

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
YARDIMIYLA YÜZEN FOTOVOLTAİK GÜÇ
SANTRALLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: DEMİRKÖPRÜ
BARAJI ÖRNEĞİ

OSMAN SALİH YILMAZ

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı

Danışman

Doç. Dr. Fatih GÜLGEN

Eş Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Murat ATEŞ

Temmuz, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
YARDIMIYLA YÜZEN FOTOVOLTAİK GÜÇ
SANTRALLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: DEMİRKÖPRÜ
BARAJI ÖRNEĞİ

Osman Salih YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 26.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Fatih GÜLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Murat ATEŞ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Fatih GÜLGEN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Füsün BALIK ŞANLI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Koray ÜLGEN, Üye
Ege Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Meltem ÇELEN, Üye
Gebze Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Fatih GÜLGEN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Yüzen Fotovoltaik Güç Santrallerinin Değerlendirilmesi: Demirköprü Barajı Örneği başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Osman Salih YILMAZ

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Doktora süreci boyunca akademik ve manevi desteklerini üzerimden esirgemeyen kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Fatih GÜLGEN'e ve çalıştığım konumda bana her türlü desteği esirgemeyen, çalışma konumda beni cesaretlendiren eş danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali Murat ATEŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme süresi boyunca, tez izleme komitemde bulunarak çalışmamın ilerlemesinde teknik desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Füsün BALIK ŞANLI ve Dr. Öğr. Üyesi. Meltem ÇELEN hocalarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim. Tez savunma sınavı süresince katılımlarından ve yapıcı eleştirilerinden dolayı Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER ve Doç. Dr. Koray ÜLGEN hocalarıma teşekkürler ederim.

Doktora süresi boyunca Akademik çalışma konusunda sürekli bizleri destekleyen ve teşvik eden, Akademik personel olarak çalışmaktan gurur duyduğum Manisa Celal Bayar Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Ahmet ATAÇ'a ve Rektör Yardımcılarına, Çalıştığım Demirci Meslek Yüksekokulu Müdürü Prof. Dr. Fatma ŞAŞMAZ ÖREN'e teşekkürlerimi borç bilirim. Bana desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aile üyelerime, eşime ve biricik oğlum Emir Eymen YILMAZ'a, Demirci Meslek Yüksekokulu ve Köprübaşı Meslek Yüksekokulu değerli akademik çalışma arkadaşlarıma ve öğrencilerime şükranlarımı sunarım.

Osman Salih YILMAZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.	3
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Hipotez	9
2 FV SİSTEMLER	11
2.1 Güneş ve Dünya İlişkisi.	11
2.2 Güneş Enerjisi.	17
2.2.1 Türkiye’de Güneş Enerjisi.	18
2.2.2 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları.	20
2.2.3 FV Güneş Panelleri.	21
2.3 FV Elektrik Enerjisi Üretiminde Karakteristikler ve Modeller	27
2.4 Hücre Sıcaklığı.	33
3 MATERYAL VE YÖNTEM	35
3.1 Çalışma Alanı.	36
3.2 Kullanılan Uydu Platformları ve Özellikleri.	37
3.3 Rastgele Orman Algoritması.	39

3.4	En Çok Benzerlik Algoritması.	40
3.5	K-Ortalamalar Algoritması.	43
3.6	Su Kütlesi Çıkarma İndeksleri.	43
3.7	Uygun Algoritma ve İndeksin Belirlenmesi.	44
3.7.1	Jeodezik Test Verileri.	44
3.7.2	Sınıflandırma İşlemi.	46
3.8	GEE ile Su Kıyı Çizgisinin Çıkarılması.	49
3.9	GEE ile Su Dinamiklerinin İncelenmesi.	51
3.10	Güneş Işınımı.	52
3.11	YFV Sistem Tasarımı.	54
3.11.1	Şebekeye Bağlı YFV Sistemin Modellenmesi	56
3.11.2	Kapasite Faktörü.	57
3.11.3	Yıllık Potansiyel Enerji Hesabı.	59
3.12	Buharlaştırma Hesabı.	60
4	DEMİRKÖPRÜ BARAJI İÇİN YFV-GES TASARIMI	61
4.1	UA Tekniği ile Baraj Kıyı Çizgisinin Çıkarılması	61
4.2	Baraj Kıyı Çizgisindeki Değişimlerin İzlenmesi	72
4.3	Baraj Dinamiklerinin İzlenmesi	76
4.4	Bölgede Ölçülen Meteorolojik Değerler	78
4.5	YFV-GES Elektrik Enerjisi Üretimi Hesabı	79
4.6	Bölgesel Teorik Kapasite Faktörleri	81
4.7	Buharlaştırma Kazancı Hesabı	87
4.8	Tartışma	88
5	SONUÇ VE ÖNERİLER	92
KAYNAKÇA		
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR		

SİMGE LİSTESİ

I	Akım
CIS	Bakır İndiyum Diselenid
k	Boltzmann's Sabiti
A_{BTKF}	Bölgenin Toplam Alanı
λ	Dalga Boyu
δ	Deklinasyon Açısı
I_0	Diyot Ters Akım
ϕ	Enlem Açısı
f	Frekans
A_m	FV Panel Alanı
P_m	FV Panelinin Çıkış Gücü
P_{PV}	FV Panelinin Çıkış Gücü
GaAS	Galyum Arsenit
$\emptyset$	Gözlem Açısı
ω_s	Gün Batımı Saat Açısı
γ	Güneş Azimut Açısı
G_{sc}	Güneş Sabiti
T_c	Hücre Sıcaklığı
η_{cable}	Kablo ve Bağlantı Kutusu Verimliliği
CdTe	Kadmiyum Tellür
CO ₂	Karbondioksit Gazı
$\eta_{i,sc}$	Kısa-Devre Sıcaklık Katsayısı
SO ₂	Kükürt Dioksit Gazı
Z_{GHI}	Metrekare Başına Yıllık Toplam Işınım değerinin Ortalaması
μm	Mikrometre
α_t	Panel Sıcaklığı
η_m	Panel Verimliliği
I_t	Panel Yüzeyindeki Anlık Toplam Güneş Işınımı
R _{sh}	Paralel Direnç
H	Planck Sabiti
n	Netron
NO _x	Nitrojen Oksit Gazı

I_L	Işık Akımı
c	Işık Hızı
η_{inv}	İnverter Verimliliği
J	Joule
T_{amb}	Ortam Sıcaklığı
Ω	Ohm (Direnç Birimi)
EGP_{BTKF}	BTKF Bölgesinden Üretilecek Enerji Potansiyelini Gösterir
ω	Saat Açısı
R_s	Seri Direnç
Si	Silisyum
P_{Rated}	Sistemin Nominal Çıkış Gücü
η_{sys}	Sistemin Toplam Verimliliği
E_G	Sistem Tarafından Üretilen Yıllık Enerji
T_r	Standart koşullarda 1kW/m ² ısıtım
G_t	Toplam Işık Şiddeti
η_T	Trafo Verimliliği
V	Voltaj
T_e	Yıllık Buharlaşma Miktarı
α	Yükseklik Açısı
z	Zenit Açısı

KISALTMA LİSTESİ

AF	Alan Faktörü (Area Factor)
AVHRR	Gelişmiş Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre (Advanced Very High Resolution Radiometer)
BA	Boş Araziler
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CF	Kapasite Faktör (Capacity Factor)
CORS	Sürekli Çalışan Referans İstasyonu (Continuously Operating Reference Station)
DVM	Destek Vektör Makinaları (Support Vector Machines-SVM)
EÇB	En Çok Benzerlik Sınıflandırması (Maximum Likelihood Classification-MLC)
EGP	Electricity Generation Potential
ESA	Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency)
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FV	Fotovoltaik
GD	Genel Doğruluk
GEE	Google Earth Engine
GES	Güneş Enerji Santrali
GHI	Küresel Yatay Işınım (Global Horizontal Irradiation)
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System)
HES	Hidroelektrik Santral
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
IR	Infrared
ISODATA	Tekrarlı Veri Analizi Yöntemi (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)
KD	Kullanıcı Doğruluğu
LiDAR	Light Detection and Ranging
MO	Meşe Ormanı
MODIS	Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)
MSI	Multispectral Instrument
MNDWI	Modifiye Edilmiş Normalize Fark Su indeksi (Modified Normalised Difference Water Index)

MPP	Maksimum Güç Noktası (Maximum Power Point)
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
NDWI	Normalize Fark Su indeksi (Normalised Difference Water Index)
NIR	Yakın Kızılötesi (Near-Infrared)
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (National Oceanic & Atmospheric Administration)
NOCT	Nominal Çalışma Hücresi Sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature)
OBIA	Obje Tabanlı Görüntü Analizi (Object Based Image Analysis)
OLI	Operasyonel Arazi Görüntüleyici (Operational Land Imager)
RO	Rastgele Orman (Random Forest-RF)
RMSE	Karesel Ortalama Hata (Root Mean Square Error)
BTKF	Bölgesel Teorik Kapasite Faktör (Regional Theoretical Capacity Factor)
SAR	Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar)
SMA	Spektral Karışım Analizi (Spectral Mixture Analysis)
STC	Standart Test Koşulları (Standard Test Conditions)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWIR	Kısa Dalga Kızılötesi (Short-Wave Infrared)
SWO	Surface Water Occurance
SY	Su Yüzeyi
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TA	Tarım Arazisi
TM	Thematic Mapper
TR	Türkiye
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UA	Uzaktan Algılama
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma (United States Geological Survey)
UTM	Universal Transverse Mercator
UV	Ultraviyole
ÜD	Üretici Doğruluğu
VIS	Visible Spectrum
WGS84	Dünya Jeodezik Sistemi (World Geodetic System 1984)
YFV	Yüzen Fotovoltaik
YFV-GES	Yüzen Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Güneş-dünya ilişkisi [187]	12
Şekil 2.2	Güneşin yükseklik, azimut ve zenit açısı.	13
Şekil 2.3	Dünyanın güneş etrafındaki yörüngesi [188]	14
Şekil 2.4	Elektromanyetik spektrum [187]	16
Şekil 2.5	Elektromanyetik enerji [192]	16
Şekil 2.6	Atmosferik radyasyon dengesi [188, 193]	17
Şekil 2.7	Dünya güneşlenme haritası (URL-1)	18
Şekil 2.8	Türkiye'nin güneşlenme haritası (URL-1)	19
Şekil 2.9	Şebekeden bağımsız sistem [202]	22
Şekil 2.10	Şebekeye bağlı sistemler [203]	23
Şekil 2.11	Elektron ve oyuklar arasındaki yayılım [207]	25
Şekil 2.12	FV hücre tipleri.	26
Şekil 2.13	Mono-kristal hücre örnekleri [197]	26
Şekil 2.14	Poli-kristal hücre örneği [197]	27
Şekil 2.15	İnce film [209]	27
Şekil 2.16	Bir FV modülü için tipik I-V ve P-V eğrileri [187]	28
Şekil 2.17	FV panelin tek diyotlu eşdeğer devresi [210]	28
Şekil 2.18	0 °C ve 75 °C sıcaklıklarda bir FV modülünün I-V özellikleri [187]	30
Şekil 3.1	Genel iş akış şeması	36
Şekil 3.2	Çalışma alanı haritası.	37
Şekil 3.3	CORS-TR'ye göre ölçülen baraj sınırının bölümleri	45
Şekil 3.4	Kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma akış şeması	46
Şekil 3.5	Sınıflandırma süreçleri ve sonuçların CORS-TR ile karşılaştırılması	48
Şekil 3.6	İş akış diyagramı	51
Şekil 3.7	Bir yüzeydeki güneş ışıınım kaynakları: (1) direk ışıınım (2) gökyüzündeki partiküller nedeni ile saçılan dağınık ışıınım ve (3) karadan yansıyan dağınık ışıınım [64]	52
Şekil 3.8	YFV tesisinin bir görünümü.	54
Şekil 3.9	Üretici tarafından verilen invertör verim eğrisi	57
Şekil 4.1	Uydu görüntülerinin farklı bant kombinasyonlarından ve 10 Kasım 2018'deki CORS-TR ölçümlerinden türetilen SY sınırları	67
Şekil 4.2	Uydu görüntülerinin farklı bant kombinasyonlarından ve 3 Mayıs 2019 tarihli CORS-TR ölçümlerinden türetilen SY sınırları	68

Şekil 4.3 RO algoritması kullanılarak sınıflandırılan VIS + NIR + NDWI bant kombinasyonu sonuçları: a) 01 Kasım 2018 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, b) 12 Mayıs 2019 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, c) Sentinel-2A L2A (MSI), 1 Kasım 2018 tarihli d) Sentinel-2A L2A (MSI), 30 Nisan 2019 tarihli.	70
Şekil 4.4 EÇB algoritması kullanılarak sınıflandırılan VIS + NIR + NDWI bant kombinasyonu sonuçları: a) 01 Kasım 2018 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, b) 12 Mayıs 2019 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü.	71
Şekil 4.5 K-ortalamlar algoritması kullanılarak sınıflandırılan VIS + NIR bant kombinasyonu sonuçları: a) 01 Kasım 2018 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, b) 12 Mayıs 2019 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, c) Sentinel-2A L2A (MSI) 01 Kasım 2018 tarihli görüntüsü d) 30 Nisan 2019 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI)	71
Şekil 4.6 Sınıflandırılan görüntülerden elde edilen a) Ekim 2001, b) Eylül 2007, c) Ağustos 2008, d) Eylül 2017, e) Eylül 2018 f) kesişim alanı	75
Şekil 4.7 02.09.2018 tarihli Sentinel 2A görüntüsü ile çıkarılan adacıklar kırmızı elipslerle işaretlenmiştir.	76
Şekil 4.8 Demirköprü barajı için 1984-2015 yılları arasında SWO değişim haritası ...	77
Şekil 4.9 Şebekeye aktarılan enerji, maksimum ortam sıcaklığı ve maksimum hücre sıcaklığı.	80
Şekil 4.10 Toplam kayıplar.	81
Şekil 4.11 Her bir bölgedeki 1m ² 'lik alanın elektrik enerjisi potansiyeli	82
Şekil 4.12 Bölgesel teorik kapasite faktör haritası.	83

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Dünya’da Güneş ışıınım miktarları [194]	18
Tablo 2.2 Türkiye’nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [196]	19
Tablo 2.3 Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı [195]	20
Tablo 3.1 Landasat-5 (TM), Landsat-8 (OLI) ve Sentinel-2A L2A (MSI) görüntülerinin spektral bantları ve çözünürlükleri.	38
Tablo 3.2 Kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri.	49
Tablo 3.3 Bu çalışma da kullanılan güneş ışıınımı parametreleri	54
Tablo 3.4 Panel özellikleri.	55
Tablo 3.5 Huawei Sun 2000-12KTL İnverter Özellikleri	55
Tablo 4.1 1 Kasım 2018 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsünün kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma doğruluğu.	62
Tablo 4.2 12 Mayıs 2019 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsünün kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma doğruluğu.	63
Tablo 4.3 1 Kasım 2018 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI) görüntüsünün kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma doğruluğu.	64
Tablo 4.4 30 Nisan 2019 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI) görüntüsünün kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma doğruluğu.	65
Tablo 4.5 Uydu görüntüleri ve CORS_TR ölçümlerinden elde edilen sınırların karşılaştırılması.	69
Tablo 4.6 Sınıflandırma doğrulukları ve alanları.	72
Tablo 4.7 En düşük su yüzey alanı haritalarının görüntüleriyle SWO haritasının doğruluk testi.	78
Tablo 4.8 Yatay yüzeyde aylık ortalama günlük toplam ışıınım, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve nem değerleri (URL-2)	79
Tablo 4.9 Toplam yatay ışıınım, aylık aktarılan enerji ve sistem kayıpları	80
Tablo 4.10 Kapasite faktörlerine göre oluşan sınıflar.	82
Tablo 4.11 Alanlar ve bölgenin elektrik üretim potansiyeli	84
Tablo 4.12 Aylık toplam GHI ortalaması.	85
Tablo 4.13 Demirköprü Barajı’nın aylık üretilen enerji için kullanılan su miktarı, toplam buharlaşma, baraj yüzölçümü ve azaltılan buharlaşma miktarı	87

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Yüzen Fotovoltaik Güç Santrallerinin Değerlendirilmesi: Demirköprü Barajı Örneği

Osman Salih YILMAZ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Fatih GÜLGEN

Eş-Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Murat ATEŞ

Bu tez çalışmasında Demirköprü Barajı'na kurulacak olan Yüzen Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali (YFV-GES) için uygun yerlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Demirköprü Barajı kıyı çizgisinin belirlenmesi için, uzaktan algılama teknikleri ile kontrollü sınıflandırma da Rastgele Orman (RO) ve En Çok Benzerlik (EÇB) algoritmaları, kontrolsüz sınıflandırma da ise K-ortalamlar algoritması kullanılmıştır. Ayrıca su yüzeyi çıkarmada normalize fark su indeksi (Normalized Difference Water Index-NDWI) ve modifiye edilmiş normalize fark su indeksi (Modified Normalized Difference Water Index-MNDWI) kullanılmıştır. Arazide yapılan jeodezik ölçüler sayesinde Demirköprü Baraj yüzeyinin kıyı sınırının çıkarılmasında RO algoritması ve NDWI indeksinin kullanıldığı yaklaşımın diğer yaklaşımlara göre daha başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Daha sonra, belirlenen algoritma ve su çıkarma indeksi kullanılarak “Google Earth Engine” platformunda Demirköprü Baraj yüzeyinin 20 yıllık değişimi izlenmiştir. Elde edilen sınıflandırma haritalarından minimum alanlar belirlenerek coğrafi bilgi sistemleri örtüştürme (overlay) analizi uygulanarak minimum alan 15.624.500 m² olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, 20 yıllık süreçte, baraj su seviyesinin düştüğü tarihlerde ortaya çıkan bazı küçük adacıkların konumları ve alanları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu

alanlar 9.100 m² olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada kullanılan yaklaşımlar ile elde edilen veriler dünya ölçeğinde gerçekleştirilen küresel su oluşumu ve dinamiklerinin izlenmesi çalışmasından çıkarılan Demirköprü Baraj verileri ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbiriyle tutarlı olduğu saptanmıştır. Ardından, Demirköprü Baraj yüzeyi için yıllık ve aylık güneş ışının değerleri solar analiz yapılarak hesaplanmıştır. Demirköprü Barajı için yıllık ışıınım değerleri minimum 1.553,96 kWh/m² maksimum 1.875,25 kWh/m² arasında değişmektedir. Bulunan yıllık bu veriler kullanılarak bölgenin piksel bazlı Bölgesel Teorik Kapasite Faktörü (BTKF) (Regional Theoretical Capacity Factor) değerleri hesaplanmıştır. Baraj yüzeyi BTKF değerlerine göre hiyerarşik olarak dört sınıfa ayrılmıştır. Bulunan minimum baraj yüzey alanı üzerinde solar analiz öncesi ve sonrası için ayrı ayrı YFV-GES kaplanması durumunda üretebileceği yıllık elektrik enerjisi miktarları sırasıyla 3.328,33 GWh ve 3.183,57 GWh hesaplanmıştır. Ayrıca baraj yüzeyinin tamamen YFV-GES ile kaplanmasında buharlaşmadan kaynaklı önleyeceği su miktarı 28.596.875 m³ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demirköprü Barajı, uzaktan algılama (UA), coğrafi bilgi sistemleri (CBS), füzen fotovoltaik sistemler (YFV), Google earth engine (GEE)

Evaluation of Floating Photovoltaic Power Plants with The Help of Remote Sensing and Geographic Information Systems: Example of Demirköprü Dam

Osman Salih YILMAZ

Department of Geomatic Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih GÜLGEN

Co-supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali Murat ATEŞ

This thesis, it is aimed to determine the appropriate region for the Floating Photovoltaic Solar Power Plant (FPV-SPP) system to be an installation in Demirköprü Dam. Random Forest (RF) and Maximum Likelihood Classification (MLC) algorithms were used in supervised classification with remote sensing techniques to determine the shoreline of Demirköprü Dam and K-Means algorithm was used in unsupervised classification. In addition, Normalized Difference Water Index (NDWI) and Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) were used for water surface extraction. Thanks to the geodetic survey made in the field, the approach using the RF algorithm and NDWI index in extracting the shoreline of the Demirköprü Dam surface has proved to be more successful than other approaches. Then, using the determined algorithm and water extraction index, the 20-year change of the Demirköprü Dam surface was monitored on the “Google Earth Engine” platform. By determining the minimum areas from the classification maps obtained, geographic information systems overlap analysis was applied and the minimum area was calculated as 15,624,500 m². In addition, the locations and areas of some small islets that emerged during the 20-years when the dam water level

decrease was determined. These determined areas were calculated as 9.100 m². The data obtained with the approaches used in this study were compared with the Demirköprü Dam data obtained from the global water occurrence and dynamics monitoring study carried out on a world scale, and the results were found to be consistent with each other. Then, annual and monthly solar radiation values for Demirköprü Dam surface were calculated by solar analysis. Annual radiation values for Demirköprü Dam vary between a minimum of 1.553.96 kWh/m² and a maximum of 1.875.25 kWh/m². Using the annual data found, the region's pixel-based Regional Theoretical Capacity Factor (RTCF) values were calculated. The dam surface is hierarchically divided into four classes according to RTCF values. Suppose FPV-SPP is covered separately for the solar analysis before and after the solar analysis on the minimum dam surface area found. In that case, the annual electrical energy amounts that can be produced are calculated as 3,328.33 GWh and 3,183.57 GWh, respectively. In addition, the amount of water to be prevented due to evaporation in completely covering the dam surface with FPV-SPP was calculated as 28,596,875 m³.

Keywords: Demirköprü Dam, remote sensing (RS), geographic information systems (GIS), floating photovoltaic systems (FPV), Google earth engine (GEE)

Enerji kaynaklarının etkin kullanımı, ülkelerin ekonomik kalkınmasında hayati bir rol oynamaktadır. Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve ülkelerin sanayi yatırımları enerjiye olan ihtiyacı katlanarak arttırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre, dünyadaki toplam enerji ihtiyacının %81'i fosil yakıtlar tarafından karşılanmaktadır. 2000 - 2013 yılları arasında dünyada enerji tüketimi %31 oranında fazlalaşırken karbondioksit (CO_2) salınımındaki artış %34 oranındadır [1]. 2030 yılı sonuna kadar CO_2 emisyonunun 10 milyar ton gibi korkutucu bir rakama ulaşması beklenmektedir [2]. Fosil yakıtlar CO_2 yanında kükürt dioksit (SO_2), nitrojen oksit (NO_x) gibi başka zararlı gazların da atmosfere salınımına neden olmaktadır [3]. Yoğun fosil yakıt tüketimine bağlı doğaya yayılan gazlardan dolayı hem doğal denge bozulmakta hem de insan sağlığı olumsuz yönde etkilemektedir. Bunların çevreye olan olumsuz etkilerinin yanında, doğal gazın komşu ülkelerden ihraç edilmesi enerjide dışa bağımlılığa ve ekonomik açıkların oluşmasına neden olmaktadır.

