bulunan santralin topografik yapısının dalgalı olması

gölgelenme yaparak sistemin verimliliği üzerinde olumsuz bir etki oluşturmuştur (Fotoğraf 32). Sine köyünde bulunan güneş enerji santralinde ise birinci alan %0-5 eğim aralığında, ikinci alan %5-10 eğim aralığında kurulmuştur. İkinci alanda doğal bitki örtüsü formasyonunun bulunması gölgelenmeye sebep olmuştur (Fotoğraf 33).

Güneş enerjisi santrallerinin bulunduğu arazilerin topografik yapısı incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Bölükören köyünde bulunan güneş enerjisi santrali, %0-5 eğim aralığında kurulmuştur. Bu arazide güneş ışığını engelleyecek ve gölgelenme yapacak bir unsur bulunmamaktadır. Kuzyakaköseler köyünde bulunan güneş enerjisi santralinin %0-5 ile %10-15 eğim aralığında kurulduğu tespit edilmiştir. Kuzyakaköseler köyünde bulunan 170 santralin topografik yapısının dalgalı olması gölgelenme yaparak sistemin verimliliği üzerinde olumsuz bir etki oluşturmuştur (Fotoğraf 32). Sine köyünde bulunan güneş enerji santralinde ise birinci alan %0-5 eğim aralığında, ikinci alan %5-10 eğim aralığında kurulmuştur. İkinci alanda doğal bitki örtüsü formasyonunun bulunması gölgelenmeye sebep olmuştur (Fotoğraf 33).

Güneş enerjisi santrallerinin bulunduğu araziler, güneş enerjisi potansiyeli bakımından en uygun yerlerde kurulmuştur. Bölükören köyünde bulunan güneş enerjisi santrali doğu bakı yönünde kurulmuştur. Sine köyünde bulunan güneş enerjisi santralinin birinci alanı güneydoğu ve doğu yönlerinde, ikinci alanı ise kuzey ve kuzeydoğu yönlerinde kurulmuştur. Kuzyakaköseler köyünde bulunan güneş enerjisi santrali ise güney ve güney batı yönlerinde kurulmuştur. Güneş enerjisi santrallerinin yer seçiminde düz ve güney bakılı yönlerin seçilmesi verimlilik açısından tercih edilmelidir. Fakat Bölükören köyü ve Sine köyünde bulunan santrallerin yüksek enerjili bakı tercihinin yapılmaması verimlilik üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.

Sine köyü ve Bölükören köyünde bulunan güneş enerjisi santralleri akarsudan belirli bir mesafe uzaklıkta kurulmuşken, Kuzyakaköseler köyünde bulunan güneş enerjisi santrali akarsuya ve sel kapanlarına yakın bir yerde kurulmuştur. Ayrıca bu santralin heyelan bakımından riskli bir yerde kurulması dezavantaj oluşturmaktadır.

Yapılan çalışmalarda genel olarak güneşlenme potansiyeli, eğim, bakı, deprem fay hattı, akarsu, göl, iskan alanları, trafo merkezleri, enerji nakil hattı, karayolu ve demiryolu ağı ölçüt olarak değerlendirilmiştir. Özellikle güneş

enerjisi santrallerinin maliyetini olumsuz yönde etkileyebilecek toprak grupları, heyelan bölgeleri, sel kapanları, taşkın alanları göz önünde bulundurulmamıştır (Güçlüer, 2010; Obut, 2016; Yalçın ve Yüce, 2020; Ayday, Yaman, Sabah ve Höke, 2016). Ayrıca güneş enerjisi santrallerinin akarsular ve maden alanlarından uzakta kurulması gerektiği görüşü savunulurken sonuç haritasında uygun alanların bu ölçütlere yakın olması bir çelişki oluşturmuştur (Obut, 2016). Genel olarak güneş enerjisi kurulabilecek uygun yerler fotoğraflar ile ayrıntılı bir şekilde desteklenmemiş ve alternatifler ortaya konulmamıştır (Güçlüer, 2010; Obut, 2016; Yalçın ve Yüce, 2020; Ayday, Yaman, Sabah ve Höke, 2016).