Coğrafi koşulların uygun ve su kaynaklarının zengin olduğu ülkelerde elektrik enerjisi ihtiyacının büyük kısmı barajlar üzerine tesis edilen hidroelektrik santraller (HES) ile karşılanmaktadır [4]. HES'i, suyun potansiyel enerjisini kinetik enerjiye dönüştürerek ve kinetik enerjiye sahip suyun türbinlere düşürülerek, türbinleri döndürmesiyle elektrik enerjisi üretir [5]. HES, su tutma yapısı, su alma yapısı, iletim kanalları, cebri borular, salyangoz, türbin, jeneratör, transformatörler ve şalt alanından oluşur [6]. Fosil yakıt kullanarak elektrik enerjisi üreten diğer santrallere göre HES, sera gazı salınımı en düşük olan ve doğaya en az zarar veren elektrik enerjisi üretim sistemidir [5, 7]. Türkiye enerji atlası verilerine göre, Türkiye'de bulunan HES sayısı 685 adet olup toplam kurulu gücü 31.336 MW, yıllık elektrik üretimi ise 80.192 GWh'dır. Ülkemizdeki HES'in rezervuarları tamamen boş olup genelde balıkçılık ve turizm amaçlı kullanılmaktadır [8]. Bu yüzeylerin yenilenebilir güneş enerjisi gibi farklı elektrik enerjisi üretim modelleri üzerinde yapılan çalışmalar ile atıl durumda olan yüzeylerin değerlendirilmesi enerjide dışa bağımlı ülkeler için alternatif olarak düşünülebilir.

Yenilenebilir enerji sistemleri, günümüzde enerji üretiminde önemli bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biokütle, jeotermal enerji, hidrolik enerji, hidrojen enerjisi ve dalga enerjisi yenilenebilir enerji sistemlerine örnek olarak verilebilir [9]. Bunların küresel elektrik üretimindeki payı 2019 birinci çeyreğinde %26, 2020 yılının ilk çeyreğinde ise %28'dir [10]. Bu değerler dünyanın yenilenebilir ve çevre dostu enerjiye olan ilgisinin gün geçtikçe arttığını göstermektedir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin en önemli kaynaklarından biri sonsuz ve çevreci enerji sağlayıcımız olan güneştir [11]. Çeşitli hücreli materyaller aracılığıyla güneş enerjisi kolaylıkla elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Hücreli dokular kullanılarak güneş ışınının elektriğe dönüştürüldüğü temel fiziksel işleme fotovoltaiik (FV) etki denir [12]. Bu teknoloji, yüksek verimli silikon güneş pillerinin geliştirilmesinden sonra, en iyi yenilenebilir enerji çözümlerinden biri haline gelmiştir [13].

FV elektrik santralleri, panellerin doğrudan güneş enerjisine olan ihtiyacı sebebiyle, oldukça geniş kurulum alanlarına ihtiyaç duymaktadır. Son yıllardaki çalışmalar ve pratik uygulamalar, güneş panellerinin genellikle; (1) marjinal tarım arazilerine, (2) bina cephelerine ve çatılara, (3) göl, baraj, sulama kanalı ve açık denizlere kurulduğunu göstermektedir [14]. Marjinal tarım arazileri üzerine yapılan uygulamalarda, ormanlık ve doğal yaşam alanlarında azalma ve görsel kirlilik gibi çevre ile ilgili olumsuzluklara sıklıkla rastlanmaktadır [15]. Bununla birlikte toprak, insanların tarımsal faaliyetlerini sürdürdükleri, vazgeçilmez bir sahadır. Bu nedenle, FV sistemlerinin su yüzeyine kurulmasına yönelik araştırmaların sayısı giderek artmaktadır [16]. Yüzen FV (YFV) Güneş Enerji Santrali (GES), okyanuslar, göller, lagünler, rezervuarlar, sulama havuzları, atık su arıtma tesisleri, balık çiftlikleri, barajlar ve kanallar gibi su kütlelerinin üzerine kurulabilir [17]. Su yüzeylerine kurulan YFV-GES'leri, buharlaşan suyun sıcaklığı düşürme etkisinden dolayı, karasal sistemlere göre %15-%22 oranında daha verimlidir [18–20]. Ayrıca, YFV-GES'ler su yüzeyinde yaptıkları gölge nedeniyle yosun oluşumunu azaltmakta, su kalitesini artırmakta ve sudaki buharlaşma miktarını da düşürmektedir [21, 22].

Bu tez çalışmasında, ülkemizde su yüzeyleri üzerinde kurulumu deneysel amaçlı birkaç örnek çalışma ötesine geçmeyen YFV-GES'in kurulumu sayesinde üretebilecek elektrik enerji potansiyeli ortaya konulmuştur. Böylece enerjide dışa bağımlılığı azaltabilecek yenilenebilir bir enerji kaynağı olan YFV-GES ile ilgili bir farkındalık yaratılması ve ülke

ekonomisine katkı sağlanması hedeflenmektedir. Bu kapsamda, YFV-GES'in baraj yüzeylerinde uygun yerlere kurulumu için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Baraj sınırlarının en gerçekçi şekilde belirlenmesi için uydu görüntülerine ve uzaktan algılamanın (UA) görüntü sınıflandırma tekniklerine dayalı bir yöntem kullanılmıştır. Su seviyesinin düşük olduğu tarihler için baraj sınırları tespit edilmiş, bu alan için coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) mekânsal analiz yeteneklerinden faydalanılmıştır. Bu amaçla solar analiz ile güneş enerjisi ışıyım değerleri hesaplanmış ve baraj yüzeyi bu değerlere göre hiyerarşik olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra, baraj yüzeyinin tamamen YFV-GES sistemleri ile kaplanması durumunda elde edilebilecek elektrik enerjisi üretim potansiyeli ve su buharlaşma kazancı hesaplanmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Dünyada, Japonya [23], Malta [24], İspanya [25], İtalya [26], Kore [27–30], Brezilya [31–33], Nijerya [34], Hindistan [3, 35, 36], Avustralya [37], Amerika Birleşik Devletleri [38, 39], Singapur [40], Çin [41], Pakistan [42] gibi ülkelerde YFV kurulumu ya da potansiyeli üzerine birçok önemli araştırma yapılmıştır. Yatırım maliyeti yüksek olan FV sistemlerin kullanılmaya başlamasından günümüze kadar özellikle FV sistemlerinden maksimum verim sağlama üzerine çok sayıda araştırma mevcuttur. Bunların büyük kısmı FV sistemlerin modüler tasarımına odaklanmıştır [43]. Ayrıca, FV panellerin güneşten maksimum fayda sağlayacak alanlara kurulması ve en uygun şekilde konumlandırılması üzerine yapılmış çok sayıda yeni çalışma bulunmaktadır [28, 44].

FV sistemleri için gerekli, güneş radyasyon haritalarının üretilmesinde UA verilerinden faydalanılmıştır [45–64]. Çeşitli uydu görüntülerinden elde edilen veriler ile Avrupa ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Brezilya, Çin, Hindistan, Malezya, Afrika Kıtası, Birleşik Arap Emirlikleri, Umman gibi çok sayıda ülkenin güneş radyasyon haritaları üretilmiştir. Bu haritalar sayesinde istenilen konumdaki FV sistemler için üretim tahminleri yapılmıştır.

Güneş radyasyon haritalarının yanı sıra karasal yüzeylere kurulacak olan FV sistemlerinin gölgelenme etkisinden dolayı kuruldukları yüzeylerde gölgelenme analizinin yapıldığı çalışmalar mevcuttur [65–71]. Marjinal tarım arazilerine kurulacak sistemler için yola yakınlık, trafo merkezine yakınlık, arazi kullanımı, topografik özellikler gibi birçok ölçüt göz önüne alınmaktadır. Bunların etkilerini belirlemek için çok ölçütlü karar verme

analizi [72–79], analitik hiyerarşi süreci [80–85], yapay sinir ağları [86–89] gibi yaklaşımlar kullanılmıştır.

FV-GES'lerin bir diğer uygulama sahası çatılar ve bina cephesine yapılan montajlardır. Yapılara uygulanan santraller genellikle şebekeye bağımlı çalışır. Yapı FV sistem sayesinde kendi elektriğini üretirken ihtiyaç fazlasını şebekeye aktarır. Güneşten ihtiyacın karşılanamadığı durumda da gerekli enerji şebekeden temin edilir. Çatı uygulamalarında çatının eğimi, bakışı ve yüzey alanı gibi etkenler panel yerleşimlerini etkiler. Paneller bu etkiler dikkate alınarak gölgelenmelerden en az etkilenecek şekilde ve uygun eğimde yerleştirilir. Bu kapsamda çatılarda FV panellerin uygun şekilde yerleştirilebileceği yerleri belirlemek için üç boyutlu modelleme odaklı çalışmalar dikkat çekmektedir [90, 91]. Modelleme için genellikle “light detection and ranging” (LiDAR) verileri ve fotogrametrik yöntemler ile elde edilen verilerden yararlanılmıştır [65, 67, 92–102]. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin de çatı modellemede kullanıldığı bazı çalışmalar yapılmıştır [103, 104]. Ayrıca, arazinin topografyasından kaynaklanan gölgelenme etkilerini hesaplamak için sayısal yükseklik modeli (SYM) verilerinden yararlanılmıştır [101, 105, 106]. CBS'nin mekânsal analiz yetenekleri kullanılarak oluşturulan modeller yardımı ile güneş panellerinin tesisi için uygun yerlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar da mevcuttur [47, 107–112].

FV sistemlerinin bir diğer uygulama şekli su yüzeylerine yapılan YFV-GES kurulumlarıdır. Bunların verimliliklerini inceleyen çalışmaların büyük bir kısmı karasal sistemler ile yapılan karşılaştırmalar üzerine kurgulanmış; suyun soğutma etkisinin sağlayacağı avantajları ortaya koyan çalışmalardır [113–115]. YFV-GES'leri yapısal olarak inceleyen çalışmalar da mevcuttur [44, 116–120].

Diğer taraftan, göletler ya da elektrik enerjisi üretim amaçlı barajlar üzerine kurulan YFV-GES'ler su kütlesindeki buharlaşma miktarını azaltır. Özellikle sıcak mevsimlerde, YFV'lerin buharlaşmayı engellemesi sayesinde elde edilen su kazancı üzerine yapılan çalışmalar dikkat çekicidir [121, 122]. Cazzaniga vd. [123], uygulama bölgesindeki baraj yüzeyinin %10'unun kaplanması buharlaşmayı %18 kadar azalttığını tespit etmiştir. Redón Santafé vd. [124], 4.490 m²'lik bir alan YFV sistem ile kaplandığında 5.000 m³ rezervuarın %25 su tasarrufu sağlayacağını göstermiştir. Mittal vd. [125], Hindistan'da Kota barajında yaptıkları çalışmada 1MW YFV-GES'in yılda 37 milyon litrelik suyun buharlaşmasını azaltacağını hesaplamıştır.

Son beş yılda Türkiye’de YFV-GES tasarımları üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İstanbul merkezli özel bir firmanın tasarladığı YFV sistem prototipi Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) destekli olarak tasarlanmış ve Mersin’in Mut ilçesinde bulunan Azmak 2 HES yüzeyinde bir GES kurulmuştur. Eylül 2013’te başlayan ve Ekim 2014’te devreye alınan bu sistem Türkiye’nin ilk yüzer güneş enerji sistemidir [126]. Yakın zamanda İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi desteğiyle Büyükçekmece Gölü üzerinde 120 kW ve 90 kW’lık iki ayrı GES tesis edilmiştir [127]. Ayrıca, Ege Bölgesi’nde Mumcular Barajı’nda YFV-GES’e entegre hidrojen üretim ünitesi ile küçük bir alanın elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması araştırılmıştır [128].

Su yüzeyine tesis edilecek YFV-GES için panellerin yerleştirilebileceği uygun konumların belirlenmesi oldukça önemlidir. Özellikle su dinamiklerinin hızlı değiştiği barajlarda kurulacak YFV-GES için yüzey sınırlarının uzun vadede izlenmesi gerekir [129]. Su yüzey alanlarının tespitinde çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler yersel ölçme yöntemleri [130], küresel navigasyon uydu sistemi (Global Navigation Satellite System-GNSS) [131], fotogrametri [132, 133], LiDAR [134, 135], sentetik açıklıklı radar (Synthetic Aperture Radar-SAR) [136, 137], UA [131, 138] olarak sıralanabilir. Global veri sağlayıcılardan elde edilebilen UA görüntüleri uygun maliyetli, hızlı, güvenilir, tekrarlanabilen, erişimi zor ve geniş alanlar için daha efektif bir teknik olması nedeni ile oldukça fazla tercih edilmektedir [139–144]. UA’nın farklı mekânsal ve radyometrik özelliklere sahip sensörleri ile küresel, bölgesel ve yerel ölçeklerde su yüzeyleri için gözlemler yapılabilir [145]. Kullanıcılar ücretsiz olarak erişebildiği Landsat ve Sentinel uydularına ait görüntüleri piksel tabanlı sınıflandırma teknikleri kullanılarak işlediğinde su dinamikleri ve yüzey sınır değişimlerini belirleyebilir [146]. En Çok Benzerlik sınıflandırması (EÇB) (Maximum Likelihood Classification-MLC), Rastgele Orman (RO) (Random Forest-RF) ve Destek Vektör Makinaları (DVM) (Support Vector Machines-SVM) piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma algoritmalarından birkaç tanesidir [147–153]. K–ortalamar (K-means) algoritması ve Tekrarlı Veri Analizi Yöntemi (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique-ISODATA) algoritması ise en sık kullanılan kontrolsüz sınıflandırma algoritmalarıdır [131, 154]. Bunların yanında nesne tabanlı görüntü analizi (Object Based Image Analysis-OBIA) [154] ve spektral karışım analizi (Spectral Mixture Analysis-SMA) ile alt piksel eşleme [155] gibi yaklaşımlar daha yüksek çözünürlüklü optik görüntülerden

kıyı sınır çizgilerini tespit etmek için kullanılmaktadır. UA çalışmalarında kullanılan ENVI (<https://www.l3harrisgeospatial.com/Software-Technology/ENVI>), ERDAS (<https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagine>), SNAP (<http://step.esa.int/main/doc/tutorials/>), eCognition (<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/ecognition>) gibi çeşitli ticari ve açık kaynak kodlu yazılımlar mevcuttur. Ayrıca, büyük verileri işleme yeteneğine sahip ve bulut ortamında çalışabilen global veri işleme yazılımı “Google Earth Engine” (GEE) (<https://earthengine.google.com>) platformu UA çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen algoritmaların ve yazılımların yanı sıra su yüzeyini diğer detaylardan ayırtmaya yarayan çeşitli su indeksleri geliştirilmiştir [150, 156]. Bu indeksler uygulama bölgelerinin genel karakteristiklerine bağlı olarak değişen farklı bantların özel kombinasyonlarını kullanır. Su indeksleri arasında en bilineni yeşil ve yakın kızılötesi (Near-Infrared-NIR) bant kombinasyonunun cebirsel hesabıyla elde edilen normalize fark su indeksi (Normalised Difference Water Index-NDWI)’dir [157]. Xu [150], yerleşik alanlarda su yüzeyi ve diğer detaylar arasındaki farkı daha fazla ortaya çıkartmak için NDWI’da kullanılan NIR bandı yerine kısa dalga kızılötesi (Short-Wave Infrared-SWIR) bandını kullanmayı önermiştir. Bu yeni bant kombinasyonu modifiye edilmiş normalize fark su indeksi (Modified Normalised Difference Water Index-MNDWI) olarak bilinmektedir.

Su kıyı çizgisinin tespitini çeşitli algoritma ve indekslerle çıkarmaya yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Qiao vd. [158], uydu görüntüsü üzerinden hem spektral hem de mekânsal bilgileri ilgilendiren uyarlanabilir bir su çıkarma yöntemi önermiştir. Sun vd. [156], uzaktan algılanan görüntülerde su özelliklerinin hızlı bir şekilde çıkarılması için iki yeni yöntem önermiştir. İlk yöntem, indeksleri ve bant değerlerini kullanan piksel tabanlı bir prosedürdür. İkinci yöntem, piksel tabanlı sınıflandırmaları nesne tabanlı görüntü bölütleme ile entegre eden bir sistematik kullanır. Kaplan ve Avdan [154], Sentinel-2 görüntülerinde piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemlerini birleştirerek daha doğru sonuçlar elde etmiştir. Guo vd. [147], Landsat görüntülerinde NIR ve SWIR bantları yerine ağırlıklı ortalama değer kullanarak ağırlıklı NDWI indeksini geliştirmiştir. Yang vd. [151], pikselleri bir su indeksi hesaplamasına göre su kütlelerine benzer bir tepkiye sahip olabilecek olası bir gürültü haritasını tahmin ederek otomatik bir gürültü giderme stratejisi önermiştir. Wang vd. [159], GEE ile çok ölçekli sinir ağını (Multi-

scale Convolutional Neural Network) birleştirerek Landsat görüntülerinden kentsel su yüzeylerini çıkartmak için yeni bir yöntem önermiştir. Lv vd. [160], piksel altı ölçeğindeki pikselleri tanımlamak için çift eşik kullanan yeni bir mekasal-spektral tanımlama yöntemi geliştirmiştir. Liu vd. [161], orta çözünürlüklü görüntüleme spektrometresi (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS) görüntülerini kullanarak Tibet Platosu'nda rutin olarak açık su bölüntü haritalarını otomatik olarak oluşturmak için kapsamlı bir piksel altı su haritası yapma algoritması kullanmıştır.

Su kıyı çizgisinin belirlenmesinin yanında su kütlelerinin zamansal değişimlerini inceleyen çalışmalar da mevcuttur. Reis ve Yılmaz [162], UA tekniği kullanarak Seyfe Gölü'nün Landsat uydu görüntülerinden su seviyesinin zamansal değişimini incelemiştir. Adediji ve Ajibade [138], Landsat görüntülerini kullanarak Nijerya'daki büyük barajların yüzey alanlarındaki değişimleri incelemiştir. Calmant vd. [163], 18 yıllık uydu altimetresi verileriyle nehirler ve göllerdeki hacim değişikliklerini incelemiştir. Bastawesy vd. [164], Mısır'ın Tushka Gölü'nün 2002-2006 döneminde hidrolojik rejim davranışını, UA ve CBS teknikleri ile değerlendirmiştir. Gammal vd. [165], Mısır'ın Nasser Gölü'nün 1972-2008 yılları arasındaki su seviyesi ve su hacmi değişimlerini Landsat görüntüleri üzerinden incelemiştir. Sima ve Tajrishy [166], Urmia Gölü'nün 1965-2011 yılları arasındaki zamansal değişimini uydu altimetri verileri kullanarak incelemiştir. Klein vd. [167], Orta Asya'da 1986 yılından 2012 yılına kadar olan su kütle değişimini gelişmiş çok yüksek çözünürlüklü radyometre (National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)) ve MODIS sensörlerinin orta znrlkl UA verilerini kullanarak incelemiştir. Temiz ve Durduran [168], Türkiye'nin Acıgöl Gölü'ndeki kıyı şeridi değişimlerini 1985, 2000, 2015 yıllarına ait çok banlı Landsat görüntüleri üzerinden belirlemiştir. Hossen vd. [152], Manzala Gölü'nün yüzey alanındaki değişiklikleri, arazi kullanımı ve arazi örtüsündeki değişikliklere göre zamansal bir sınıflandırma sürecine dayanarak değerlendirmiştir. Du vd. [169], Xunjiang River'ın 1997, 2001, 2005, 2009, 2014 ve 2018 yıllarındaki durumlarını Landsat görüntüleriyle incelemiştir.

UA ile hem kıyı çizgisinin belirlenmesi olsun hem de su kütlelerinin zamansal takibi olsun yapılan tüm bu çalışmalarda çok sayıda uydu görüntüsünün indirilmesi ve işlenmesi için güçlü merkezi işlem birimi işlemcisine ve yeterli depolama alanına sahip bilgisayar sistemleri gerekir. Bu kapsamda gerçekleştirilecek uzun süreli analizler proje

bütçelerinde ek maliyetlerin ortaya çıkmasına neden olur [170]. Günümüzde bu dezavantajı ortadan kaldırmak için Google firması tarafından, geniş alanlardaki insan yerleşimlerin haritasını yapmak, geçmiş değişimleri incelemek ve mevcut tahminleri sürekli güncellemek için GEE platformu geliştirilmiştir [171]. Bulut ortamında çalışan GEE, Landsat, Sentinel, MODIS gibi ücretsiz bir çok uydu platformların tüm arşivlerine kolay ve eş zamanlı erişebilmektedir [172]. GEE tümleşik geliştirme ara yüzü sayesinde JavaScript ve Python kodlama dilleri ile geliştirme, petabayt ölçeğinde verilere ulaşma ve uygulama olanağı sağlar. Su dinamiklerinin belirlenmesi, su kütlelerinde zamansal değişimlerin saptanması ve mevsimsel değişimlerin izlenmesi konularında GEE oldukça kullanışlı bir platformdur [173]. GEE kullanılarak su yüzeylerini tespit etmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Pekel vd. [174], üç milyondan fazla Landsat görüntüleri kullanarak 1984-2015 arası 32 yıllık su dinamiklerini GEE ile dünya ölçeğinde incelemiştir. Yang ve Chen [175], Wang vd. [176], Wang vd. [177] ve Deng vd. [178], Çin'de göl haritalarını yapmak, maksimum ve minimum su kapsamını belirlemek ve su yüzey değişimlerini izlemek için GEE'den yararlanmıştır. Nguyen vd. [179], GEE platformunda Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) görüntülerinden otomatik su çıkarma indeksi (Automated Water Extraction Index-AWEI) değerlerini kullanarak Yeni Zelanda için tam otomatik bir su yüzeyi çıkarımı gerçekleştirmiştir. Jena vd. [180] ve Bi vd. [181], su yüzeylerinin mevsimsel değişimini tespit etmek için GEE platformunu kullanmıştır.

Su yüzeylerine kurulan YFV-GES'ler için enerji verimliliği, genellikle gölgelenme etkisi göz ardı edilerek hesaplanır [39, 182]. Buna karşın baraj çevresindeki arazinin topografyası ve bölgede bulunan diğer yapay unsurlar su yüzeyinde bazen gölgelenme etkisi oluşturabilir. Günümüzde kullanılan CBS yazılımları gün içinde bir bölgedeki gölgelenme miktarını belirlemeye imkân veren analiz araçları içermektedir. Örneğin; ArcGIS [183] ve GRASS [184, 185] gibi yazılımlarında gölgelenme etkisini dikkate alan solar analiz araçları kullanılarak belirli zaman dilimlerinde coğrafi bir konum için güneş radyasyon değeri hesaplanabilir [64]. Bölgedeki arazi yüzey şekillerini oluşturan yükseklik farklılıkları, eğim değişimleri gibi topografik unsurlar gölgelenme ve güneş radyasyon miktarının hesaplanmasında kullanılan temel faktörlerdir [45, 185].

FV-GES'lerin marjinal tarım arazilerine, bina cephelerine ve çatılara uygulanış biçiminde gölgelenme etkisini dikkate alan oldukça geniş literatür özeti yukarıda verilmiştir. Fakat

YFV-GES sistemlerinin arazi topoğrafyası ve çevresel yapay unsurlardan kaynaklı oluşacak gölgelenme etkisinin araştırılmasına yönelik herhangi bir çalışma mevcut değildir. Sadece Sahu vd. [114], YFV projelerinin verimlilik potansiyelini artırmak için UA ve CBS tabanlı tekniklerin kullanılmasını önermişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

FV tabanlı güç sistemleri dünyada kullanımı hızla artan güneşten gelen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. FV sistemlerin tasarım, kurulum, işletme maliyetleri ile çalışan sistemlerden elde edilecek enerji kazancı arasındaki ilişki, yenilenebilir enerjiye yapacak yatırımcılar ve karar vericiler için oldukça önemlidir. Bu sistemlerden mümkün olan maksimum faydayı sağlamak için kullanılan panel tipi, sistem elemanları arasındaki uyum ve tasarım prensipleri çok iyi irdelenmelidir. Bu unsurların her biri maliyeti ve kazancı doğrudan etkilemektedir. Yüksek maliyetli bir GES'den istenilen verimin alınamaması yapılan yatırımın geri dönüş süresini artırarak elde edilecek kazancı azaltır.

Bu tez çalışması ise maliyet-kazanç ilişkisini coğrafi konuma bağlı olarak ele almaktadır. YFV-GES'in bir baraj rezervuarına kurulması durumunda, bölgenin coğrafi koşullarının enerji kazanımını nasıl etkileyeceğini açıklamaktadır. YFV-GES'in baraj yüzeyine konumlandırılmasında, UA ve CBS tekniklerinin rolü detaylı olarak irdelenmektedir. Bu kapsamda hazırlanan tez çalışması enerjide dışa bağımlılığı azaltabilecek ve ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlayabilecek YFV-GES'in enerji ihtiyacını karşılamadaki etkisini göstermeyi amaçlamaktadır.

1.3 Hipotez

Baraj rezervuarları UA teknolojileri ile belirlenebilir. Global veri sağlayıcılardan elde edilen UA görüntülerinin kullanılması durumunda, bu verileri bölgenin coğrafi konumuna bağlı olarak değerlendirebilecek en uygun tekniklerin belirlenmesi sınır tespitindeki doğruluğu artıracaktır. Baraj rezervuarları, mevsimsel etkiye, sulama ve enerji üretim kullanımlarına bağlı olarak dinamik yapıya sahiptir. Dinamik durum kurulacak olan YFV-GES'i doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, YFV sistemler de karasal FV sistemler gibi yakın çevresindeki arazi topoğrafyasından ya da diğer yüzeysel yapılardan kaynaklanan gölgelenmelerin etkisi altında kalabilir. Gölge alanlar FV panellerin enerji üretim verimliliğini azaltır. Baraj rezervuarında YFV-GES'den en

yüksek verimin elde edileceği bölgenin saptanması kapsamında aşağıdaki hipotezler öngörülebilir:

- Baraj rezervuarlarının sınır değişimleri global veri sağlayıcılardan elde edilen UA görüntüleri yardımıyla belirlenebilir.
- Baraj yüzey sınırının çıkarılması için en uygun UA sınıflandırma algoritmasının ve su çıkarma indeksinin belirlenmesi sınır doğruluğunu artırır.
- Baraj su seviyesinin mevsimsel olarak değişmesiyle ortaya çıkan ve sınırlar içinde kalan unsurlar (ağaç, kayaç vb.) YFV panellerine zarar verebileceğinden önceden tespit edilmelidir.
- Baraj yüzey suyu dinamiklerinin belirlenmesi YFV panellerin tesis edileceği bölgenin planlanmasında önemli bir etkidir.
- Baraj çevresindeki topografya, yüzeydeki toplam ışıınım miktarını etkiler.
- YFV-GES'in kurulacağı yüzey, gelen güneş ışıınım miktarına göre sınıflandırılabilir
- Sınıflandırılan yüzeylerin yıllık ve aylık elektrik enerjisi üretim kapasiteleri hesaplanabilir.
- YFV paneller rezervuardaki suyun buharlaşmasını önler ve bu miktar hesaplanabilir.

Bu bölümde, Güneş'ten gelen ışınların Dünya'ile etkileşimi, Güneş ve Dünya arasındaki geometrik ilişki, Dünya'da ve Türkiye'de Güneş enerjisi, FV Güneş panelleri ve FV panellerinin ışıyım altında etkileşimlerinden bahsedilmiştir.

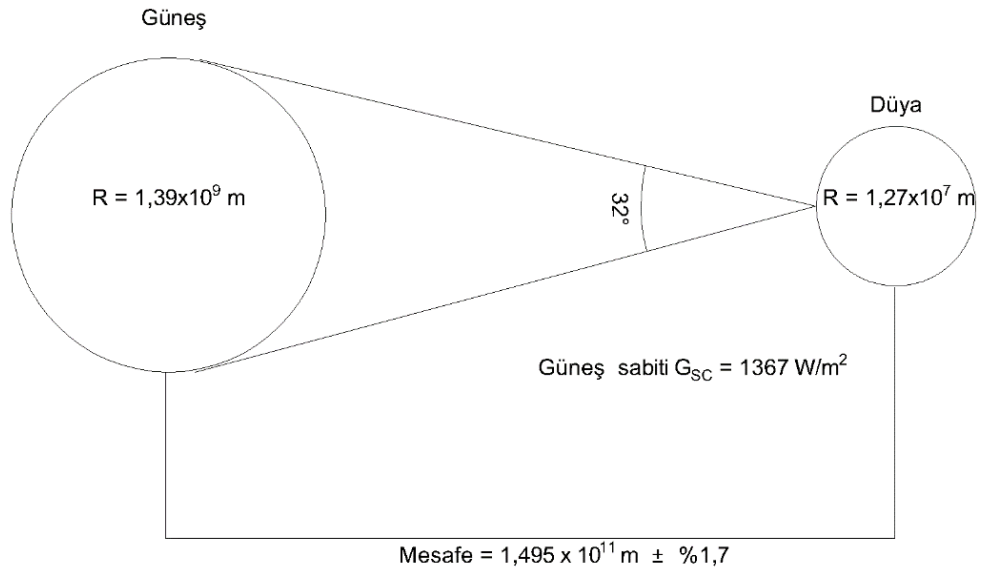
2.1 Güneş ve Dünya İlişkisi

Güneş, Dünya ve diğer gezegenlere enerji sağlayan, büyük okyanus akımlarını, buharlaşma, yoğunlaşma, su döngüsü, fotosentez ile canlıların yaşamını sürdürmesini sağlayan, canlı ve cansız yaşam döngüsünün nihai kaynağıdır. Güneş gama, x-ışınları, ultraviyole (UV), görünür, kızılötesi (Infrared-IR) ve radyo dalgalarına kadar çok çeşitli dalga boylarını içeren enerji yayar [186].

Sıcak gazlardan oluşan Güneş 10^{14} yıldızdan birisidir. Güneş'in Dünya'ya olan uzaklığı yaklaşık 150 milyon km ve çapı $R = 1,39 \times 10^9$ m'dir. Çekirdek sıcaklığı 8×10^6 K ile 40×10^6 K arasında değişmektedir [187]. Güneş, Dünya gibi diğer gezegenlere enerji üretilip dağıtır. Güneş enerjisini hidrojen atom çekirdeğini helyum atom çekirdeğine dönüştürerek nükleer füzyon benzeri bir süreçle üretir. Bu süreçteki fazla kütle Einstein'ın teorisi, $E = mc^2$ 'ye göre enerjiye dönüşür. Dönüşüm esnasında kaybolan 4 milyon ton kütleden $3,86 \times 10^{26}$ jul enerji açığa çıkar. Güneşin ürettiği bu enerjinin çok az bir kısmı yeryüzüne ulaşır [188]. Güneş'in kütlelerinin %40'ını oluşturan 0 ile 0,23R arasındaki bölgede enerjinin %90 üretildiği tahmin edilmektedir. Merkezden 0,7R uzaklıkta yoğunluğunun yaklaşık 70 kg/m^3 iken sıcaklığı 130.000 K'e düşer. 0,7R ile 1R arasında yaklaşık 5000 K sıcaklığa sahiptir ve bu bölge konvektif bölge olarak bilinir [189].

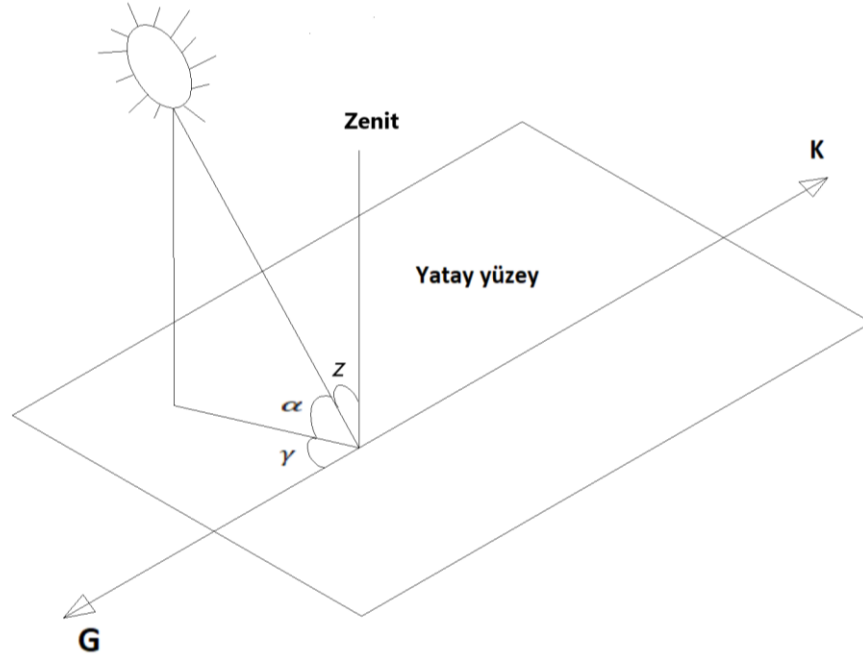
Güneş ve Dünya ilişkisinin geometrik gösterimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Dünya'nın yörüngesinin eksantrikliği, Güneş ile Dünya arasındaki mesafenin %1,7'si oranında değişmektedir. Güneş ve Dünya arası ortalama mesafe $1,495 \times 10^{11}$ m ve Dünya üzerindeki bir noktadan güneşin tamamı 32°'lik bir açıyla görülür. Güneş tarafından yayılan ışıyım Dünya atmosferi dışında neredeyse sabit bir değer alır. Güneş sabiti G_{sc} , atmosfer dışında ortalama Dünya-Güneş mesafesinde ışıyımın yayılma yönüne dik olan

yüzeyin birim alanı üzerinde birim zamanda Güneş'ten alınan enerjidir ve 1.367 W/m^2 'dir [187].



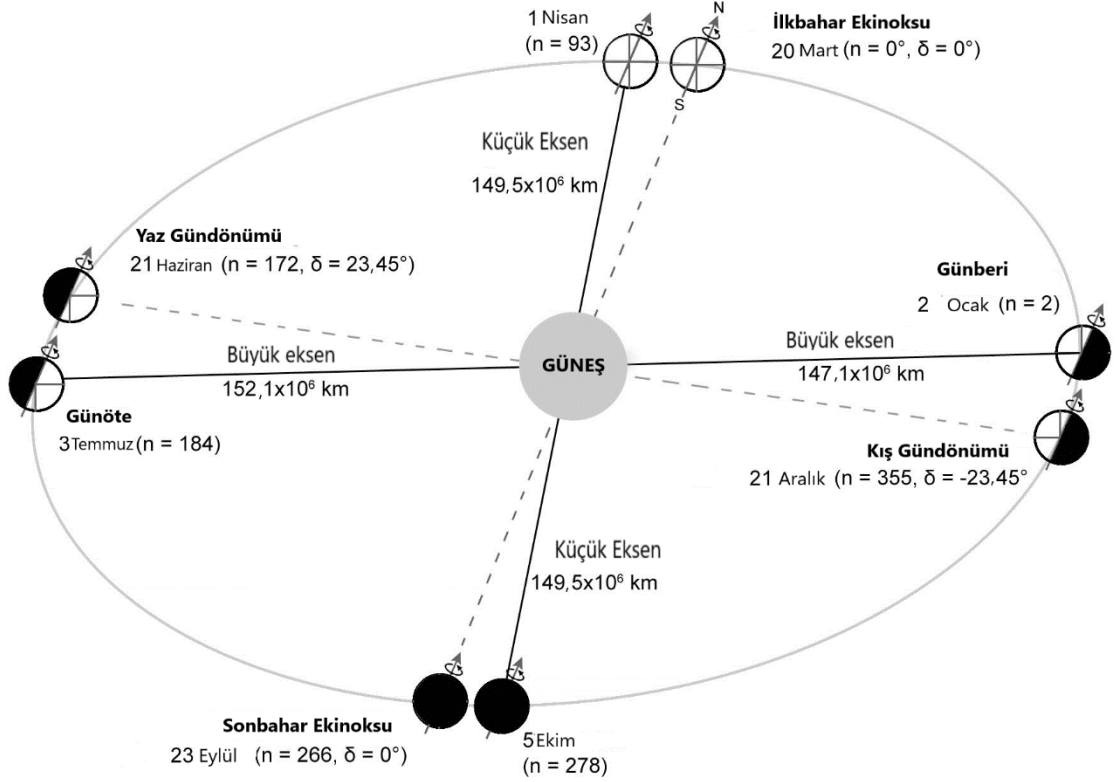
Şekil 2.1 Güneş-dünya ilişkisi [187]

Güneş ve Dünya'nın geometrik ilişkilerini belirlemede kullanılan farklı açılar tanımlanmıştır. Yükseklik açısı (α), Güneş ışınının geliş doğrultusu ile yatay düzlemi arasındaki açı olarak tanımlanırken onun tümleri ise zenit (z) açısı olarak tanımlanır. Azimut açısı (γ), Güneş ve Dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır (Şekil 2.2) [190].



Şekil 2.2 Güneşin yükseklik, azimut ve zenit açısı

Güneşin ekvator düzlemi ile yaptığı bir diğer açı olan deklinasyon açısı 21 Haziran'da $23,45^\circ$, 21 Eylül'de 0° , 21 Aralık'ta $23,45^\circ$, 21 Mart'ta 0° değerlerini alır. Dünyanın dönme eksenini Güneş etrafındaki yörünge düzlemine göre $23,45^\circ$ 'lik bir eğiklik vardır. Dönme eksenini ise her zaman kutup yıldızını gösterir. Ekvator düzlemi ile Güneş ve Dünya merkezlerini birleştiren bir doğru arasındaki açı deklinasyon (δ) açısı olarak isimlendirilir [188]. Dünyanın Güneş etrafındaki yörüngesi Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Dünyanın güneş etrafındaki yörüngesi [188]

Yaz gündönümünde (21 Haziran) Dünya'nın eksenini doğrudan Güneş'e dönüktür, bu nedenle eğim açısı $23,45^\circ$ 'dir. $66,55^\circ$ güneyin altındaki tüm noktalar 24 saat karanlıkta kalmakta kuzeyindeki tüm alanlar ise gün ışığı almaktadır. Güneşin yengeç dönencesinden güneş öğle saatlerinde tepededir. Kış gündönümü (21 Aralık) Dünya'nın eksenini doğrudan Güneş'ten uzak kalır bu nedenle $-23,45^\circ$ güneyin altındaki tüm noktalar 24 saat gün ışığı alırken kuzeyindeki tüm alanlar ise karanlıkta kalır. Oğlak dönencesindeki tüm noktalarda, güneş öğle saatlerinde tepededir. Hem sonbahar hem de ilkbahar ekinokslarında (sırasıyla 23 Eylül ve 21 Mart) Dünya'nın eksenini, Dünya ve Güneş'in merkezlerini birleştiren çizgiye 90° 'dir, dolayısıyla sapma açısı 0° 'dir (Şekil 2.3).

Herhangi bir günde radyan cinsinden deklinasyon açısını hesaplamak için (2.1) eşitliği kullanılır.

$$\delta = 23,45 \frac{\pi}{180} \sin \left[2\pi \left(\frac{284 + n}{365,25} \right) \right] \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte, n gün sayısıdır (1 Ocak'ta $n=1$, 31 Aralık'ta 365 olacak şekilde belirlenir).

Bir diğer açı olan saat açısı ise Güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile göz önüne alınan yerin boylamı arasındaki açıdır (ω). Açılarının çeşitli değerleri bilindiğinde aşağıdaki (2.2) ve (2.3) eşitlikleri kullanılarak hesaplanır [188].

$$\sin\omega = -\frac{\cos\varphi\sin\gamma}{\cos\delta} \quad (2.2)$$

$$\sin\omega = \frac{\sin\varphi - \sin\delta\sin\emptyset}{\cos\delta\cos\emptyset} \quad (2.3)$$

Eşitliklerde, φ enlem açısı, ω saat açısı, γ azimut açısı, $\emptyset$ gözlem açısı, δ deklinasyon açısıdır.

Güneş öğle saatlerinde saat açısı sıfırdır ve saat açısı her bir saatte 15° değiştiği için günün herhangi bir saatinde saat açısı hesaplanabilir. Güneş doğarken saat açıları (negatif açı) ve gün batımında (ω_s) ise pozitif açıdır. Bunlar önemli parametrelerdir ve eşitlik (2.4), (2.5), (2.6) kullanılarak hesaplanır.

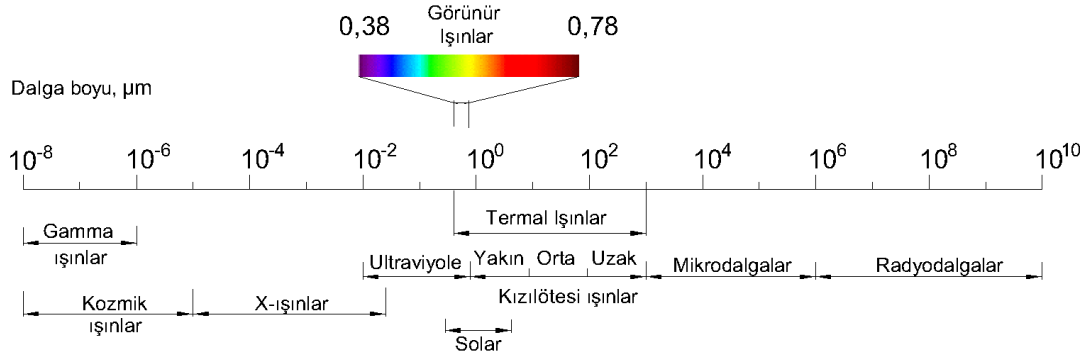
$$\cos\omega_s = -\tan\emptyset\tan\delta \quad (2.4)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\emptyset\tan\delta) \quad (2.5)$$

$$L = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan\emptyset\tan\delta) \quad (2.6)$$

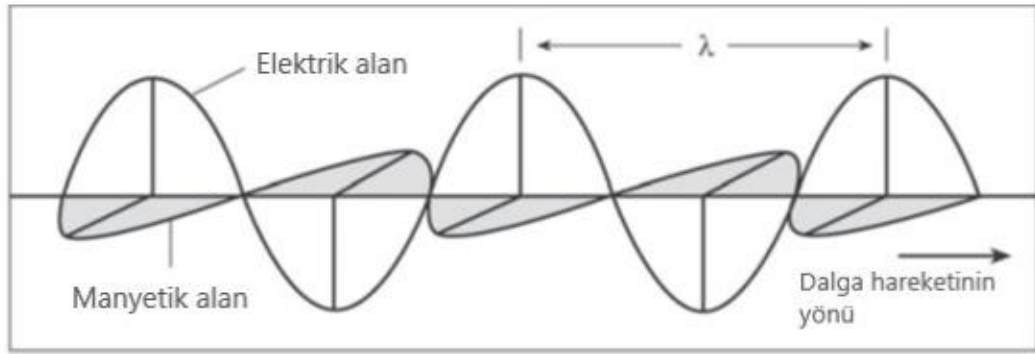
(2.6) eşitliğinde L günün uzunluğu ya da güneşlenme süresi olarak ifade edilir.

Güneşten gelen ışınlar gamma ışınları, x-ışınları, morötesi ışınlar, görünür bölge, kızılötesi, mikrodalgalar, radyo dalgaları, uzun dalgalar şeklinde ayrılır. Bu ayrıma elektromanyetik spektrum denir (Şekil 2.4) [191].



Şekil 2.4 Elektromanyetik spektrum [187]

Işınım, ışığın elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar şeklinde yayılmasına denir. Işınım belirli enerjiye sahip tüm cisimlerden yayılır. Işınımlar elektromanyetik özelliktedir. Elektromanyetik enerjinin yayılımı ışık hızında (c) olup sinüzoidal ve harmonik dalgalar şeklinde yayılan sabit hızda bir enerjidir (Şekil 2.5) [190].