Sonuç olarak Karabük il idari sınırları içerisinde kurulan güneş enerjisi santrallerinin kriterler bakımından uygun yerde kurulmadığı, mevzuat ve çevresel etkilerin göz önünde bulundurulmadığı tespit edilmiştir. Verimlilik ve maliyet bakımından Karabük ilinde güneş enerjisi santralleri için en uygun yerlerin özellikle morfolojik yapısından dolayı Eflani- Safranbolu platosunda yoğunlaşmıştır.

ÖNERİLER

Güneşlenme potansiyeli bakımından oldukça önemli bir konumda yer alan Türkiye fosil kaynaklara ikame olarak güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih etmelidir. Fakat güneş enerjisi teknolojilerinin maliyetinin fazla olması kısıtlayıcı bir faktör olmuştur. Özellikle kurulum ve altyapı maliyetinin yüksek olması ile ekipmanların yerli imalatının yetersiz olması edeniyile ithal edilmesinden kaynaklanan maliyet artışı, güneş enerjisi teknolojilerinin gelişimini engellemektedir. Bu hususta yenilenebilir enerji kaynaklarında dair mevzuat iyileştirilmeli, teşvik edici usul ile esaslar düzenlenmeli ve güneş enerji teknolojileri için yerli ekipmanların üretimi desteklenmelidir.

Yenilenebilir kaynaklar bakımından avantajlı olan Türkiye’de bu tür çalışmalar arttırılarak enerjide çeşitlilik, bağımsızlık ve sürdürülebilirlik hedeflenmelidir. Türkiye’nin enerji görünümünde güneş enerjisinin payı arttırılmalıdır.

Bu çalışmada arazi tipi güneş enerjisi santralleri için uygun yerler belirlenmiştir. Benzer çalışmalar Karabük ili yerleşim yerlerindeki binaların çatı ve cepheleri için yapılarak çatı tipi güneş enerjisi sistemleri için verimli olan yerlerin tespit edilmesi yerinde olacaktır. Örneğin Karabük Üniversitesi, çatı ve cephelerinde kurulan PV sistemleri sayesinde 1 MW kurulu gücü ile kendi enerjisini kendi üretmektedir. Bu özelliği sayesinde Türkiye’de en çevreci 5 üniversite ile Uluslararası alanda en çevreci ve yeşil kampüslü 1000 üniversite arasında yer almaktadır. Arazi tipi güneş enerjisi santrallerinin topografya ve mevzuat ile kısıtlandığı yerleşim alanlarında, çatı tipi PV sistemleri kullanılarak enerjide verimlilik ve sürdürülebilirlik sağlanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- ABD Çevre Koruma Ajansı. (2006). Solar Power Analysis and Design Specifications, SRA International, 10.05. 2020 tarihinde <http://www.epa.gov/brownfields> adresinden erişildi.
- Akman, E., Akın, S., Karanfil, G. ve Sönmezoğlu, S. (2013). Organik güneş pilleri. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 1-30, Edirne.
- Algarín, C.R., Llanos A.P., and Castro, A.O. (2017). An analytic hierarchy process based approach for evaluating renewable energy sources. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(4), 38-47, Mersin.
- Applied Energy Studies Foundation. (2010). *The Environmental Cost of Energy, Damascus*, 75.
- Arık, A. (2016). Yenilenebilir enerji politikalarının sürdürülebilirliği: AB ülkeleri ve Türkiye açısından bir değerlendirme. *Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu*.
- Atalay, İ. (2013). *Uygulamalı Klimatoloji*. İzmir: META Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Ayday, C., Yaman, N., Sabah, L. ve Höke O. (2016). Güneş enerji santrali yer seçiminde açık kaynak kodlu cbs kullanımı-Eskişehir il örneği. 6. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS), Adana*.
- BP. (2021). Statistical Review of World Energy. 20 Nisan 2023 tarihinde <https://www.bp.com/> Adresinden erişildi.
- Bulut, M., Kaplanoğlu, İ. ve Geylani, V. (2018). Dünyada hidro yüzerges projelerinin gelişimi ve Türkiye'deki potansiyeli. *Güç Sistemleri Konferansı*, 15-16 Kasım, Ankara.
- Chadjivassiliadis, J., Heckenberg, G., Kleinkauf, W. ve Raptis, F. (1986). Power Management for the Compound Operation of Diesel Generator Sets with Wind Energy and Photovoltaic Plants. European Wind Energy Conference (EWEC), 7-9 October 1986.
- Cipolla, C.M. (1980). *Dünya Nüfusunun İktisat Tarihi (çev. M.S. Gezgin)*. Ötüken Yayını, İstanbul.
- S. (2013). Güneş Enerjisi ile Elektrik üretimi. 2. *Antalya Güneş Enerji Sempozyumu*. 25-28. Antalya. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2012). İklim değişikliği ve Türkiye.