Şekil 2.5 Elektromanyetik enerji [192]

Sinüzoidal şeklinde yayılan elektromanyetik dalganın, iki tepe noktası arasındaki (λ) mesafesi dalga boyu olarak ifade edilir. Dalga boyunu farklı birimlerde metre (m), mikrometre ($\mu\text{m} = 10^{-6}$) veya nanometre ($\text{nm} = 10^{-9}$) ile ifade etmek mümkündür. Frekans (f) ise dalga boylarının birim zamanda bir noktadan geçen sayısını ifade eder. Işık hızı dalga boyu (λ) ile frekansının (f) çarpımına eşit olup yaklaşık $3,10^8$ m/s olarak kabul edilir [193] ve (2.7) eşitliği ile ifade edilir.

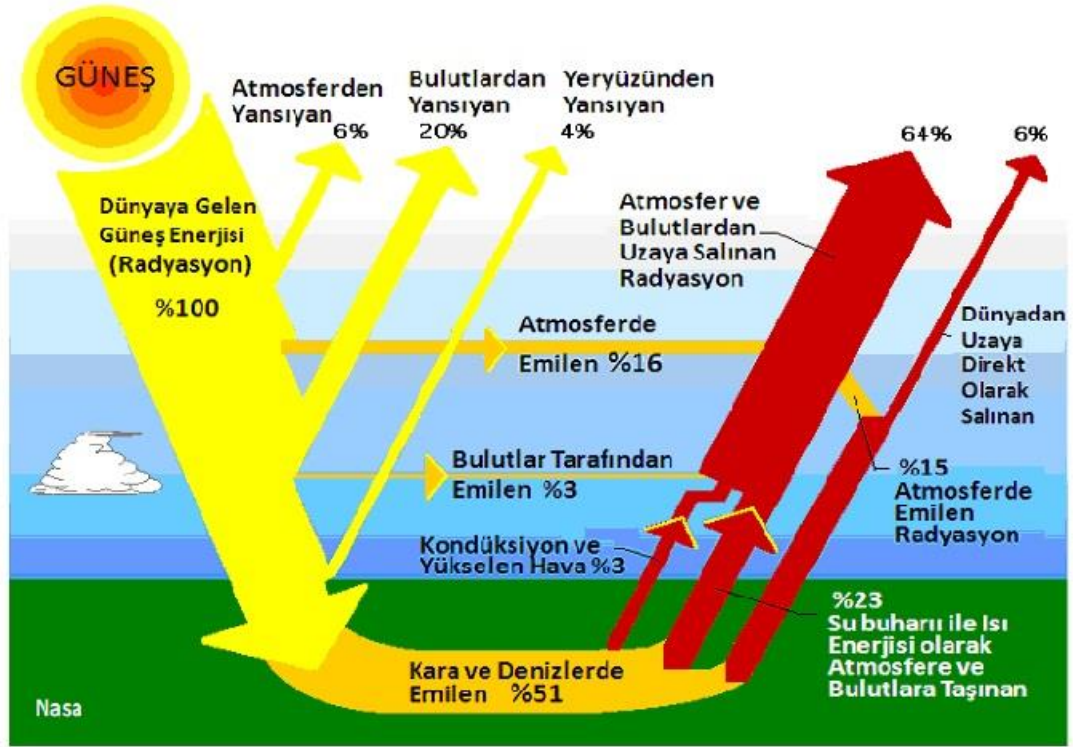
$$c = \lambda \times f \quad (2.7)$$

Her bir ışıma parçacığının sahip olduğu enerji *foton* olarak adlandırılır. Tek bir foton için dalga formunun taşıdığı enerji ise (2.8) eşitliği ile hesaplanır.

$$E = h \times f \quad (2.8)$$

Burada, h planck sabiti olarak ifade edilir ve değeri $6,3 \times 10^{-37}$ joule saniye dir. f ise frekansı ifade eder.

Güneş ışınları atmosferden geçerken çeşitli bileşenler tarafından emilir ve saçılır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınım miktarı büyük ölçüde havadaki partikül, gaz ve su buharının konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Güneşten yeryüzüne gelen enerjinin etkileşimi Şekil 2.6’de gösterilmiştir [188].



Şekil 2.6 Atmosferik radyasyon dengesi [188, 193]

Küresel güneş ışınımı; (1) Dünya atmosferindeki gazların, dağılmış su damlacıklarının ve partiküllerin neden olduğu saçılmadan kaynaklanan dağınık ışınım ve (2) saçılmayan direk ışınımın cebirsel toplamı olarak ifade edilir [188]. Küresel ışınım değerleri FV sistem hesaplamalarında yaygın olarak kullanılır

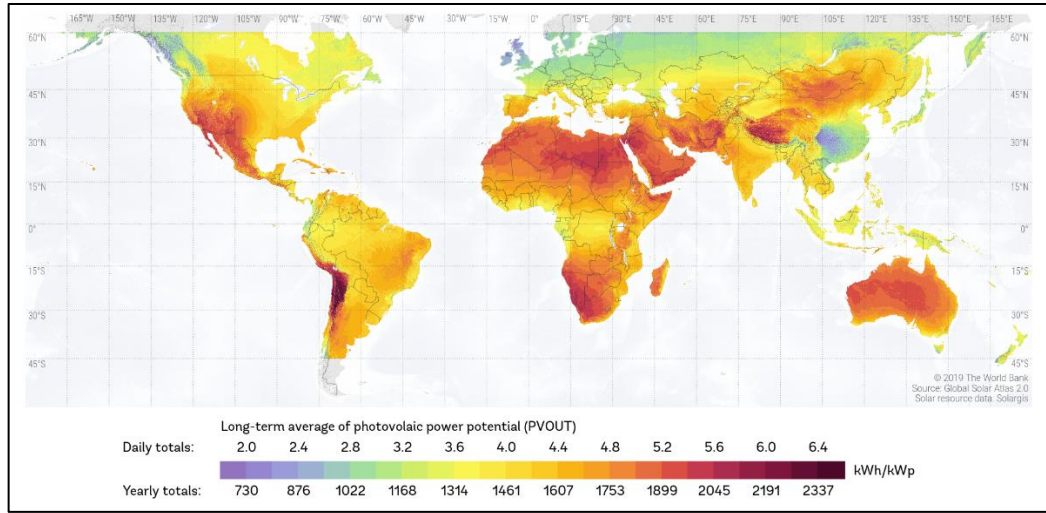
2.2 Güneş Enerjisi

Dünyamız için tükenmeyen tek kaynak olan güneş yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Güneş ışınlarının en fazla ulaştığı bölgeler ekvatorun 35° kuzey ve güney enlemleri arasındadır. Bu bölgeler 1 yılda 2.000-3.500 saat güneş alır ve güneş

potansiyeli 3,5-7 kWh/m²/gün arasında değişir [194]. Dünya'nın değişik bölgelerine ilişkin Güneş ışınlam miktarları Tablo 2.1'de güneşlenme haritası ise Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Dünya’da Güneş ışınlam miktarları [194]

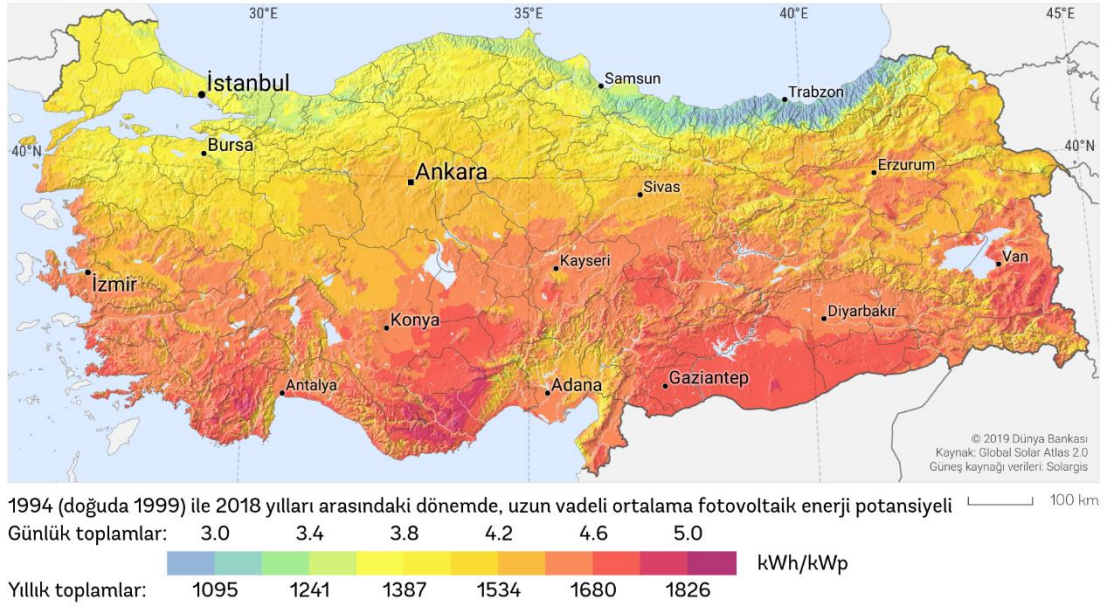
Bölge	kWh/m ²
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1.000
Akdeniz Bölgesi	1.700
Ekvator	2.200



Şekil 2.7 Dünya güneşlenme haritası (URL-1)

2.2.1 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye’nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741,07 saat (günlük toplam 7,5 saat) ortalama toplam ışınlam şiddeti 1.527,46 kWh/m²/yıl (günlük toplam 4,18 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli Şekil 2.8’de, yıllık toplam güneş enerjisi potansiyeli bölgelere göre dağılımı Tablo 2.2’de verilmiştir. Güneş enerjisinden etkin şekilde faydalanabilmek ve enerji üretim amaçlı değerlendirmeler yapmak amacıyla, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanarak kullanıma sunulmuştur [195].



Şekil 2.8 Türkiye'nin güneşlenme haritası (URL-1)

Tablo 2.2 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [196]

Bölge	Toplam güneş enerjisi (kWh/m ² /yıl)	Güneşlenme süresi (Saat/yıl)
G. Doğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

Ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi = 2.741,07 saat/yıl

Ortalama günlük toplam güneşlenme süresi = 7,50 saat/gün

Ortalama yıllık toplam ışıınım şiddeti = 1.527,46 kWh/m²/yıl

Ortalama günlük toplam ışıınım şiddeti = 4,18 kWh/m²/gün

Türkiye, yıllık 110 gün güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Tablo 2.3’de Türkiye’nin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme sürelerinin aylara göre dağılımı verilmiştir [195].

Tablo 2.3 Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı [195]

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² /ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	51,75	103
Şubat	63,27	115
Mart	96,65	165
Nisan	122,23	197
Mayıs	153,86	273
Haziran	168,75	325
Temmuz	175,38	365
Ağustos	158,40	343
Eylül	123,28	280
Ekim	89,90	214
Kasım	60,82	157
Aralık	46,87	103

2.2.2 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Temiz ve yenilenebilir enerji olan güneş birçok kullanım alanına sahiptir. Bunları maddeler halinde sıralarsak [195]:

- Ev, kamu binaları, sanayi tesisleri ve diğer binaların enerji ihtiyaçlarını karşılamada,
- Isıtma, soğutma ve kurutma sistemlerinde,
- Bahçe taşıt ve yolların aydınlatılmasında,

- Trafik işaret lambalarının elektrik ihtiyaçlarını karşılamada,
- Küçük elektronik aletlerin enerji ihtiyacını karşılamada,
- Pasif uydularda ve güneş kulelerinde,
- Güneş enerjisi ile çalışması planlanan araç ve uçaklarda.

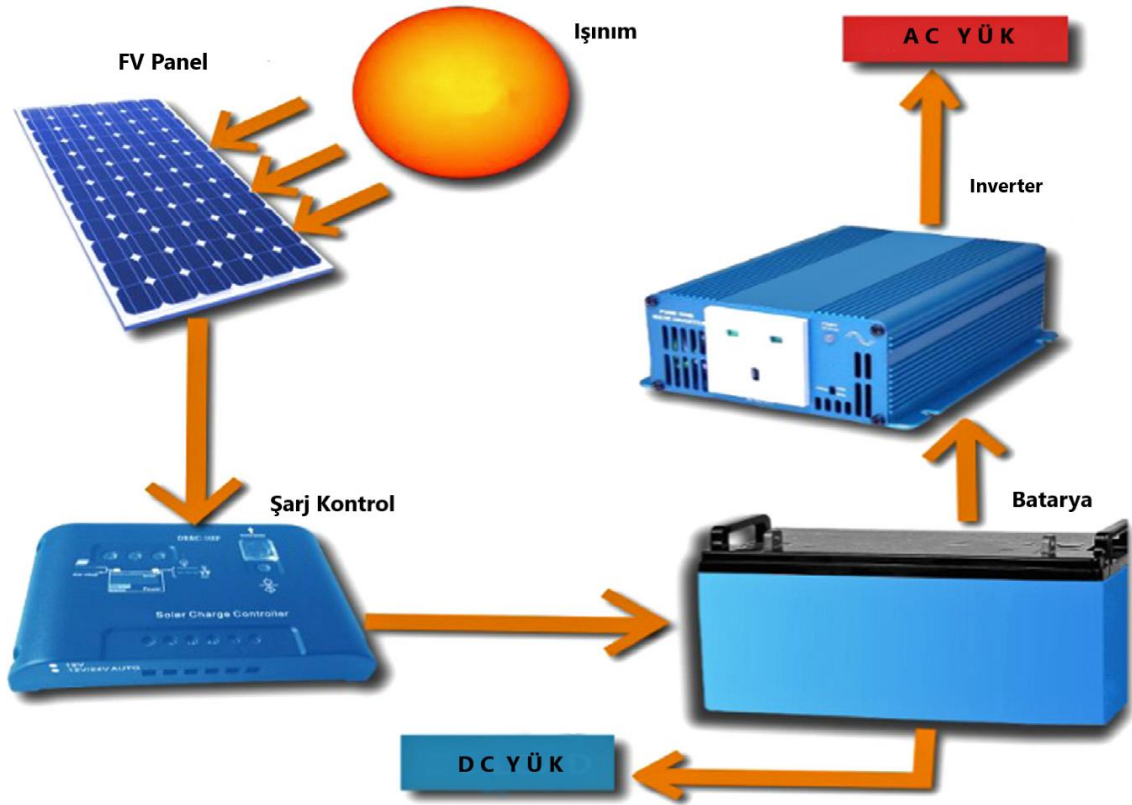
2.2.3 FV Güneş Panelleri

FV; “photo” ışık ve “voltaic” elektrik kelimelerinin birleşiminden ortaya çıkmıştır. FV olayı ilk kez 1839 yılında Fransız bilim adamı Becquerel’in elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemlemesiyle bulunmuştur [197]. FV yüzeyleri kare, dikdörtgen ve daire şeklinde olabilmektedir. Hücreler 100 mm x 100 mm, 125 mm x 125 mm, 156 mm x 156 mm gibi değişik seçenekleri de bulunmaktadır. Kalınlığı ise genellikle 0,1 – 0,4 mm arasındadır. Si (crystal-line), GaAs (thin film), CdTe, InP (crystalline) güneş panellerinde en yüksek verimler sırasıyla %26,7, %29,1, %21,0 ve %24,2 olarak kaydedilmiştir. Alternatif olarak Perovskite, Boya duyarlı ve Organik tip hücreler %21,6, %11,9 ve %13,45 verime ulaşmıştır [198]. Bu bağlamda son yıllarda perovskit, organik ve boyaya duyarlı güneş panellerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar oldukça artmıştır [199–201].

FV sistemler şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız olarak ikiye ayrılır.

2.2.3.1 Şebekeden Bağımsız Sistemler (Off-Grid)

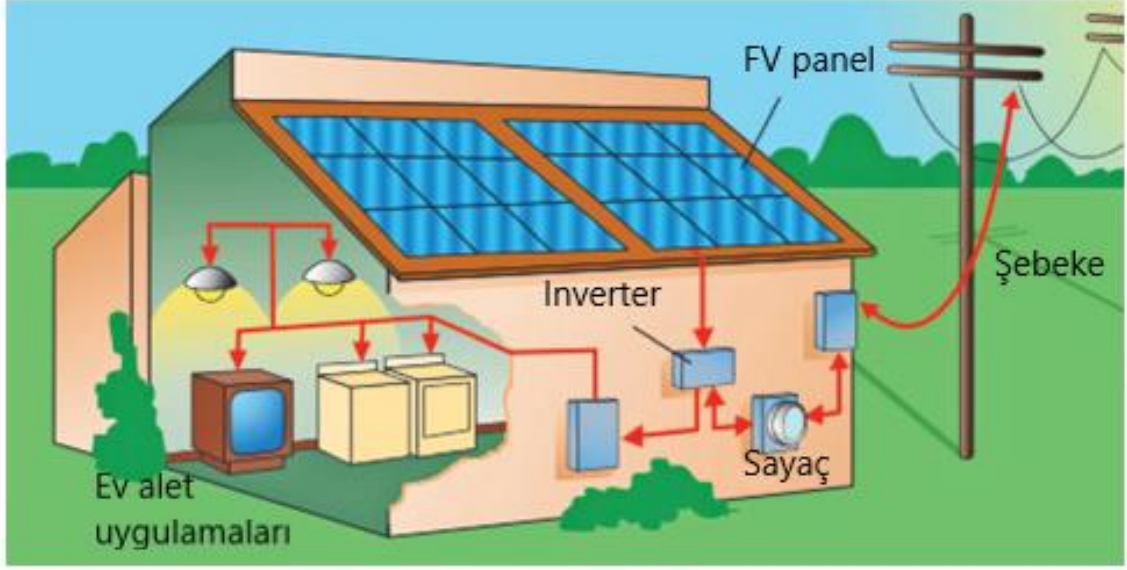
Şebekeden bağımsız sistemler şebeke elektriğinin olmadığı, şebeke hattının çekilmesinin zor olduğu ya da ekonomik olmadığı yerlerde, Telekom istasyonları, yerleşime uzak evler, trafik işaretleri, acil durum aydınlatma sistemleri, sokak aydınlatması, sulama sistemleri, klor dozaj sistemleri vb. yerlerde kullanılır. Şekil 2.9’de görüldüğü gibi FV hücrelerden gelen elektrik enerjisi şarj kontrol cihazından geçerek akülerde depolanır. Akülerde depolanan enerji inverter’de evlerde tüketilen alternatif akıma dönüştürülerek kullanılır [202].



Şekil 2.9 Şebekeden bağımsız sistem [202]

2.2.3.2 Şebekeye Bağlı Sistemler (On-Grid)

Şebekeye bağlı sistemler genellikle konutların, ticari işletmelerin ya da resmî kurumların kendi elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulurlar. Şekil 2.10’da görüldüğü gibi FV panelinden gelen enerji inverter’de dönüştürüldükten sonra ev sigorta panosu ve sayaçla şebeke elektriğine bağlanmaktadır. Çift yönlü sayaç elektrik üretimi ile tüketimini kaydeder. Kullanılan elektriğin fazlası şebekeye aktarılmakta, yetmediği durumlarda ise şebekeden alınmaktadır [203].



Şekil 2.10 Şebekeye bağlı sistemler [203]

Kantaroğlu [204], FV sistemlerin temel bileşenlerinin, şarj kontrol cihazı, aküler, inverter, ve panel bileşenlerinden oluştuğunu söylemiştir.

Şarj kontrol cihazı;

Şarj kontrol cihazının FV sistemindeki görevi gece ve kapalı havalarda panel geriliminin akü gerilimi altına düştüğü durumlarda akımın ters yönde akmasını engeller. Aynı zamanda akülerin fazla enerji ile dolmasını önler.

Aküler;

Aküler diğer ekipmanların üzerine bağlandığı ve elektrik hattından bağımsız sistemlerde üretilen enerjinin depolandığı birimdir. FV sistemlerde kurşun oksit kuru aküler tercih edilir [205]. Islak akülerin maliyeti düşüktür; fakat bakım gereksinimi fazladır. Jel tipi aküler yüklenmesi yavaş olduğundan verimleri düşüktür. FV sistemler için daha uzun dayanıklı akülerin kullanılması daha avantajlıdır. Uzun ömürlü akülerde kurşun plakalar daha kalındır; fakat yüzeyleri daha küçüktür. Bu da yüksek akım üretmesini engeller. %80 verimle yükleme ve boşalma yapılabilir.

Inverter;

Güneş panellerinin ürettiği doğru akımı alternatif akıma çeviren cihazdır. İnverterler, 12-24 volt olan doğru akımı 220 volt 50 Hz şebeke elektriğine çeviriler. Avrupa'da inverterlerin verimliliği için, Avrupa verimliliği olarak adlandırılan ağırlıklı bir verimlilik

ölçüsü kullanılır. KW güç aralığındaki iyi invertörler, büyük merkezi inverterler için %92-%96 ve %98 varan bir verimliliğe sahiptir. Yeni geliştirilmiş inverterler %98 verime ulaşırlar. Maksimum güç noktası (Maximum Power Point-MPP) takibi yapan solar inverterin çalışma aralığı FV panel dizisi ile uyumlu olmalıdır. Solar inverterin çalışma durumu ve üretilen enerji değerleri izlenebilmelidir. MPP'nin değişen güneş ışığına hızlı uyum sağlamalıdır [206].

FV panel;

FV panellerin elektrik enerjisi üretiminde kullanılması, elektromanyetik enerjinin Alman fizikçiler Max Planck ve Albert Einstein'ın 1900 ve 1905'te ışımanın ayrı parçacıklardan oluştuğunu öne sürmeleri ile başlayan sürecin bir parçasıdır. Albert Einstein metal yüzeylerdeki fotoelektrik etkiyi açıklamak için ayırık enerji paketleri ışık miktarı ilkesini kullanmıştır. FV etki bir madde ışıma maruz kaldığında voltaj veya elektrik akımı oluşması olayı olarak tanımlanır [203].