Ankara.Doğanay, H. ve Coşkun, O. (2017). *Enerji Kaynakları*. (Güncellenmiş 3. Baskı). Pegem akademi Yayıncılık, Ankara.

DSİ 23. Bölge Müdürlüğü. (2019). Karabük İli 2018 yılı çevre durum raporu, 2018.

Duman, M.H. (2018). Batı Akdeniz bölgesinde güneş enerjisi santrali için kuruluş yeri seçimi. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya*.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (DEKTMK). (2009). Dünya’da ve Türkiye’de güneş enerjisi, DEKTMK Yayını, Ankara.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (DEKTMK). (2009). Enerji raporu.179-180, Ankara.

Edenhofer, O. Madrugá, R.P. and Sokona, Y. (2012). Renewable energy sources and climate change mitigation. *Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 370-372, New York.

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Enerji Yatırımları Dairesi Başkanlığı. Türkiye elektrik yatırımları 2018 yılı eylül ayı özet raporu. 16 Nisan 2020 tarihinde <https://www.enerji.gov.tr/> adresinden erişildi.

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü Enerji Yatırımları Dairesi Başkanlığı. Türkiye elektrik yatırımları 2019 yılı eylül ayı özet raporu. 16 Nisan 2020 tarihinde <https://www.enerji.gov.tr/> adresinden erişildi.

Enerji, T. C. (2016). Mavi kitap-enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı ile bağlı, ilgili ve ilişkili kuruluşlarının amaç ve faaliyetleri. 11 Nisan 2020 tarihinde <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Mavi-Kitaplar> adresinden erişildi.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Türkiye ulusal enerji planı (2023–2035)*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.17 Aralık 2025 tarihinde https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/Turkiye_Ulusal_Enerji_Planı.pdf adresinden erişildi.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). *Ulusal yenilenebilir enerji eylem planı (2019–2023)*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.17 Aralık 2025 tarihinde https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/BHIM/tr/Duyurular/Ulusal_Yenilenebilir_Enerji_Eylem_Planı.pdf adresinden erişildi.

- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *Yenilenebilir enerjide 2035 yol haritası*. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 17 Aralık 2025 tarihinde <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21380> adresinden erişildi.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2025). *Türkiye’de yenilenebilir enerji kurulu gücünün toplam kurulu güç içindeki payı %60,9’a ulaştı* [Basın bülteni]. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 17 Aralık 2025 tarihinde <https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=21543> adresinden erişildi.
- Erdoğan, M. (2014). Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyelinin termodinamik analiz yöntemi ile incelenerek, yenilenebilir enerji kullanımının gelecek projeksiyonlarının değerlendirilmesi. *Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Erkin, E. (2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve Karabük ili hidroelektrik enerji potansiyelinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*.
- Eroğlu, H. ve Aydın, M. (2015). Optimization of electrical power transmission lines routing using AHP, Fuzzy AHP, and GIS. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 23: 1418–1430.
- Eroğlu, H. (2018). Güneş enerji santralleri için uygunluk haritasının elde edilmesi: Bir uygulama. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 8(4), 97-106, Romanya.
- Fabrizi, F. (2012). Renewable energy training program-workshop on concentrated solar power (CSP) *Environmental Impact*. Washington DC.
- Fthenakis V. and Kim H. J. (2009). Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1471.
- Fylladitakis, E. (2015). Environmental impacts of photovoltaic systems. *Yüksek Lisans Tezi, Brunel Üniversitesi, Birleşik Krallık*.
- Güçlüer, D. (2010). Güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS-Çok ölçütlü karar analizi yöntemi ile belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Hang, Q., Jun, Z., Xiao, Y. and Junkui, C. (2008). Prospect of concentrating solar power in China-The sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2505–2514.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2025). *Renewable capacity statistics 2025*.

16.12.2025 tarihinde <https://www.irena.org/publications> adresinden erişildi.

Kapluhan, E. (2014). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: Güneş enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, (29), 70-98, İstanbul.

Kaya, K. ve Koç, E. (2015). Enerji üretim santralleri maliyet analizi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 56 (660), 61-68, Ankara.

Kılıç, A. (1993). Güneş enerjisi ve uygulamaları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 5, 6-15, Ankara.

Livatyalı, H. ve Yıldırım, T. (2013). Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmeler. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 53(633), 16-20, Ankara.

Miller, A. ve Lumby, B. (2012). Utility scale solar power plants: A guide for developers and investors. *Guidelines book written for IFC. World Bank Group*, New Delhi, India.

Mwanza, M. (2019). Güneş ve Rüzgâr enerjisi santralleri için sürdürülebilir sahaların coğrafi bilgi sistemi tabanlı çok ölçütlü karar analizi yöntemiyle belirlenmesi. *Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir*.

Narin, M. (2008). Türkiye'nin enerji yapısı ve izleyeceği öncelikli politikalar. *Asodasya Ankara Sanayi Odası Dergisi*, 50- 68, Ankara.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2024). *Trends in atmospheric carbon dioxide*. NOAA Global Monitoring Laboratory.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2025). *Preliminary observations of atmospheric CO₂ concentrations*. NOAA Global Monitoring Laboratory.

Obut, Z. (2016). Göksun ilçesinde güneş enerjisi santrali kurulacak alanların CBS yöntemi ile belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş*.

Onurbaş Avcoğlu, A. (2017). Yenilenebilir enerji kaynakları ve teknolojileri dersi 2. 26.01.2019 tarihinde <https://acikders.ankara.edu.tr> adresinden erişildi.

- Oral, M. (2017). Enerji coğrafyası perspektifinde Türkiye'nin enerji politikaları. *Yayınlanmamış Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük.*
- Oral, M. ve Özdemir, Ü. (2017). Küresel enerji jeopolitiğinde Türkiye: Fırsatlar ve riskler. *Journal of History Culture and Art Research*, 6(4), 948-959, Londra.
- Orta Anadolu Kalkınma Ajansı. (2017). Gürün enerji ihtisas endüstri bölgesi fizibilite raporu,12.
- Piirisaar, I. (2019). A multi-criteria gis analysis for siting of utility-scale photovoltaic solar plants in county kilkenny, Ireland. *Yüksek lisans Tezi, Lund Üniversitesi, Fiziksel Coğrafya ve Ekosistem Bilimi, Coğrafi Bilgi Sistemleri Merkezi, İsveç.*
- Renewables 2018 Global status report. 15.06.2020 tarihinde www.ren21.net adresinden erişildi.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32(7).
- Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Interfaces*, 19-43.
- Saaty, T. L. ve Vargas, L. G. (2006). Decision Making with The Analytic Network Process (Vol. 282). *Springer Science Business Media, LLC.*
- Saner, H. (2015). Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi ve çevresel etkileri: Karapınar ve Karaman enerji ihtisas endüstri bölgeleri örneklerinin değerlendirilmesi. *Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler, Ankara.*
- Selici, T., Utlu, Z. ve İlten, N. (2006). Enerji kullanımının çevresel etkileri ve sürdürülebilir gelişme açısından değerlendirilmesi. III. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21, Mersin.
- Sevimler, İ. (2017). Uzaktan algılama verileri ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak doğal alan haritalaması -karabük ili örneği. *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.*
- Silvi, C. (2003). can the history of energy technology and use educate us for a solar energy Future? The Italian case. *In Proceedings ISES Solar World Congress, Göteborg.*