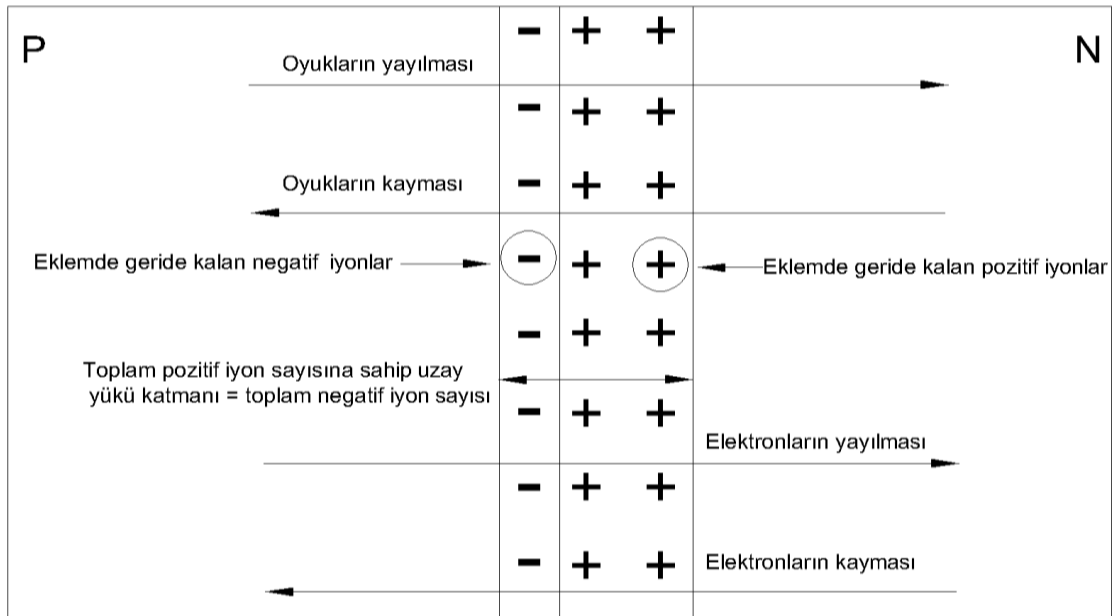
FV panellere düşen güneş ışığının elektrik enerjisine dönüştürülmesini Messenger ve Abtahi [207] aşağıdaki şekilde açıklamıştır.

Bir foton soğurulduğunda, enerjisini malzemedeki bir elektrona vererek soğuran malzemedeki bir atomla etkileşir. Bu enerji transferi, momentumun korunumu ve enerjinin korunumu kurallarına tabidir. Sıfır kütleli foton elektronlara ve oyuklara kıyasla çok küçük bir momentuma sahip olduğundan, bir fotondan bir malzemeye enerji aktarımı, önemsiz bir momentum aktarımı ile gerçekleşir. Fotonun enerjisine bağlı olarak, bir elektron bir atom içinde daha yüksek bir enerji durumuna yükseltilebilir veya atomdan serbest bırakılabilir. Serbest kalan elektronlar daha sonra, sıcaklık, difüzyon veya bir elektrik alanı gibi elektronun hareket etmesine neden olabilecek herhangi bir olguya göre kristal içinde hareket edebilir. Yarı iletken malzemeler, mutlak sıfır sıcaklıkta mükemmel yalıtkanlar olarak karakterize edilirler ve malzemenin sıcaklığı arttıkça iletim için yük taşıyıcıları hazır hale gelir. Bu özellik yarı iletken malzemelerin valans bandı ile iletim bandı arasında bir enerji bandı boşluğu vardır. Valans bandı ana atomlara bağlı olan valans elektronların enerjisini temsil eder. Yarı iletken malzemeler ısıtıldığında valans bandındaki elektronların bir kısmı iletim bandına geçer. Bir elektron valans bandından ayrıldığında oyuk çiftleri oluşur ve bu harekete oyuk hareketi denir.

Yarı iletken malzemelerin bant aralığı gelen güneş ışığını emmesiyle de ilişkilidir. Bir foton enerjisi bant aralığından büyükse yalnızca tek bir oyuk çifti üretir. Foton enerjisinin geri kalanı ise ısı olarak kaybolur. Bu nedenle kullanılan yarı iletkenin elektromanyetik spektrumun maksimum bir yüzdesinin verimli bir şekilde soğrulacağı bir bant aralığı seçilmelidir.

Yukarıda açıklanan yarı iletken malzeme ve güneş ışını etkileşimi FV panellere düşen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüşümdeki temel prensibi açıklamaktadır. Bu prensipler göz önüne alındığında FV panellerin temel yapısında yarı iletken silisyum kristaller kullanılır. Yapısı itibari ile serbest negatif yük olan n-bölgesi ve oyuklardan oluşan p-bölgesiyle bir p-n eklemi vardır.

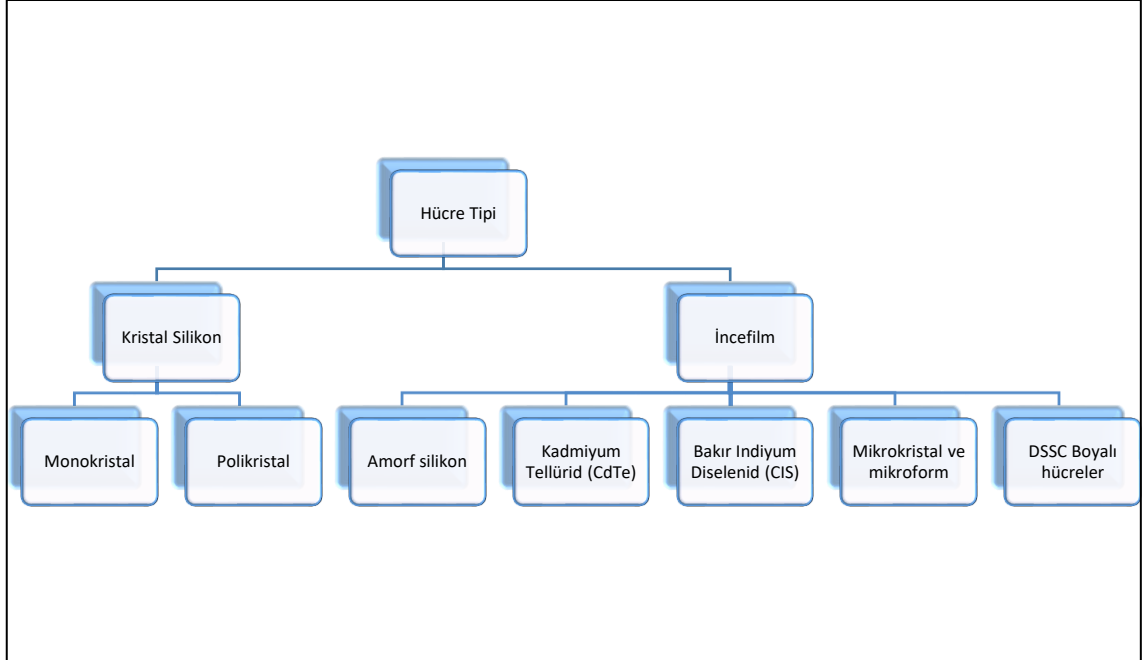
Bu iki bölge arasında bir elektron p-bölgesi için n-bölgesini terk ettiğinde eklem bölgesinde pozitif bir iyon bırakır. Benzer şekilde bir oyuk n-bölgesi için p-bölgesini terk ederse p-bölgesinde negatif bir iyon bırakır. Eklem bölgesinde çok sayıda oyuk ve elektron hareket ederse eklem sınırlarında çok sayıda pozitif ve negatif sabit iyon kalır. Bu sabit iyonlar Gauss yasasının bir sonucu olarak pozitif iyonlarda başlayan ve negatif iyonlarda sonlanan bir elektrik alanı oluşur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Elektron ve oyuklar arasındaki yayılım [207]

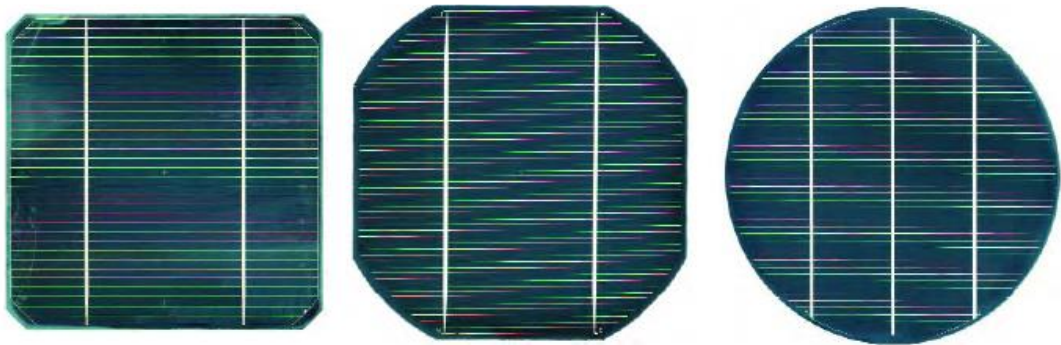
2.2.3.3 FV Panel Tipleri

FV paneller; mono-kristal, poli-kristal ve ince film olmak üzere üç ayrı yapıda üretilirler. FV yapımında en çok silisyum (Si), galyum arsenit (GaAS) ve kadmiyum tellür (CdTe) gibi organik yarı iletken malzemeler kullanılır (Şekil 2.12) [208].



Şekil 2.12 FV hücre tipleri

Mono-kristal hücrelerin yapıları homojendir ve renkleri karakteristik olarak koyu maviden siyaha doğru değişir. Mono-kristal hücreler 4 inç, 5 inç ve 6 inç gibi boyutlara sahip olabilir. Şekilleri dairesel, kare ve yarı köşeli olarak değişebilir (Şekil 2.13) [197].



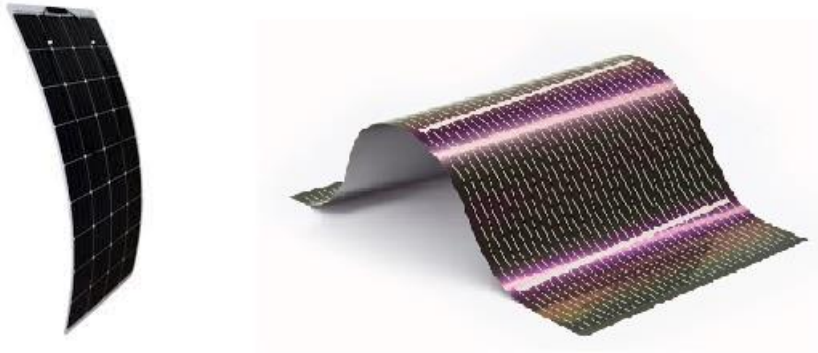
Şekil 2.13 Mono-kristal hücre örnekleri [197]

Poli-kristal hücreler, FV teknolojilerinde en çok kullanılan ve üretilen tiptir. Kristal yapıları kısmen düzgün (heterojen) olduğu için daha az akım taşır ve verimlilikleri mono-kristal hücre tiplerine göre biraz daha düşüktür (Şekil 2.14) [197].



Şekil 2.14 Poli-kristal hücre örneği [197]

İnce filmler, esnek yapıya sahiptir ve verimleri mono-kristal ve poli-kristal hücre tiplerine göre daha düşüktür. Gölge ortamında kullanılma olanakları sayesinde çatı kaplamalarında kullanılmaya elverişlidir (Şekil 2.15). Verimlilikleri %18'lere kadar çıkmış olan ince film güneş panellerinin uzun dönem kullanımı istenilen düzeyde değildir. İnce film güneş panelleri kadmiyum tellürid (CdTe), bakır indiyum diselenid (CIS), mikro-kristal, mikro-form ve boya ile hassaslaştırılmış güneş paneli (dye sensitized solar cell) boyalı hücreler olarak sıralanabilir [204].

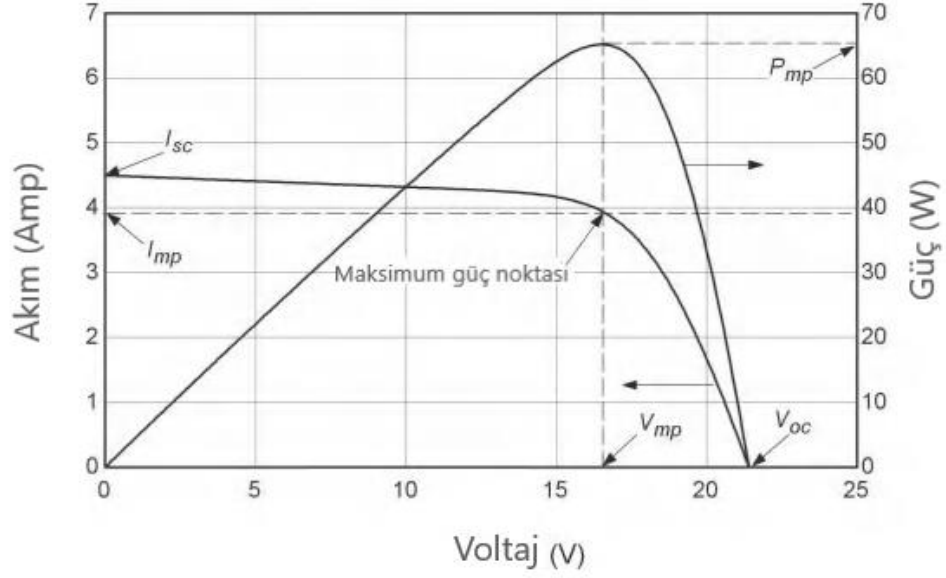


Şekil 2.15 İnce film [209]

2.3 FV Elektrik Enerjisi Üretiminde Karakteristikler ve Modeller

Güneş panellerinin çalışmasının değerlendirilmesi ve tasarımı, elektriksel özelliklere, ısıtım seviyelerine çeşitli hücre sıcaklıklarında hücrelerin voltaj-akım ilişkilerine bağlıdır. Bu ilişkileri Duffie ve Beckman [187] aşağıdaki eşitlikler ile ifade etmiştir.

Tipik bir FV modülünün akım-voltaj (I-V) ilişkisi Şekil 2.16'da verilmiştir.



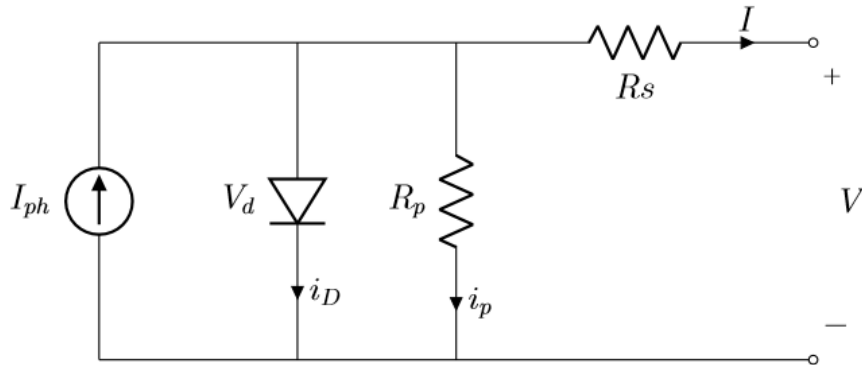
Şekil 2.16 Bir FV modülü için tipik I-V ve P-V eğrileri [187]

İdealde hücreler her zaman maksimum güç noktasında çalışır. Ancak pratikte hücreler yükün I-V karakteristiğiyle eşleşen I-V eğrisi üzerinde bir noktada çalışır.

Sabit birkaç hücreden oluşan veya birkaç panelden oluşan bir grup için kullanılabilen eşdeğer bir devre için (Şekil 2.17) sabit bir sıcaklıkta ve güneş ışınımında I-V özelliği eşitlik (2.9) ile ifade edilir.

$$I = I_L - I_D - I_{sh} = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{a} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.9)$$

Güç ise $P = IV$ dir.



Şekil 2.17 FV panelin tek diyotlu eşdeğer devresi [210]

Bu denklemde, beş parametrenin bilinmesi gerekir bu parametreler I_L ışık akımı, I_0 diyot ters akımı, R_s seri direnç, R_{sh} paralel direnç, a ise bir parametredir. Burada modifiye idealite faktörü olarak adlandırılan a fiziksel sabitler ve n parametresi ile ilişkilidir. $a \equiv nkTN_s/q$ burada tek bilinmeyen idealite faktörü n dir (İdeal bir diyot için 1'e eşittir ve tipik olarak 1 ile 2 arasında bir değer alır). k Boltzmann's sabitidir ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K), T hücre sıcaklığıdır. N_s hücre serilerinin sayısı, q elektron yüküdür. Modeldeki beş parametre, üretici tarafından sağlanan referans koşullarda bir panelin akım ve gerilim özelliklerinin ölçümleri ve bilinen diğer FV özellikleri kullanılarak elde edilir. FV elektriksel ölçümler genellikle standart koşullar (1000 W/m^2 ışınım, 25°C ve 1.5 hava kütlesi) altında yapılmaktadır.

Beş parametre belirleneceği için beş farklı koşulun bilinmesi gerekir. Burada benimsenen yöntem, bilinen üç I-V noktasını, gerilime göre gücün türevinin sıfır olduğu maksimum güç noktasındaki koşulu ve açık-devre geriliminin sıcaklık katsayısını kullanmaktır.

Hücre çıkışının kısa-devre olması durumunda voltaj sıfır ve akım eşitlik (2.10) ile ifade edilir.

$$I_{SC,ref} = I_{L,ref} - I_{0,ref} \left[\exp \left(\frac{I_{SC,ref} R_{s,ref}}{a_{ref}} \right) - 1 \right] - \frac{I_{SC,ref} R_{s,ref}}{R_{sh,ref}} \quad (2.10)$$

Açık-devre koşullarında akı sıfır ve voltaj eşitlik (2.11) ile ifade edilir.

$$I_{L,ref} = I_{0,ref} \left[\exp \left(\frac{V_{oc,ref}}{a_{ref}} \right) - 1 \right] + \frac{V_{oc,ref}}{R_{sh,ref}} \quad (2.11)$$

Maksimum güç koşullarında ölçülen I-V çifti (2.9) eşitliğinde yerine koyulduğunda eşitlik (2.12) elde edilir.

$$I_{mp,ref} = I_{L,ref} - I_{0,ref} \left[\exp \left(\frac{V_{mp,ref} + I_{mp,ref} R_{s,ref}}{a_{ref}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{mp,ref} + I_{mp,ref} R_{s,ref}}{R_{sh,ref}} \quad (2.12)$$

Gücün gerilime göre türevinin sıfıra eşit olduğu dördüncü koşul eşitlik (2.13) ile ifade edilir.

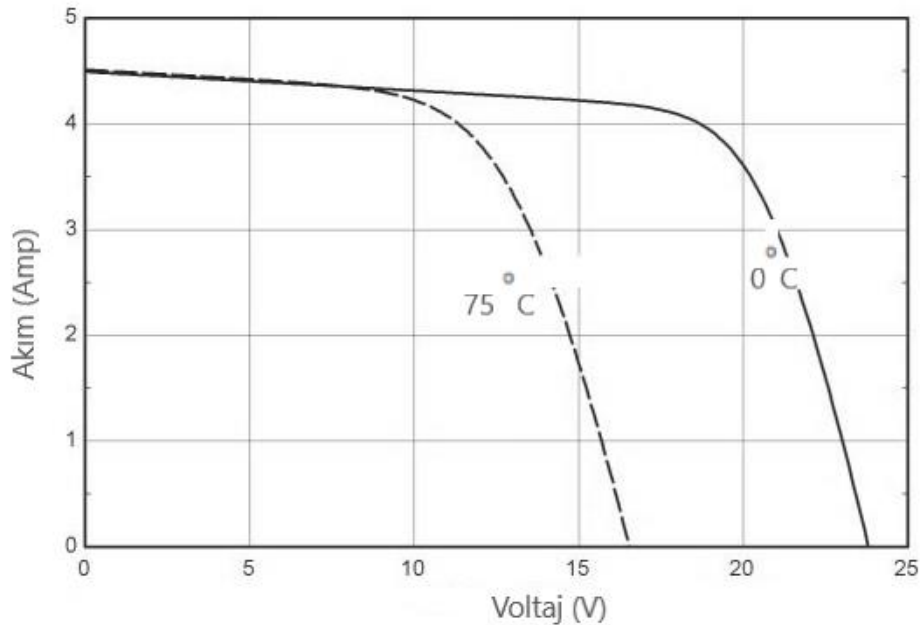
$$\frac{I_{mp,ref}}{V_{mp,ref}} = \frac{\frac{I_{0,ref}}{a_{ref}} \exp\left(\frac{V_{mp,ref} + I_{mp,ref} R_{s,ref}}{a_{ref}}\right) + \frac{1}{R_{sh,ref}}}{1 + \frac{I_{0,ref} R_{s,ref}}{a_{ref}} \exp\left(\frac{V_{mp,ref} + I_{mp,ref} R_{s,ref}}{a_{ref}}\right) + \frac{R_{s,ref}}{R_{sh,ref}}} \quad (2.13)$$

Son koşul, açık-devre voltajının bilinen sıcaklık katsayısının model tarafından doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlar ve sonuç olarak eşitlik (2.14) ile ifade edilir.

$$\frac{\partial V_{oc}}{\partial T} = \mu_{V,oc} \approx \frac{V_{oc}(T_c) - V_{oc}(T_{c,ref})}{T_c - T_{c,ref}} \quad (2.14)$$

T_c hücre sıcaklığı için seçilen değer çok önemli değildir. T_c sıcaklığında açık-devre gerilimi, $I=0$ olan (2.9) eşitliği ile bulunur. Fakat V_{oc} bu denklemde açıkça çözülemediğinden sayısal yöntemler kullanılmalıdır. Ayrıca a , I_L ve I_0 çalışma koşullarına göre nasıl değiştiğine dair genel ilişkiler elde etmek gerekir.

Şekil 2.18 sıcaklığın bir panelde I-V karakteristiği üzerindeki etkisini gösterir, sabit bir ışınlım seviyesinde, artan sıcaklık açık devre voltajının azalmasına ve kısa devre akımının biraz artmasına sebep olur.



Şekil 2.18 0 °C ve 75 °C sıcaklıklarda bir FV modülünün I-V özellikleri [187]

Yarı iletken teorisine göre a 'nın tanımı idealite faktörünün n sıcaklığa bağlı olmadığını varsayarsak, Eşitlik (2.15) elde edilir.

$$\frac{a}{a_{ref}} = \frac{T_c}{T_{c,ref}} \quad (2.15)$$

Işık akımı, emilen etkin güneş ışınlımına, hücre sıcaklığına ve kısa-devre akımı sıcaklık katsayısına ($\mu_{I,sc}$) bağlıdır. Herhangi bir çalışma koşulu için ışık akımı I_L referans koşullarda eşitlik (2.16) ile ifade edilir.

$$I_L = \frac{S}{S_{ref}} [I_{L,ref} + \mu_{I,sc}(T_c - T_{c,ref})] \quad (2.16)$$

Burada, S/S_{ref} soğrulan güneş ışınlımı oranıdır. Referans parametrelerini bulmak için Eşitlik (2.16) kullanılır.