- Şen, Z. (2002). *Temiz enerji ve kaynakları*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Şevik, S. (2017). İl bazında enerji dengesi analizi: Karabük örneği. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(4), 71-85, Ankara.
- Taktak, F. ve Mehmet, I. L. I. (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) geliştirme: Uşak örneği. *Geomatik*, 3(1), 1-21.
- TEİAŞ (2021). Elektrik İstatistikleri, Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2021 yılı İstatistikleri. 20.04.2023 tarihinde <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> adresinden erişildi.
- TEİAŞ (2024). *Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri*, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Ankara. 15.12.2025 tarihinde <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> adresinden erişildi.
- TMMOB Makina Mühendisleri Odası. Enerji Çalışma Grubu, Türkiye enerji görünümü 2022. 22 Nisan 2022 tarihinde <https://www.mmo.org.tr/kitaplar/turkiyenin-enerji-gorunumu-2020> adresinden erişildi.
- Tsoutsos T. Tsitoura I. and Kokologos D. (2015). Sustainable siting process in large wind farms case study in Crete. *Renewable Energy*, 75(2015), 474-480.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2024). *Sera gazı emisyon istatistikleri, 1990–2022*. Ankara.
- Uzar, M. ve Koca, H. (2020). Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi için uygunluk haritasının oluşturulmasında klasik ve bulanık mantığa dayalı yöntemlerin analizi: Menemen örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 7(1), 1-18, Ankara.
- Ültanır, M.Ö. (1996). 21. yüzyılın eşiğinde güneş enerjisi. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 340, 50-55 Ankara.
- Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. 1. *Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, 270-275, 21-23 Haziran, Eskişehir.
- Yalçın, C. ve Yüce, M. (2020). Burdur’da güneş enerjisi santrali (GES) yatırımına uygun alanların CBS yöntemiyle tespiti. *Geomatik*, 5(1), 40-50.

Yıldırım, V. ve Nişancı, R. (2010). Developing a geospatial model for power transmission line routing in developing a geospatial model for power transmission line routing in Turkey. *FIG Kongresi*, 11-16 Nisan, Sydney.

ELEKTRONİK KAYNAKÇA

<https://www.mbt-energy.com/projects/groundpv> (Erişim Tarihi: 06.07.2019).

<https://www.iea.org> (Erişim Tarihi: 18.12.2019).

<https://www.enerjiatlası.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html> (Erişim Tarihi: 23.07. 2019).

<https://www.irena.org> (Erişim Tarihi: 23.07.2019).

<http://tapu-kadastro.net/index.php/makaleler/diger-tapu-kadastro/400-sulama-alanlarinda-3083-sayili-kanuna-goere-kisitli-araziler> (Erişim Tarihi: 01.03.2020).

<https://www.turkiye.gov.tr/elektrik-isleri-etut-idaresi-genel-mudurlugu> (Erişim Tarihi: 23.07. 2019).

<https://en.enerjiatlası.com/electricity-consumption/turkey/> (Erişim Tarihi: 20.04.2023)

<https://solargis.com> (Erişim Tarihi: 09.12.2019).

<https://www.enerjibes.com/gunes-santrali-icin-arazi-secimi> (Erişim Tarihi: 06.09.2019).

<http://makale.eceylan.com/1-bolum-gunes-enerji-santrali-ges-bilgilendirme> (Erişim Tarihi: 06.07.2019).

<http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata> (Erişim Tarihi: 06.04.2020).

https://enerji.mmo.org.tr/wpcontent/uploads/2018/05/EnerjiGorunumu2018_1.compressed.pdf (Erişim Tarihi: 05.04.2020).

<https://www.planetobserver.com> (Erişim Tarihi: 06.04 2019).

<https://www.sciencedirect.com/journal/renewable-and-sustainable-energy-reviews> (Erişim Tarihi: 07.09.2019).

<https://www.xtrlarge.com> (Erişim Tarihi: 09.12.2019).

<https://www.dunyaenerji.org.tr/bp-enerji-gorunumu-2018>

(Erişim Tarihi: 08.09.2019).

<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir.aspx> (Erişim Tarihi: 01.01.2019).

<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default> (Erişim Tarihi: 01.01.2019).

<https://www.teias.gov.tr> (Erişim Tarihi: 01.01.2019).

<https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-159-3/yonetmelikler> (Erişim Tarihi: 03.19. 2019).

<https://www.facebook.com/646061445429756/posts/1309691582400069>
(Erişim Tarihi: 08.05.2020).

<https://kubyenergy.ca/blog/the-positive-and-negative-environmental-impacts-of-solar-panels> (Erişim Tarihi: 02.13.2019).

<https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-solar-power> (Erişim Tarihi: 12.11.2019).

<https://www.thebalancesmb.com/top-renewable-energy-companies-4172962>
(Erişim Tarihi: 26.03.2019).

<https://medium.com/transh%C3%BCmanizm/elektrik%C3%BCretimi%C3%B Cst%C3%BCne-baz%C4%B1-notlar-44dbacedc0ac>
(Erişim Tarihi: 26.03.2019).

<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/01/impact-of-solar-energy-on-the-environment> (Erişim Tarihi: 11.08.2019).

<https://www.herkesebilimteknoloji.com/haberler/surdurulebilirlik/gunes-enerjisi-panellerinin-cevreye-verdigi-zararlar-tartisiliyor> (Erişim Tarihi: 15.06.2019).

<https://www.donanimhaber.com/Gunes-panelleri-ne-kadar-zararli-85447>
(Erişim Tarihi: 16.06.2019).

<https://www.thebalancesmb.com/what-is-the-environmental-impact-of-solar-power-generation-4586409> (Erişim Tarihi: 15.06.2019).

<https://www.mevzuat.gov.tr> (Erişim Tarihi: 11.08.2019).

<http://www.basinandrangewatch.org/Water.html> (Erişim Tarihi: 04.04.2020).

<https://solarthermalmagazine.com> (Erişim Tarihi: 04.04.2020).

<https://www.iklimhaber.org/turkiye-sera-gazi-emisyon-istatistiklerine-yakin-bakis> (Erişim Tarihi: 13.04.2020).

<https://mip.pmi.org/tengger-solar-park> (Erişim Tarihi: 09.12.2019).

https://tr.qwe.wiki/wiki/Bhadla_Solar_Park (Erişim Tarihi: 09.12.2019).

<https://www.blackridgeresearch.com/blog/top-ten-photovoltaic-power-plants-in-the-world> (Erişim Tarihi: 09.12.2019).

<https://serbestce.com> (Erişim Tarihi: 08.09.2019).

<https://www.donanimhaber.com> (Erişim Tarihi: 08.09.2019). www.ibb.istanbul (Erişim Tarihi: 08.10.2019).

<https://bigumigu.com/haber/guney-kore-de-gunes-panelleriyle-dosenmis-bisikletli-otoyol> (Erişim Tarihi: 10.05.2020).

<https://www.milliyet.com.tr/ekonomi/antalya-da-tamamen-gunes-enerjisiyle-calisan-yat-yapildi-231442> (Erişim Tarihi: 10.05.2020).

<https://gaiadergi.com/gunes-enerjisiyle-calisan-dev-yapay-agaclar> (Erişim Tarihi: 10.05.2020).

<https://www.hurriyet.com.tr/teknoloji/cin-uzayda-3d-yazici-test-etti-41514576> (Erişim Tarihi: 10.05.2020).

<https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari> (Erişim Tarihi: 20.04.2023).

MEVZUAT

T.C. Resmi Gazete. (18.05.2005/25819). 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun.

T.C. Resmi Gazete. (08.01.2011/27809). 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun.

T.C. Resmi Gazete. (09.08.1983/18132). 2872 Sayılı Çevre Kanunu.

T.C. Resmi Gazete. (31.12.2004/25687). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği.

T.C. Resmi Gazete. (04.04.2014/28962). Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği.

T.C. Resmi Gazete. (11.08.1983/18132). 2873 Sayılı Milli Parklar Kanunu.

T.C. Resmi Gazete. (11.07.2003/25165). 4915 Sayılı Kara Avcılığı Kanunu.

T.C. Resmi Gazete. (08.11.2004/25637). Yaban Hayatı Koruma ve Yaban Hayatı Geliştirme Sahaları İle İlgili Yönetmelik.