Paralel direnç esasen R_{sh} sıcaklıktan bağımsız olarak bulunur, ancak emilen ışınlıma göre değişir. Açık-devre koşullarında I-V eğrisinin eğimi, yoğunlaştırıcı olmayan ışınlım seviyelerinin negatif tersine yaklaşık olarak eşittir. Birçok modern hücre çok küçük negatif eğim paralel dirence sahiptir. Yani $V=0$ 'da dI/dV yaklaşık olarak $-1/R_{sh}$ eşittir. Referans koşullarda paralel direnci çalışma koşullarıyla ilişkilendirmek için eşitlik (2.17) kullanılır.

$$\frac{R_{sh}}{R_{sh,ref}} = \frac{S_{ref}}{S} \quad (2.17)$$

Seri direncin hem sıcaklıktan hem de güneş ışınlımından bağımsız olduğu varsayılır bu yüzden eşitlik (2.18) ile ifade edilir.

$$R_s = R_{s,ref} \quad (2.18)$$

Referans koşullardaki beş parametreyi belirlemek için (2.10-2.14) denklemleri aynı anda çözülmelidir. Bu denklemlerin lineer olmayan yapısı nedeniyle başlangıç tahminleri ve değişken limitler kullanılmadıkça çözülemezler. Modern hücreler için paralel direnç yüksek olmalıdır. Bu nedenle R_{sh} için bir tahmin 100Ω makul kabul edilir. a_{ref} için iyi bir başlangıç tahmini $1,5kT_{ref}N_s/q$ alınır. Eşitlik (2.10)'da ikinci ve üçüncü terimler

küçüktür, bu da $I_{L,ref}$ için başlangıçta $I_{sc,ref}$ ’in iyi tahmin edilmesini sağlar. Eşitlik (2.12) -1’den sonraki terim ihmal edilirse $I_{o,ref}$ iyi bir tahmini $I_{sc,ref} \exp\left(-\frac{V_{oc,ref}}{a_{ref,guess}}\right)$ olur. Son olarak $R_{s,ref}$ için iyi bir tahmin, ancak R_{sh} ’ın çok büyük olduğu varsayıldığında son terim ihmal edilebilir. Bu nedenle denklem $R_{s,ref}$ tahmin için çözülebilir. Referans koşullardaki parametreler için değerler bulunduğunda, herhangi bir çalışma koşulundaki parametreleri bulmak için eşitlik (2.15) ve (2.18) kullanılır.

Bazen model için maksimum güç noktasının bulunması istenir. Bu amaç için eşitlik (2.19) ve (2.20) eşitliklerinin eşzamanlı çözümü maksimum güç noktasının akımını ve voltajını verir.

$$\frac{I_{mp}}{V_{mp}} = \left[\frac{\frac{I_0}{a} \exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp}R_s}{a}\right) + \frac{1}{R_{sh}}}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}} + \frac{I_0R_s}{a} \exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp}R_s}{a}\right)} \right] \quad (2.19)$$

$$I_{mp} = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp}R_s}{a}\right) - 1 \right] - \left[\frac{V_{mp} + I_{mp}R_s}{R_{sh}} \right] \quad (2.20)$$

Bir FV panelin maksimum güç noktası verimliliğinin sıcaklığa bağlı olması gibi sistem performansının tahmin edilmesinde de önemli bir parametredir. Bir panelin maksimum güç noktası verimliliği eşitlik (2.21) ile ifade edilir.

$$\mu_{mp} = \frac{I_{mp}V_{mp}}{A_c G_T} \quad (2.21)$$

Bu verimliliğin sıcaklığa bağlılığı maksimum güç noktası sıcaklık katsayısı $\mu_{\mu,mp}$ cinsinden ifade edilir ve eşitlik (2.22) ile yeniden ifade edilir.

$$\mu_{mp} = \mu_{mp,ref} + \mu_{\mu,mp}(T_c + T_{c,ref}) \quad (2.22)$$

Bir sıcaklık aralığında maksimum güç verimliliği için hücre modeli çözülerek $\mu_{\mu,mp}$ değeri elde edilebilir. Maksimum güç noktası verimliliği sıcaklığın lineer bir fonksiyonu olarak görülür ve bu ve birçok modül için aynı zamanda güneş radyasyonunun bir fonksiyonudur. $\mu_{\mu,mp}$ ’yi tahmin etmek için eşitlik (2.23) kullanılır.

$$\mu_{\mu,mp} = \frac{d\mu_{mp}}{dT} = \left(I_{mp} \frac{dV_{mp}}{dT} + V_{mp} \frac{dI_{mp}}{dT} \right) \frac{1}{A_c G_T} \quad (2.23)$$

Birçok panel için $\mu_{I,sc}$ küçüktür. dI_{mp}/dT yaklaşık sıfır ve dV_{mp}/dT yaklaşık dV_{oc}/dT 'ye eşittir. Bu yaklaşımlarla, maksimum güç verimliliğinin sıcaklık katsayısı eşitlik (2.24) ile ifade edilir.

$$\mu_{\mu,mp} \approx \frac{I_{mp}}{A_c G_T} \frac{dV_{oc}}{dT} = \mu_{mp,ref} \frac{\mu_{Voc}}{V_{mp}} \quad (2.24)$$

2.4 Hücre Sıcaklığı

Bir FV panelin çalışma sıcaklığı bir enerji dengesi ile belirlenir. Bir panelin emdiği güneş enerjisi kısmen ısı enerjisine kısmen de elektrik enerjisine dönüştürülür. Hücre sıcaklığının kontrolü, su soğutması gibi sistemler ile gerçekleştirilir. Hücrelerin en iyi şekilde çalışması için kombine sistemlerin olası uygulamaları düşük sıcaklıklarda termal enerjiye ihtiyaç duyulan durumlarla sınırlayan mümkün olan minimum sıcaklıkta olmalıdır [187].

Çevreye olan kayıplar da göz önünde bulundurularak soğutulan bir panelin birim alan üzerindeki enerji dengesi eşitlik (2.25) ile ifade edilir.

$$(\tau\alpha)G_T = \eta_c G_T + U_L(T_c - T_a) \quad (2.25)$$

Burada, $(\tau\alpha)$ gelen ışıının ile çarpıldığında emilen enerjiyi veren etkin geçirgenlik-soğurma olarak bilinir ve η_c gelen ışıını elektrik enerjisine dönüştürmede panelin verimliliğidir. Bu verimlilik maksimum güç noktasına ne kadar yakın olduğuna bağlı olarak sıfırdan maksimum panel verimliliğine kadar değişecektir. Nominal çalışma hücresi sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature-NOCT) hücrelerin normal durumda 800W/m^2 güneş ışıının seviyesinde 1 m/s rüzgâr hızında ve $20\text{ }^\circ\text{C}$ hücre sıcaklığında hücrelerin ulaştığı sıcaklık olarak tanımlanır.

Hücre sıcaklığı, ortam sıcaklığı güneş ışıının ölçümleri, NOCT koşullarında eşitlik (2.26) ile ifade edilir.

$$(\tau\alpha)G_{T,NOCT} = U_{L,NOCT}(T_{NOCT} - T_{a,NOCT}) \quad (2.26)$$

Herhangi bir ortam sıcaklığındaki hücre sıcaklığı eşitlik (2.27) ile ifade edilir.

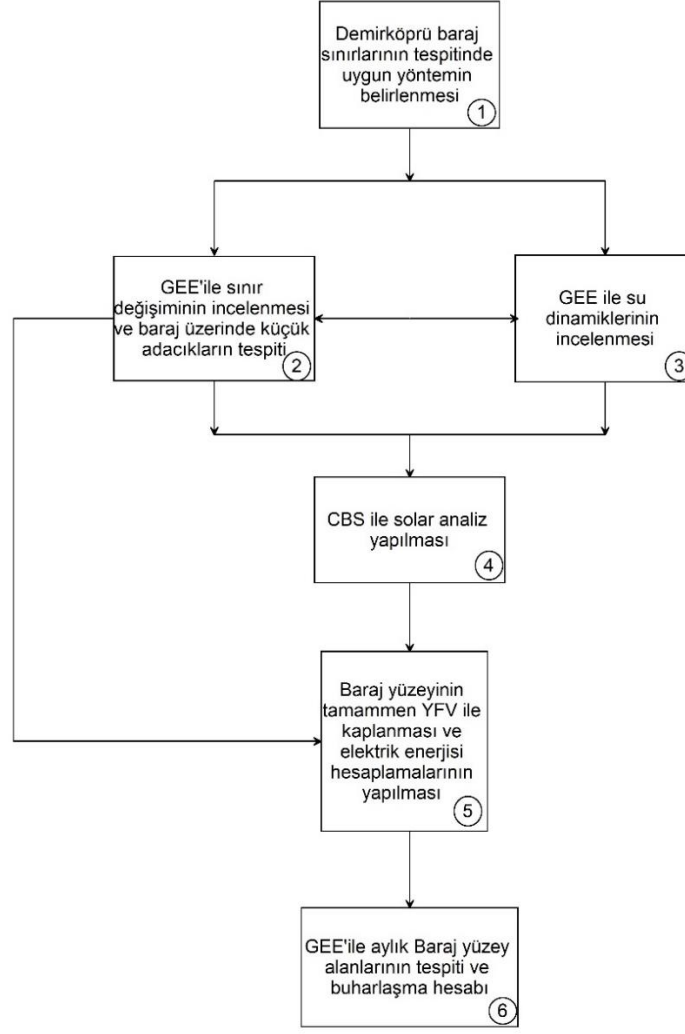
$$\frac{T_c - T_a}{T_{NOCT} - T_{a,NOCT}} = \frac{G_T}{G_{NOCT}} \frac{U_{L,NOCT}}{U_L} \left[1 - \frac{\eta_c}{(\tau\alpha)} \right] \quad (2.27)$$

Eşitlik (2.27)'de son terim $(\tau\alpha)$ genellikle bilinmez, fakat $\eta_c/(\tau\alpha)$ terimi küçük olduğu için 0,9 kullanılabilir. Eşitlik (2.27) rüzgâr hızı ile hücre sıcaklığındaki değişim hesaba katılmamaktadır. NOCT'de fiili çalışma koşulları eşitlik (2.28) ile ifade edilir.

$$\frac{T_c - T_a}{T_{NOCT} - T_{a,NOCT}} = \frac{G_T}{G_{NOCT}} \frac{9,5}{(5,7 + 3,8V)} \left[1 - \frac{\eta_c}{(\tau\alpha)} \right] \quad (2.28)$$

Burada, V m/s cinsinde yerel rüzgâr hızıdır. Tasarım uygulamalarında rüzgâr hızı nadiren bilinir. NOCT testinde kullanılanla aynı değilse o zaman eşitlik (2.27) ve (2.28) tahminler doğru olmayacaktır.

Bu tez çalışması konu kapsamı ve bütünlüğü açısından altı aşamada ele alınmıştır (Şekil 3.1). Birinci adımda Demirköprü Barajı'nın sınırlarının tespit edilmesi için kullanılacak yaklaşımın belirlenmesine odaklanılmıştır. İkinci adımda Demirköprü Barajı'nın 20 yıllık sınır değişimleri incelenmiş ve en düşük su seviyesinde baraj sınırlarının durum tespiti yapılmıştır. Üçüncü adımda, Pekel vd. [174] tarafından geliştirilen yöntemle göre bölgenin 32 yıllık su dinamiği verileri ile bu çalışmada elde edilen 20 yıllık sınır değişimleri karşılaştırılmıştır. Dördüncü adımda bölgenin güneş enerjisi potansiyeli CBS'nin solar analiz aracıyla belirlenmiştir. Beşinci adımda baraj yüzeyinin YFV paneller ile kaplanması durumunda yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli hesaplanmıştır. Altıncı adımda baraj yüzeyinin FV panelleri ile kaplanması durumunda elde edilecek su buharlaşma kazancı hesaplanmıştır.

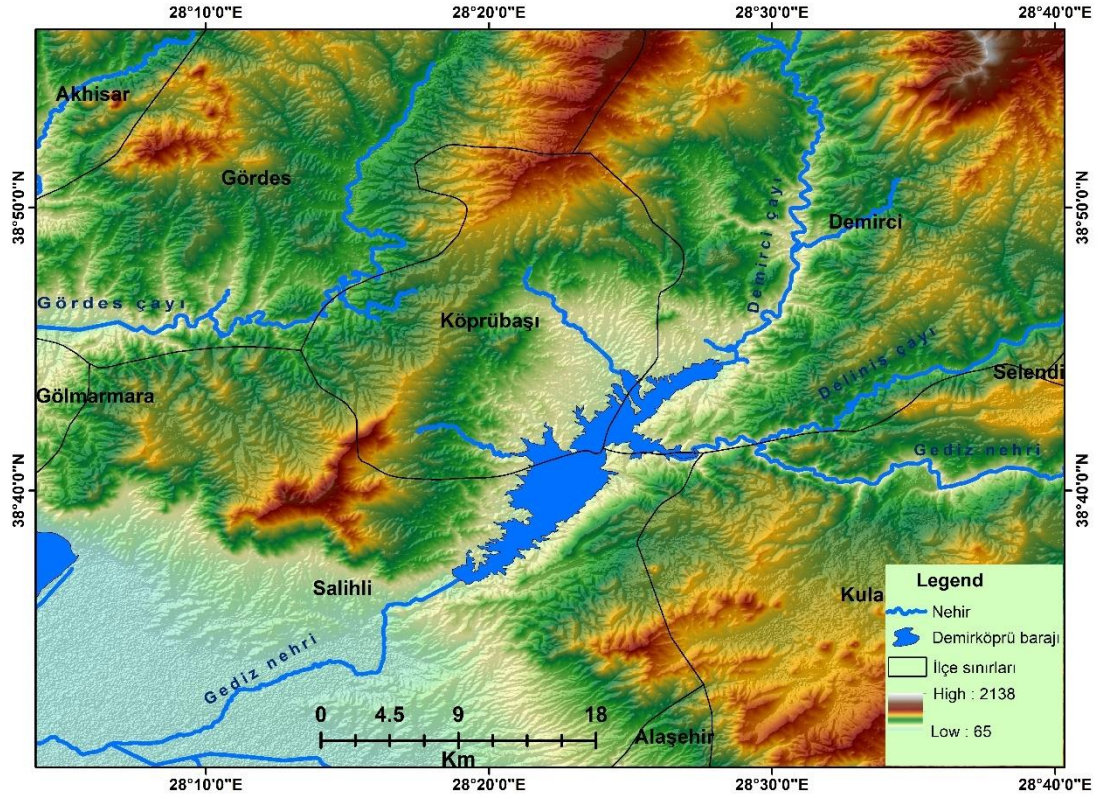


Şekil 3.1 Genel iş akış şeması

3.1 Çalışma Alanı

Bu çalışma Türkiye'nin güney batısında Manisa ili sınırları içinde yer alan, tarımsal sulama, taşkın kontrolü ve enerji üretimi için 1960 yılında faaliyete geçirilmiş olan Demirköprü Barajı'nda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Demirköprü Barajı kuzeyden Demirci Çayı ve doğudan Deliniş Çayı ve Gediz Nehri ile beslenmektedir. Baraj çevresinde meşe ormanları, tarımsal araziler ve atıl araziler mevcuttur. Arazi topografyası dalgalı formda olup, bölgede Akdeniz iklimi hâkimdir. Toprak gövde dolgu tipi olan barajın alanı ve su hacmi sırasıyla ortalama $30.000.000 \text{ m}^2$ ve $4.300.000 \text{ m}^3$ 'tür [211]. Bölgedeki $992.200.000 \text{ m}^2$ tarımsal alanın sulaması Demirköprü Barajı'ndan yapılmaktadır. Baraj üzerinde 69 MW güç kapasitesine sahip ve yılda 193 GWh elektrik enerjisi üreten bir HES kuruludur. Sulama amaçlı kullanımlara, elektrik üretimine ve

mevsimsel geçişlere bağlı olarak baraj sınırları ve su hacmi sıklıkla değişkenlik göstermektedir. Bölgede her yıl ağustos ayının başından ekim ayının sonuna kadar tarımsal sulama faaliyetleri yapılmaktadır. Ayrıca, temmuz ve kasım ayları arasında bölgede sıcak iklim hüküm sürdüğünden su buharlaşma miktarı artmaktadır. Bu süreçte baraj alanı ve su seviyesi genellikle ortalama değerin altına düşerek minimum değerlere yaklaşmaktadır.



Şekil 3.2 Çalışma alanı haritası

3.2 Kullanılan Uydu Platformları ve Özellikleri

Landsat-5 Thematic Mapper (TM), Landsat-8 (OLI) ve Sentinel-2 Multi-Spectral Instrument (MSI) görüntüleri, sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar (USGS) ile Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration-NASA) ortaklığı ve Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency-ESA) tarafından veri sağlama platformlarıdır. Bu çalışmada Landsat-5, Landsat-8 ve Sentinel-2 görüntüleri kullanılmıştır. Görüntülere ait spektral dalga boyu bilgileri ve yersel geometrik çözünürlükler Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Landsat-5 (TM), Landsat-8 (OLI) ve Sentinel-2A L2A (MSI) görüntülerinin spektral bantları ve çözünürlükleri

Landsat-5 (TM)			Landsat-8 (OLI)			Sentinel-2A L2A (MSI)		
Spektral aralık	Dalga boyu (nm)	Çözünürlük (m)	Spektral aralık	Dalga boyu (nm)	Çözünürlük (m)	Spektral aralık	Dalga boyu (nm)	Çözünürlük (m)
Blue (B1)	450-520	30	Blue (B2)	450-515	30	Blue (B2)	458-523	10
Green (B2)	520-600	30	Green (B3)	525-600	30	Green (B3)	543-578	10
Red (B3)	630-690	30	Red (B4)	630-680	30	Red (B4)	650-680	10
NIR (B4)	760-900	30	NIR (B5)	845-885	30	NIR (B8)	785-900	10
SWIR 2 (B7)	2080-2350	30	SWIR 2 (B7)	2100-2300	30	SWIR 2 (B12)	2100-2280	20

Landsat-5, NASA tarafından geliştirilmiş ve Mart 1984'te piyasaya sürülmüştür. Yörünge kontrolünden sonra, başlangıçta Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi tarafından işletilmiştir. Eylül 1985'te Landsat-5'in çalışması, şimdi özel bir şirket olan yer gözlem uydusu şirketine devredildi. Temmuz 2001'de, halen faaliyette olan Landsat-5 ve tüm görüntü arşivleri, USGS tarafından işletilmektedir. Landsat-5 uydusu yaklaşık olarak 705 km yükseklikten 16 günlük zamansal çözünürlüklü olarak elde edilmektedir.

Landsat-8 uydusu, yaklaşık 705 km yükseklikte 16 günlük zamansal çözünürlüğe sahip görüntüler sağlar. Bu uydunun OLI algılayıcısından elde edilen görüntüler 12 bit radyometrik çözünürlüğe sahiptir. Algılayıcı, görünür spektrum (Visible Spectrum-VIS), NIR ve SWIR spektral bölgelerinde 30 m geometrik çözünürlüğe sahip 9 spektral bant ve 15 m geometrik çözünürlüğe sahip pankromatik bant'a sahiptir. Her bir bant için geometrik olarak düzeltilmiş görüntüler <https://earthexplorer.usgs.gov/> web sitesinden elde edilebilir.

Avrupa Komisyonu'nun Copernicus programının bir parçası olan Sentinel-2 uyduları, ESA tarafından Sentinel-2A ve Sentinel-2B olarak gönderilen iki farklı türde görüntü sağlar. Sentinel-2A ve Sentinel-2B, sırasıyla 23 Haziran 2015 ve 7 Mart 2017 tarihlerinde faaliyete geçmiştir. Bu uydular yaklaşık 786 km yükseklikte bir yörüngede hareket eder ve her ikisi birlikte 5 günlük zamansal çözünürlükte görüntü sağlar. Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydularında kullanılan MSI algılayıcısı 12 bitlik radyometrik çözünürlüğe sahiptir. 13 spektral bantta 10 m'den 60 m'ye kadar değişen geometrik çözünürlükte veri sağlar.

Demirköprü Barajı'nı sınırlarını belirlemek için en uygun sınıflandırma algoritmasının ve su indeksinin belirlenmesi amacıyla kullanılan Landsat ve Sentinel görüntüleri UTM Dilim 35 (WGS84) projeksiyon koordinat sisteminde tanımlıdır. Landsat görüntülerinin radyometrik düzeltmeleri, SNAP 8 yazılımında eklenti olarak kullanılabilen iCOR aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sentinel uydusunun ise L2A seviye görüntüleri kullanılmıştır. L2A görüntüleri, ESA tarafından radyometrik düzeltilmesi yapılmış olarak kullanıcılara servis edilmektedir. Görüntüler Sentinels Scientific Data Hub'ın <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> web sitesinden ücretsiz olarak indirilebilir.

3.3 Rastgele Orman Algoritması

RO algoritması, karar ağaçları kümelerine göre tahmin ve sınıflandırma yapar [212]. Ayrı ayrı oluşturulan karar ağaçları bir karar ormanı oluşturmak için bir araya getirilir. Karar ağaçları, veri setinin rastgele seçilen bir alt kümesidir [213]. Sınıflandırma ve regresyon karar ağaçları, en iyi tahmini yapabilmek için kullanıcıyı sonuca götürecek karar ormanlarını birbirinden farklı şekilde oluşturur. RO, verileri daha etkili tahminler için yinelemeler yaparak diğer yöntemlere göre önemli bir avantaj sağlar [212]. Biau ve Scornet [214], RO algoritmasını aşağıdaki denklemlerle açıklamıştır.

Ağaçlardaki j ' inci ağaç için x noktasında tahmin edilen değer (3.1) eşitliği ile ifade edilir. Burada $\theta_1, \dots, \theta_M$ bağımsız rastgele değişkenlerdir. Genel bir rastgele θ ile aynı şekilde dağıtılır ve $\mathcal{D}_n$ den bağımsızdır. $\mathcal{D}_n$ rastgele eğitim verisi olarak varsayılır ve (3.2) eşitliği ile ifade edilir. Uygulamada θ değişkeni ağaçların büyümesinden önce eğitim setini yeniden örneklemek ve bölmek için kullanılır. j ağaç tahmini (3.3) eşitliğiyle hesaplanır.

$$m_n(x; \theta_j, \mathcal{D}_n) \quad (3.1)$$

$$\mathcal{D}_n = ((X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)) \quad (3.2)$$

$$m_n(x; \theta_j, \mathcal{D}_n) = \sum_{i \in \mathcal{D}_n^*(\theta_j)} \frac{1_{x \in A_n(x; \theta_j, \mathcal{D}_n)} Y_i}{N_n(x; \theta_j, \mathcal{D}_n)} \quad (3.3)$$

Burada, $\mathcal{D}_n^*(\theta_j)$ ağaç yapısından önce seçilen veri noktalar kümesidir. $A_n(x; \theta_j, \mathcal{D}_n)$ x içeren hücreleri temsil eder. $N_n(x; \theta_j, \mathcal{D}_n)$, $A_n(x; \theta_j, \mathcal{D}_n)$ düşen noktaların sayısıdır.