T.C. Resmi Gazete. (25.02.1998/23272). 4342 Sayılı Mera Kanunu.

T.C. Resmi Gazete. (19.07.2005/25880). 5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu.

T.C. Resmi Gazete. (30.03.2013/28603). 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu.

T.C. Resmi Gazete. (01.12.1984/18592). 3083 Sayılı Sulama Alanlarında Arazi Düzenlenmesine Dair Tarım Reformu Kanunu.

Kültür Bakanlığı, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu (Karar No. ve Tarihi 05.11.1999). Arkeolojik Sitler, Koruma ve Kullanma Koşullarına İlişkin İlke Kararı.

T.C. Resmi Gazete. (27.10.2006/26329). Kentsel Arkeolojik Sit Alanları Koruma ve Kullanma Koşullarına İlişkin 702 Sayılı İlke Kararı.

T.C. Resmi Gazete (08.09.1956/9402). 6831 Sayılı Orman Kanunu.

T.C. Resmi Gazete (15.09.2011/28055). Orman Kanunu'nun 17 ve 18 inci Maddelerinin Uygulama Yönetmeliği.

Resmi Gazete. (18.02.2014/28917). Tarihi Sitler, Koruma ve Kullanma Koşullarına ilişkin 271 Sayılı İlke Kararı.

T.C. Resmi Gazete. (19.06.2007). Doğal Sitler, Koruma ve Kullanma Koşullarına İlişkin 740 Sayılı İlke Kararı.

T.C. Resmi Gazete. (03.04.1996 /22600). 3573 Sayılı Zeytinciliğin Islahı Yabanilerinin Aşılattırılmasına Dair Yönetmelik.

T.C. Resmi Gazete. (23.07.1983/18113). 2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu.

T.C. Resmi Gazete. (14.04.2004). 5226 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu ile Çeşitli Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun.

T.C. Resmi Gazete. (17.04.1990/20495). 3621 Sayılı Kırık Kanunu.

T.C. Resmi Gazete. (22.12.1981/17552). 2565 Sayılı Askeri Yasak Bölgeler ve Güvenlik Bölgeleri Kanunu.

T.C. Resmi Gazete. (03.08.1990/ 20594). 2920 Sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu.

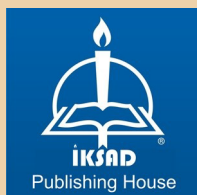
YAZARLARIN ÖZGEÇMİŞİ

Prof. Dr. Mücahit COŞKUN

1998 yılında Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi'nden mezun oldu. 1998 yılında mezun olduğu anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 1999 yılında araştırma görevlisi oldu. 2000 yılında yüksek lisans derecesini alarak doktora başladı. 2004 yılında Prof. Dr. Cemalettin ŞAHİN nezaretinde bitirdiği doktora eğitiminden sonra 2008 yılında yardımcı doçent kadrosuna ataması yapıldı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi'ne yardımcı doçent olarak naklen atandı. 2012 yılında doçentlik unvanını aldı. 2017 yılında Karabük Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Fiziki Coğrafya Anabilim Dalına Profesör olarak ataması yapıldı. Araştırmalarını ulusal ve uluslararası boyutta iklim, vejetasyon, hidrografya, toprak ve fiziki coğrafya eğitimi konularında sürdürmektedir. Evli ve üç çocuk babası olup İngilizce bilmektedir. ORCID: 0000-0002-7881-6742.

Doktorant Nesrin SARSICI

Nesrin SARSICI, 1993 tarihinde dünyaya geldi. 2011 yılında Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi'nde orta öğretimini tamamladı. 2012 yılında lisans eğitimine başlamış olduğu Karabük Üniversitesi Coğrafya Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında "Karabük ilinde Güneş Enerjisi Santrali (GES) kurulabilecek alanların çok ölçütlü karar analizi ile tespiti" adlı teziyle yüksek lisans derecesi aldı. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. Doktora eğitim sürecinde tez döneminde olup doktora eğitim süreci devam etmektedir. ORCID: 0000-0002-6846-5803.



ISBN: 978-625-378-503-1