Bir sonraki aşamada ağaçlar orman tahminleri için (3.4) eşitliği ile birleştirilir.

$$m_{M,n}(x; \theta_1, \dots, \theta_M, \mathcal{D}_n) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M m_n(x; \theta_j, \mathcal{D}_n) \quad (3.4)$$

Burada, M ormandaki ağaç sayısını ifade eder.

3.4 En Çok Benzerlik Algoritması

EÇB algoritması, vektör uzayından gerçek uzaya doğrusal bir karar fonksiyonunun düşünüldüğü UA çalışmalarında sıklıkla kullanılan en popüler sınıflandırma algoritmalarından biridir [156]. EÇB, Gauss olasılık yoğunluk fonksiyon modelinin ikinci dereceden istatistiklerine dayanan parametrik bir sınıflandırıcıdır [215]. Belirli bir sınıfa dahil olan her pikselin olasılığını hesaplar. Olasılıkların tüm sınıflar için eşit olmadığına dair önceden belirlenmiş herhangi bir bilgi varsa, ağırlıklandırma faktörleri belirtilir. EÇB yönteminin etkinliği, her spektral sınıf için ortalama vektörün ve kovaryans matrisinin doğru tahminine bağlıdır [153]. Richards [191], EÇB algoritmasını aşağıdaki eşitliklerle açıklamıştır.

EÇB, Bayes'in sınıflandırmasını temel almaktadır. Buna göre bir görüntünün spektral sınıflarının temsili ω_i , $i = 1, \dots, M$ ile ifade edilir

Burada M sınıf sayısının toplamıdır. Piksel vektörünün ait olduğu sınıf (3.5) eşitliği ile ifade edilir ve koşullu olasılık söz konusudur.

$$P(\omega_i|x), i = 1, \dots, M \quad (3.5)$$

Bu eşitlik, multi-spektral uzayda ölçüm vektörü x piksel için parlaklık değerini ifade eder. $P(\omega_i|x)$ olasılığı x konumundaki bir piksel için doğru sınıfın ω_i olma olasılığını verir. Sınıflandırma aşağıdaki (3.6) eşitliğine göre yapılır.

$$x \in \omega_i \text{ Eğer } P(\omega_i|x) > P(\omega_j|x) \text{ hepsi için } j \neq i \quad (3.6)$$

x 'deki piksel $P(\omega_i|x)$ en büyükse ω_i sınıfına aittir. Bu karar farklı yanlış sınıflandırmalara bağlı olarak önem derecelerine göre ön yargılı olabileceği daha genel bir kuralın özel bir durumudur. Genel yaklaşım Bayes'in sınıflandırması olarak adlandırılır.

Sınıflandırma için yeterli eğitim veri seti olduğu varsayılmış olsa da (3.6) eşitliğinde $P(\omega_i|x)$ bilinmemektedir. Multi-spektral uzayda arazi örtüsü sınıfları olduğu gibi göreceli $P(x|\omega_i)$ değerini veren bir dizi olasılık hesaplanabilecek kadar çok olacaktır. Başka bir ifadeyle bir piksel için, pikselin tüm sınıflara ait olma olasılığını veren bir olasılıklar kümesi hesaplanabilir.

(3.6) eşitliğinde istenen $P(\omega_i|x)$ ve eğitim verilerinden tahmin edilen mevcut $P(x|\omega_i)$ Bayes'in teoremi ile ilişkili olup (3.7) eşitliği ile ifade edilir.

$$P(\omega_i|x) = \frac{P(x|\omega_i) P(\omega_i)}{P(x)} \quad (3.7)$$

Burada, $P(\omega_i)$, ω_i sınıfının görüntüde olma olasılığıdır. $P(x)$ ise x konumunda herhangi bir sınıfta bir pikseli bulma olasılığıdır. $P(x)$ (3.8) eşitliği ile ifade edilir.

$$P(x) = \sum_{i=1}^M P(x|\omega_i) P(\omega_i) \quad (3.8)$$

(3.7) eşitliği kullanılarak, (3.6) eşitliği sınıflandırma kuralı, (3.9) eşitliği ile yeniden tanımlanır.

$$x \in \omega_i \text{ Eğer } P(x|\omega_i)P(\omega_i) > P(x|\omega_j)P(\omega_j) \text{ hepsi için } j \neq i \quad (3.9)$$

(3.9) eşitliği daha kabul edilebilirdir. Çünkü $P(x|\omega_j)$ eğitim verilerinden dolayı bilinmektedir. Ayrıca $P(\omega_i)$ 'nin bilindiği ya da uzmanın bu değeri tahmin edileceği varsayılabilir.

(3.9) eşitliği, matematiksel olarak daha uygun bir biçimde (3.10) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$g_i(x) = \ln P(x|\omega_i) + \ln P(\omega_i) \quad (3.10)$$

(3.10) eşitliği göz önünde bulundurulduğunda, (3.9) eşitliği (3.11) eşitliği şeklinde yeniden tanımlanır.

$$x \in \omega_i \text{ Eğer } g_i(x) > g_j(x) \text{ hepsi için } j \neq i \quad (3.11)$$

Bu karar kuralı EÇB sınıflandırma olarak bilinir. $g_j(x)$ ise ayırt edici fonksiyon olarak isimlendirilir.

Çok değişkenli normal sınıflandırma modeli, sınıflar için olasılık dağılımlarının çok değişkenli modeller biçiminde olduğunu varsayar.

Bu nedenle (3.10) eşitliği artık N bant için (3.12) eşitliği olarak varsayılır.

$$P(x|\omega_i) = 2\pi^{-\frac{N}{2}} |\sum i|^{-\frac{1}{2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - m_i)^t \sum_i^{-1} (x - m_i) \right\} \quad (3.12)$$

Burada, m_i ve $\sum i$, ω_i sınıfındaki verilerin ortalama vektörü ve kovaryans matrisidir. Ortaya çıkan $-N/2 \ln(2\pi)$ terimi tüm $g_i(x)$ için ortaktır ve ayırt edici değildir. Sonuç olarak göz ardı edilerek EÇB için normal dağılım temel alınır. Gauss normal dağılımına göre (3.13) eşitliği ile yeniden ifade edilir.

$$g_i(x) = \ln P(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln \left| \sum i \right| - \frac{1}{2} (x - m_i)^t \sum_i^{-1} (x - m_i) \quad (3.13)$$

Genellikle uzmanlar $P(\omega_i)$ hakkında bir bilgiye sahip değildir. Bu durumda önceki olasılıklara eşit bir durum varsayılır. Sonuç olarak $\ln P(\omega_i)$ (3.13) eşitliğinden kaldırılabilir. Aynı zamanda $1/2$ ortak faktör olduğundan; ayırıcı işlev olarak eşitlikten çıkarılabilir. Son durumda (3.14) eşitliği elde edilir.

$$g_i(x) = -\ln \left| \sum i \right| - (x - m_i)^t \sum_i^{-1} (x - m_i) \quad (3.14)$$

EÇB algoritması için (3.11), (3.13) ve (3.14) eşitlikleri kullanılabilir.

3.5 K-Ortalamalar Algoritması

K-ortalamlar, UA çalışmalarında yaygın olarak kullanılan algoritmalarından biridir. Piksellerin önceden bilgisi olmadan benzer bir spektrumdaki pikselleri kümeleyen, parametrik olmayan, kontrolsüz bir sınıflandırma tekniğidir [216]. K-ortalamlar algoritması pikselleri benzer spektral özelliğe dayalı olarak k sınıfına göre sınıflandırmaya çalışır. Sınıflandırma pikseller ve karşılık gelen küme veya sınıf merkezi arasındaki mesafelerin karelerinin toplamını en aza indirerek yapar ve bu işlemi yinelemeli olarak gerçekleştirilir [217]. Her yineleme, kümenin merkezini temsil eden gerçek bir konum olan ağırlık merkezini yeniden hesaplar ve pikselleri yeni ağırlık merkezlerine göre yeniden sınıflandırır. Standart sapma ya da eşik mesafesi belirtilmedikçe tüm pikseller en yakın sınıfta sınıflandırılır.

Bir veri kümesinin $X = \{x_1, \dots, x_n\}, x_n \in R^d$ olarak verildiğini varsayalım. M -kümeleme problemi, bu veri kümesini M ayrık alt kümelere $C_1, \dots, C_M$, bir kümeleme kriteri optimize edilecek şekilde bölümlenmeyi amaçlamaktadır. En yaygın olarak kullanılan kümeleme ölçütleri, her veri noktası x_i ile x_i içeren C_k alt kümesinin merkezi m_k arasındaki öklid mesafelerinin karelerinin toplamıdır. Bu kritere kümeleme hatası denir ve $m_1, \dots, m_M$ küme merkezlerine bağlıdır. Bu değer (3.15) eşitliği ile ifade edilir [218]:

$$E(m_1, \dots, m_M) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M I(x_i \in C_k) \|x_i - m_k\|^2 \quad (3.15)$$

Burada, X doğruysa $I(X) = 1$ değilse 0'dır.

3.6 Su Kütlesi Çıkarma İndeksleri

Su kütlesi çıkarma indeksleri, su kütleleri ve arka plan özellikleri arasındaki farkı artırmak için kullanılır. İki veya daha fazla spektral bandın aritmetik işlemine dayanır. Suyu, spektral özelliklerine göre diğer ayrıntılardan arındırmak için uygun bir eşik değeri kullanılır [219]. Suyu, spektral özelliklerine göre diğer tüm detaylardan arındırmak için suyun NDWI indeksi geliştirilmiştir. Bu indeks yeşil dalga boyunu kullanarak suyun yansımalarını maksimuma çıkarmak, su da ise NIR'in yansımalarını minimuma indirmek için uygundur [220]. Bitki örtüsünde ve toprakta NIR yüksek yansımaya gösterirken suda ise tam tersi durum söz konusudur. Bu özellikler tasarlanan indekste su pozitif değerler alırken su olmayan diğer detaylar sıfır ya da negatif değerler alacaktır [157]. Sığ sularda

oluşabilecek bitki örtüsü, kent bölgelerinde oluşabilecek gölgelerin etkisini en aza indirmek için NIR bandı yerine SWIR bandı kullanılarak MNDWI indeksi tasarlanmıştır [221].

NDWI ve MNDWI su kütlesi çıkarma indeksleri eşitlik (3.16) ve (3.17) kullanılarak hesaplanır. Hesaplanan indeksler sınıflandırmaya yeni bir bant olarak dahil edilir ve daha sonra sınıflandırma sonuçları arasında karşılaştırmalar yapılabilir.

$$NDWI = (\rho_{green} - \rho_{NIR}) / (\rho_{green} + \rho_{NIR}) \quad (3.16)$$

$$MNDWI = (\rho_{green} - \rho_{SWIR}) / (\rho_{green} + \rho_{SWIR}) \quad (3.17)$$

3.7 Uygun Algoritma ve İndeksin Belirlenmesi

Bu tez çalışmasında, çalışma alanında su yüzeylerini çıkarmak amacıyla kullanılacak en uygun algoritma ve indekslerin belirlenmesi iki farklı yaklaşımla test edilmiştir. Birinci yaklaşım sınıflandırma sonucu elde edilen kıyı çizgisini uydu görüntülerine yakın tarihli çok daha yüksek baraj kıyısında lokal bölgede yapılmış jeodezik ölçümlerle kıyaslamak. İkinci yaklaşım ise sınıflandırılan her bir görüntüde üretici doğruluğu (ÜD), kullanıcı doğruluğu (KD), genel doğruluk (GD) ve Kappa (K) istatistik testleriyle değerlendirmektir.

3.7.1 Jeodezik Test Verileri

Sürekli çalışan referans istasyon (Continuously Operating Reference Station-CORS) ağları, küresel ve bölgesel düzeylerde jeodezi ve diğer yer bilimi uygulamalarını desteklemek için kurulmuş önde gelen sistemlerdir [222]. Türkiye'de CORS çalışmaları, İstanbul Kültür Üniversitesi Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Komutanlığı tarafından TÜBİTAK desteğiyle 2006 yılında başlatılmıştır [223]. CORS-TR olarak adlandırılan proje, gerçek zamanlı kinematik (real-time kinematic) yeteneklere sahip sürekli ağ tabanlı istasyonlar kurmayı, troposfer ve iyonosferi modellemeyi ve levha tektoniği ve deformasyonlarını izlemek için bir altyapı oluşturmayı amaçlamaktadır [223]. Bu tez çalışmanın birinci adımında, uydu görüntülerinin sınıflandırılması sonucu belirlenen Demirköprü Barajı su kıyı çizgisi, CORS-TR ağı tarafından toplanan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Baraj sınırlarının bazı kısımları su seviyelerinin değiştiği iki ayrı tarihte ölçülmüştür (Şekil 3.3). Yeşil çizgi ile gösterilen ilk kampanya, tarımsal

sulama ve mevsimsel etkiler göz önünde bulundurularak su seviyesinin en düşük olduğu 10 Kasım 2018'de 2.075 m sınırındaki 461 noktada gerçekleştirilmiştir. Kırmızı çizgi ile gösterilen ikinci kampanya ise 3 Mayıs 2019'da su seviyesinin daha yüksek olduğu 2.885 m sınır boyunca 371 nokta ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 CORST-TR'ye göre ölçülen baraj sınırının bölümleri

Her bir CORST-TR bölümü için en yakın tarihli olarak seçilen uydu verileri Landsat görüntüleri için 1 Kasım 2018 ve 12 Mayıs 2019, Sentinel görüntüleri için 1 Kasım 2018 ve 30 Nisan 2019 görüntüleri seçilmiştir. Seçilen bu görüntüler üzerinden farklı bant kombinasyonları kullanılarak toplam 36 adet sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırılmış her bir görüntü için doğruluk testi yapılmıştır. Daha sonra her bir sınıflandırma sonucu

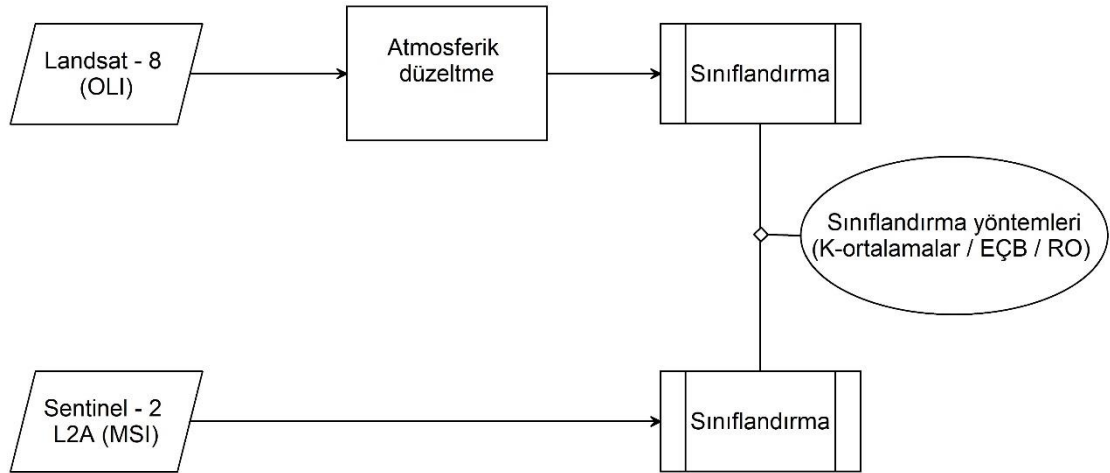
ile ilgili CORS-TR ölçümleri arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Sınıflandırılan görüntülerdeki su yüzeyi pikselleri Environmental Systems Research Institute (ESRI) tarafından geliştirilen ArcGIS Pro (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/get-started/pro-quickstart-tutorials.htm>) deneme sürümü yazılımı ile raster-vektör dönüşümü ile sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılmış kıyı şeridi ve CORS-TR ölçümleri arasındaki fark, yakınlık analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Karesel ortalama hata (Root Mean Square Error-RMSE) değerleri (3.18) eşitliği kullanılarak, sınıflandırmalar ile elde edilen her kıyı şeridi için hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (3.18)$$

Burada; n , CORS-TR tarafından ölçülen noktaların sayısını gösterir ve d_i , sayısallaştırılmış kıyı şeridi ile ilgili nokta arasındaki dik mesafeyi temsil eder.

3.7.2 Sınıflandırma İşlemi

Demirköprü Barajı'nın su kıyı çizgisini en hassas bir şekilde çıkarmak amacıyla farklı uydu görüntüleri, algoritma ve su çıkarma indeksleri karşılaştırılmıştır. Kullanılan tüm görüntülerin kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırmaları SNAP 8.0 yazılımı ile yapılmıştır. Kontrollü sınıflandırma algoritmaları olarak RO ve EÇB kullanılırken, kontrolsüz sınıflandırma yöntemi olarak K-ortalamlar algoritması kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma akış şeması

Arazi kullanımları, kontrollü sınıflandırma işlemleri için saha gözlemleriyle belirlenmiştir. Çalışma alanında su yüzeyi (SY) dışında meşe ormanları (MO), tarım arazileri (TA) ve boş araziler (BA) olarak dört ayrı sınıf tespit edilmiştir. Bölgede bulunan küçük yerleşim yerlerini orta çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanarak tespit etmek oldukça zor olduğu için BA sınıfına dahil edilmiştir. Landsat-8 (OLI) ve Sentinel-2A L2A (MSI) görüntülerinin spektral bantlarına ek olarak, NDWI ve MNDWI su kütlesi çıkarma indeksleri, su yüzeylerinin daha etkin belirlenmesine yardımcı olmak için bant olarak eklenmiştir. Her bir bant kombinasyonu için (VIS+NIR), (VIS+NIR+NDWI), (VIS+NIR+MNWI) RO ve EÇB algoritmaları kullanılarak iki ayrı tarihi kapsayan toplam 24 adet kontrollü sınıflandırma yapılmıştır. Kontrolsüz sınıflandırma, dört farklı sınıf için 35 iterasyon ile gerçekleştirilmiştir. Kontrolsüz sınıflandırma işleminde NDWI, MNDWI, VIS ve NIR bantları ile (VIS+NIR), (VIS+NIR+NDWI), (VIS+NIR+MNWI) bant kombinasyonları oluşturulmuştur. Oluşturulan bant kombinasyonları kullanılarak 12 farklı sınıflandırma haritası elde edilmiştir.

Sınıflandırmaların doğruluk değerlendirmeleri ÜD, KD, GD ve Kappa istatistik testleri ile yapılmıştır. ÜD, her sınıf içinde doğru olarak sınıflandırılmış piksellerin sayısını, bu sınıf içinde kullanılan örnekleme veri seti pikselleri sayısına bölünmesiyle hesaplanır. ÜD, bir spektral sınıfı eğitmek veya test etmek için toplanan piksellerin ne kadarının doğru sınıflandırıldığını gösterir (3.19). KD her sınıf içinde doğru sınıflandırılmış piksel sayısını, bu kategori içinde sınıflandırılan piksellerin toplam sayısına bölünmesiyle bulunur. KD, üretilen sınıflandırma haritasının doğruluğunu ölçer. Yani sınıflandırılmış olan pikselin yer yüzünde gerçek karşılığı olup olmadığını test eder (3.20). GD, doğru olarak sınıflandırılmış piksellerin toplam sayısının (köşegen toplamı) referans piksellerin toplam sayısına bölünmesiyle elde edilir (3.21). Kappa testi, belirli bir yaklaşım için genel doğruluğu ortaya çıkarır (3.22).

$$UD = \frac{S_{ij}}{S_i} \times 100 \quad (3.19)$$

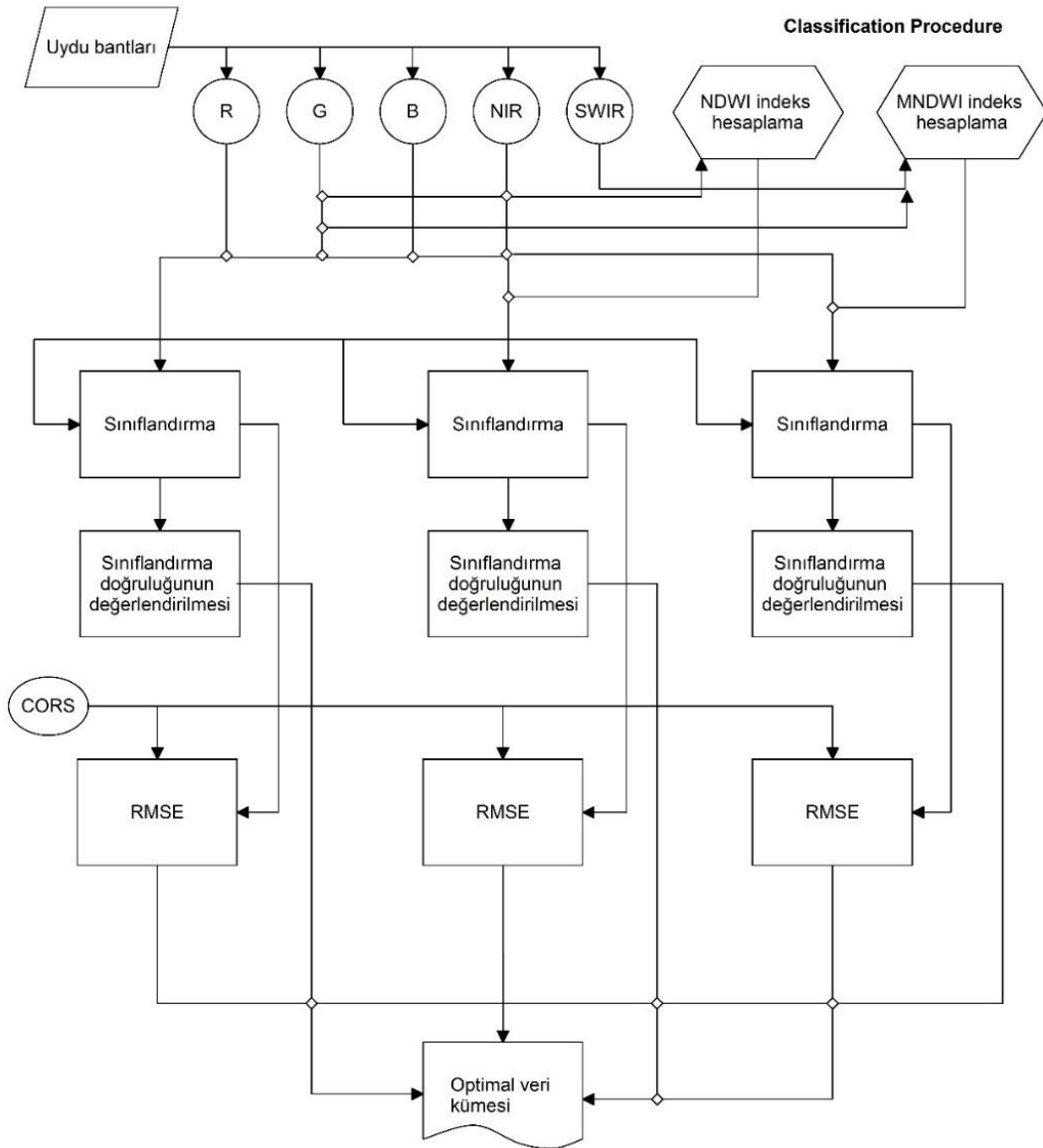
$$KD = \frac{S_{ij}}{S_j} \times 100 \quad (3.20)$$

$$GD = \frac{S_t}{n} \quad (3.21)$$

$$K = nxS_t - \sum_{i=1}^r \frac{S_{ij}}{n^2} - \sum_{i=1}^r S_{ij} \quad (3.22)$$

Burada; S_t , doğru sınıflandırılmış piksellerin toplamını gösterir. n , doğruluk testinde kullanılan tüm piksellerin sayısıdır. r , satır sayısıdır. S_{ij} , i satırı ve j sütunundaki gözlemdir. S_i , i sırasının marjinal toplamıdır. S_j , j sütununun marjinal toplamıdır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen sınıflandırma iş akışı Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Sınıflandırma süreçleri ve sonuçların CORS-TR ile karşılaştırılması

3.8 GEE ile Su Kıyı Çizgisinin Çıkarılması

İkinci adımda, YFV-GES'in Demirköprü Barajı yüzeyine kurulabileceği güvenli bölgeyi belirlemek için baraj sınırlarındaki 20 yıllık değişiklikler izlenmiştir. İzlemeler, Landsat ve Sentinel olmak üzere iki uydudan alınan görüntüler kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

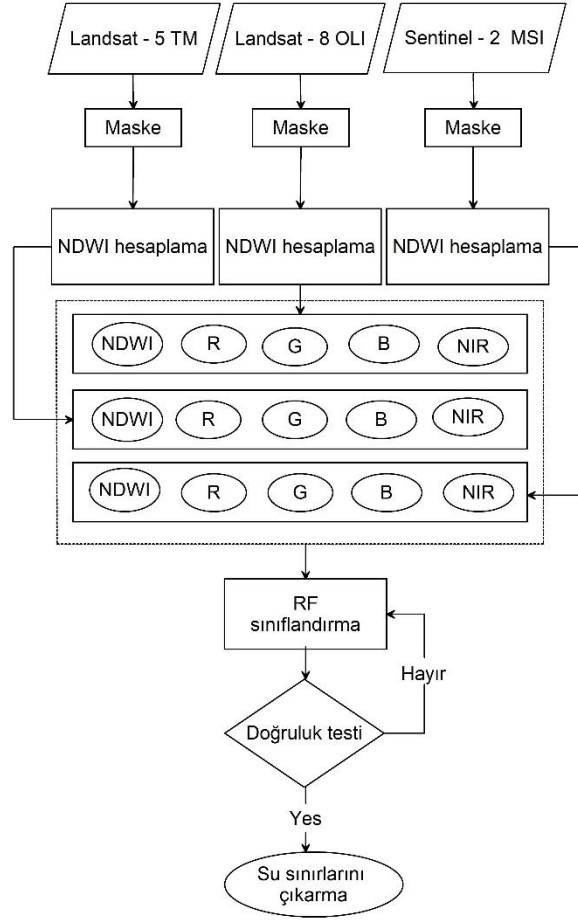
Tablo 3.2 Kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri

Landsat-5 (TM)		Landsat-8 (OLI)		Sentinel-2 L2A (MSI)	
Sayı	Tarih	Sayı	Tarih	Sayı	Tarih
LS5_01	09.08.1999	LS8_01	15.08.2013	S2_01	01.08.2017
LS5_02	26.09.1999	LS8_02	16.09.2013	S2_02	07.09.2017
LS5_03	12.10.1999	LS8_03	03.11.2013	S2_03	06.11.2017
LS5_04	11.08.2000	LS8_04	02.08.2014	S2_04	01.08.2018
LS5_05	12.09.2000	LS8_05	19.09.2014	S2_05	02.09.2018
LS5_06	15.11.2000	LS8_06	21.10.2014	S2_06	12.10.2018
LS5_07	14.08.2001	LS8_07	05.08.2015	S2_07	01.08.2019
LS5_08	15.09.2001	LS8_08	06.09.2015	S2_08	07.09.2019
LS5_09	01.10.2001	LS8_09	24.10.2015	S2_09	10.10.2019
LS5_10	20.08.2003	LS8_10	07.08.2016		
LS5_11	21.09.2003	LS8_11	08.09.2016		
LS5_12	07.10.2003	LS8_12	26.10.2016		
LS5_13	22.08.2004				
LS5_14	07.09.2004				
LS5_15	10.11.2004				
LS5_16	24.07.2005				
LS5_17	09.08.2005				
LS5_18	10.09.2005				
LS5_19	27.07.2006				
LS5_20	13.09.2006				
LS5_21	16.11.2006				
LS5_22	28.06.2007				

Tablo 3.3 Kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri (devamı)

LS5_23	15.08.2007				
LS5_24	16.09.2007				
LS5_25	01.08.2008				
LS5_26	04.08.2009				
LS5_27	05.09.2009				
LS5_28	07.10.2009				
LS5_29	23.08.2010				
LS5_30	10.10.2010				
LS5_31	11.11.2010				
LS5_32	10.08.2011				
LS5_33	27.09.2011				
LS5_34	13.10.2011				

Görüntüler GEE platformunda piksel tabanlı sınıflandırma yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırmaya ait iş akış şeması Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 İş akış diyagramı

3.9 GEE ile Su Dinamiklerinin İncelenmesi

Üçüncü adımda küresel yüzey suyu dinamikleri, 32 yılı kapsayan orta çözünürlüklü Landsat uydu görüntüleri kullanılarak 5-10 yıllık aralıklarla mekânsal ayrıntı ve doğruluk seviyeleri sınıflandırılarak analiz edilmiştir [174]. Kullanılan sınıfları tanımlayan spektral kütüphane denklemleri görsel analiz yoluyla oluşturulmuştur. Küresel sınıflandırma işlemlerinin performansı 40.124 adet kontrol noktası kullanılarak değerlendirilmiş ve hesaplamaların %99 civarında doğru yapıldığı ispatlanmıştır. Türetilen küresel veri seti, su yüzeyinin modellenmesi, küresel su oluşumundaki uzun süreli değişimlere ilişkin haritaların yapılması, göller, nehirler gibi tatlı su kaynaklarındaki değişimlerin izlemesi ve iklimsel değişimlerin takibini kolaylaştırmıştır.

Mart 1984 ile Ekim 2015'i kapsayan süreçte, su yatakları, akarsular, barajlar, göller gibi su kaynaklarının sürekli sabit kaldığı yüzey alanları belirlenmiştir. Suyun sürekli yüzeyde

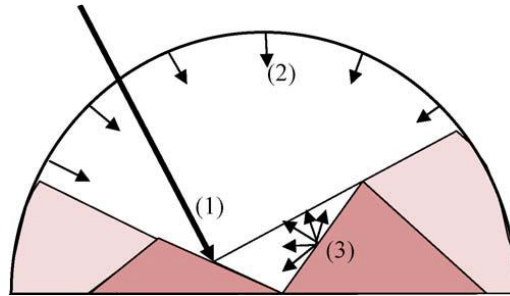
kalma durumu (Surface Water Occurance-SWO) isimli tek bir haritaya bağı olarak sunulmuştur. Aylık SWO verileri (3.23) kullanılarak hesaplanmıştır [174].

$$SWO^{month} = \sum WD^{month} / \sum VO^{month} \quad (3.23)$$

Burada, WD bir ay için tespit edilen su miktarını, VO ise geçerli gözlem sayısını göstermektedir.

3.10 Güneş Işınımı

Dünya üzerindeki herhangi bir yüzeye düşen güneş enerjisi miktarını belirleyen önemli faktörlerden birisi topografyadır [45]. Güneş ışınımı yükseklik, bakı, eğim ve gölge gibi topografik faktörlerden etkilenmektedir (Şekil 3.7). Bu miktarın mekânsal-zamansal değişimi güneş ışınım modellemesi yapılarak ortaya konur. Modelleme, topografik verilere bağı mekânsal analizler ile güneşin coğrafi bir alan üzerindeki etkilerini belirli zaman dilimleri için gösterir. Günümüzde SYM veri seti üzerinden, CBS yazılımları tarafından sağlanan solar analiz araçları kullanılarak, bir bölge için güneş ışınım haritaları üretmek mümkündür [224].



Şekil 3.7 Bir yüzeydeki güneş ışınım kaynakları: (1) direkt ışınım (2) gökyüzündeki partiküller nedeni ile saçılan dağınık ışınım ve (3) karadan yansıyan dağınık ışınım [64]

Dördüncü adım kapsamında gerçekleştirilen CBS analizlerinin tümü, ArcGIS Pro deneme sürümü ile gerçekleştirilmiştir. ArcGIS Pro tarafından sağlanan mekansal analiz aracı, yeryüzündeki herhangi bir yüzeye belirli bir zaman diliminde düşen toplam ışınım miktarının analiz edilmesini sağlar [183, 225–227].

ArcGIS Pro Güneş ışınım analiz araçları Rich vd. [225], Fu ve Rich [226] aşağıdaki formüllerle açıklamıştır;

$$Global_{tot} = Dir_{tot} + Dif_{tot} \quad (3.24)$$

Burada, Dir_{tot} direk ışınlm, Dif_{tot} dağınık ışınlmı ifade eder.

$$Dir_{tot} = \sum Dir_{\theta,\alpha} \quad (3.25)$$

Burada, θ zenit açısı, α azimut açısını ifade eder.

$$Dir_{\theta,\alpha} = S_{Const} * \beta^{m(\theta)} * SunDur_{\theta,\alpha} * SunGap_{\theta,\alpha} * \cos(AngIn_{\theta,\alpha}) \quad (3.26)$$

Burada, S_{Const} güneş sabiti, β atmosfer geçirgenliği, $m(\theta)$ göreceli optik yol uzunluğu, $SunDur_{\theta,\alpha}$ gökyüzü bölgesi tarafından temsil ettiği süre, $SunGap_{\theta,\alpha}$ Güneş haritası bölgesi için boşluk oranı, $AngIn_{\theta,\alpha}$ gökyüzü bölgesinin ağırlık merkezi ile yüzeye dik eksen arasındaki gelme açısını ifade etmektedir.

$$Dif_{\theta,\alpha} = R_{glb} * P_{dif} * Dur * SkyGap_{\theta,\alpha} * Weight_{\theta,\alpha} * \cos(AngIn_{\theta,\alpha}) \quad (3.27)$$

Burada, R_{glb} küresel ışınlm, P_{dif} dağınık küresel ışınlm oranı, Dur analiz için zaman aralığı, $SkyGap_{\theta,\alpha}$ gökyüzü bölgesi için boşluk oranı, $Weight_{\theta,\alpha}$ belirli bir gökyüzü bölgesinden kaynaklanan dağınık ışınlmın tüm bölgelere göre oranı, $AngIn_{\theta,\alpha}$ gökyüzü bölgesinin ağırlık merkezi ile kesişen yüzey arasındaki geliş açısını ifade eder.

$$R_{glb} = (S_{const} \sum (\beta^{m(\theta)})) / (1 - P_{dif}) \quad (3.28)$$

$$Weight_{\theta,\alpha} = (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) / Div_{azi} \quad (3.29)$$

Burada, θ_1 ve θ_2 zenit açıları, Div_{azi} gökyüzü haritasındaki azimut bölümlerinin sayısını ifade eder.

Baraj su yüzeyine düşen ışınlm miktarını hesaplayabilmek buraya kurulacak olan YFV santralin yıllık enerji üretimini ve kapasite faktörünü hesaplamada büyük bir kolaylık sağlar. Bu amaçla bu çalışmada ArcGIS Pro/Solar Radiation/Area Solar Radiation aracı tercih edilmiştir. Arazi topografyasına ve güneş geliş açılarına bağlı olarak değişim gösteren güneş ışınlm miktarlarını bölgesel olarak göstermek için 30 m mekânsal çözünürlüklü global SYM veri setinden (Shuttle Radar Topography Mission-SRTM)

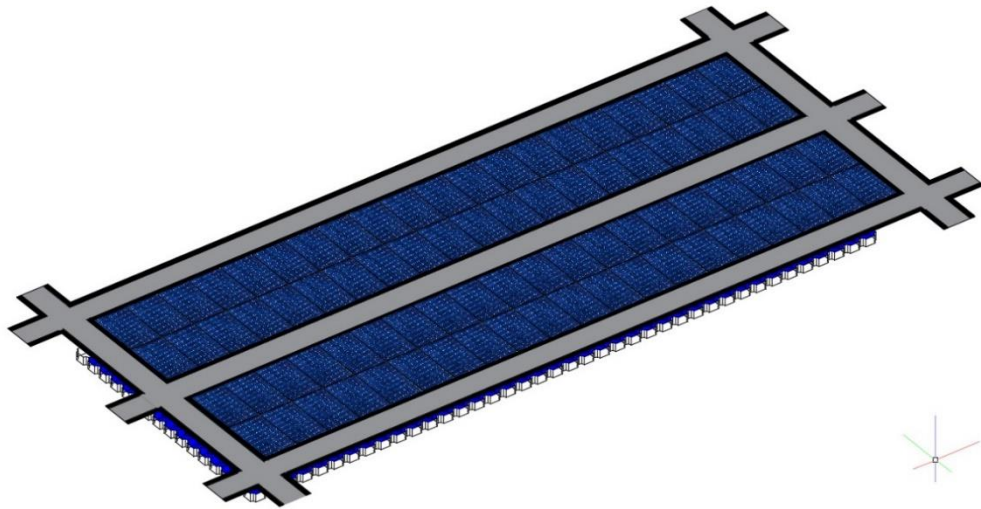
yararlanılmıştır. Demirköprü Barajı'nı içine alan bölgede her bir piksel için 2020 yılına ait yıllık toplam ışıınım hesaplanmıştır. Yıllık ışıınım hesaplamada, bölgenin enlemine ve hesaplama periyoduna göre, kullanılan genel parametreler: gün aralığı 14, saat aralığı 0.5 ve Gökyüzü boyutu 200 olarak seçilmiştir [228]. Topografik ve ışıınım parametreleri ise Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Bu çalışma da kullanılan güneş ışıınımı parametreleri

Topografik parametreler			İşıınım parametreleri				
Z faktör (m)	Eğim, en ve boy giriş türü	Hesap yönleri	Zenit bölümleri	Azimet bölümleri	Dağınık model tipi	Dağınık oran	Geçirgenlik
1	SYM	16	8	8	Standart_ove rcast_sky	0,5	0,5

3.11 YFV Sistem Tasarımı

Beşinci adımda YFV-GES santrali Demirköprü Baraj yüzeyine yatay olarak tasarlanmıştır. 20 adet seri bağlı iki dizi şeklinde 40 adet FV panel gruplandırılmıştır. Her grubun etrafında, inverterlerin montajı ve panellerin temizlenmesi için 1 m yürüme yolu ayrılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 YFV tesisinin bir görünümü

YFV santrali, Tablo 3.5’de verilen FV panellerin gruplandırılmasında her dizi için maksimum voltaj 1000 Voc olarak dikkate alınmıştır. Her dizi SUN 2000-12KTL 12kWp 3 fazlı grup invertere bağlanmıştır. Grup inverter tasarımı, merkezi inverter sistemine göre daha ekonomik ve verimli olması sebebiyle tasarımda tercih edilmiştir [229]. Panel ve inverter özellikleri sırasıyla Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’de gösterilmektedir.

Tablo 3.5 Panel özellikleri

Panel	Özellikler
Tür	Polycrystalline
Maksimum Güç (Maximum Power-Pmax)	300W
Panel Verimliliği (Module Efficiency)	18,44%
Maksimum Güç Noktası Gerilimi (Maximum Power Point Voltage-Vmpp)	32,16V
Maksimum Güç Noktası Akımı (Maximum Power Point Current Imp)	9,34A
Açık devre voltajı (Open Circuit Voltage-Voc)	40,08V
Kısa devre akımı (Short Circuit Current-Isc)	9,82A
Hücre Sayısı (Cell Count)	60 (6*10)
Pmax Sıcaklık Katsayısı (Temperature Coefficient of Pmax)	- 0,42 %/ °C
Panel Boyutları (Module Dimensions)	1.640*992*35mm
Nominal Çalışma Hücresi Sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature-NOCT)	45°C ±2°C

Tablo 3.6 Huawei Sun 2000-12KTL İnverter Özellikleri

Inverter	Özellikler
Giriş	
Maks. Giriş gerilimi (Max. Input Voltage)	1.000V
Maks. MPPT başına Giriş Akımı (Max. Input Current per MPPT)	18A
Nominal Giriş Voltajı (Rated Input Voltage)	620 V
Maksimum Giriş Sayısı (Maximum Number of Inputs)	4
Maksimum Güç Noktası İzleyici Sayısı (Number of Maximum Power Point Trackers)	2
Çıkış	
Nominal AC Çıkış Gücü (Rated AC Output Power)	12kW
Maksimum Verimlilik (Maximum Efficiency)	98,5%

3.11.1 Şebekeye Bağlı YFV Sistemin Modellenmesi

Bir FV panelinin çıkış gücü, toplam güneş ışınlamaya bağlı olarak (3.30) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$P_m = G_t A_m \eta_m \quad (3.30)$$

Burada, G_t panel yüzeyindeki toplam ışınlam şiddetidir. A_m FV panel alanı ve η_m panel verimliliğidir [230, 231].

Panel verimliliği (3.31) eşitliği ile hesaplanır.

$$\eta_m = \eta_{m,r} [1 - \alpha_t (T_c - T_r)] \quad (3.31)$$

Burada, α_t panel çıkış gücü sıcaklık katsayısı, T_c hücre sıcaklığı, T_r standard koşullardaki (1kW/m^2 ışınlam, 25°C ortam sıcaklığı ve 1.5 hava kütlesi) değerdir. $T_r = 25^\circ\text{C}$ için $\eta_{m,r}$ ve α_t değerleri üretici tarafından katalogta yayınlanmaktadır.

Hücre sıcaklığı (3.32) eşitliği ile hesaplanır [232–235].

$$T_c = T_{amb} + \frac{(NOCT - 20)G_t}{800} \quad (3.32)$$

Burada, T_{amb} ortam sıcaklığını, nominal çalışma hücresi sıcaklığı NOCT FV hücresinin, 800W/m^2 ışınlam, 20°C ortam sıcaklığı 1 m/s rüzgâr hızı ve $1,5$ hava kütlesi altında açık devre düzeninde çalıştırıldığında hücre sıcaklığıdır ($= 45^\circ\text{C}$). NOCT değeri üretici firma tarafından panel katalogunda verilir.

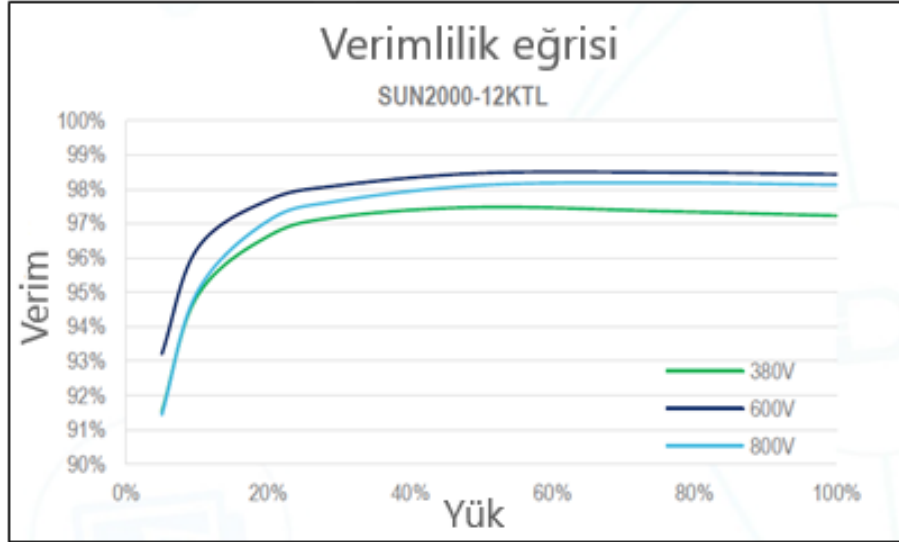
Sistemin toplam verimliliği kullanılan tüm elektrik elemanlarının verimliliğinin çarpılmasıyla hesaplanır (3.33) [26].

$$\eta_{sys} = \eta_m \cdot \eta_{cable} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_T \quad (3.33)$$

Burada,

- η_m : panel verimliliği
- η_{cable} : kablo ve bağlantı kutusu verimliliği
- η_{inv} : inverter verimliliği
- η_T : trafo verimliliği

Panel verimliliği ortam sıcaklığına ve güneş radyasyonuna bağlı olarak modellenirken, inverter verimliliği üretici tarafından yayınlanan kataloğa göre modellenir (Şekil 3.9). η_{cable} ve η_T sırasıyla %99,4 ve %97 olarak alınmıştır [26].



Şekil 3.9 Üretici tarafından verilen invertör verim eğrisi

3.11.2 Kapasite Faktörü

Herhangi bir FV enerji santralının bölgesel etkinliğinin göstergesi olan kapasite faktörü (KF) (Capacity Factor-CF) (International Electrotechnical Commission-IEC) 61724'e göre, sistemin 1 yıllık periyotta ürettiği enerjinin tam kapasitede çalışması durumunda üreteceği toplam enerjiye oranı eşitlik (3.34) kullanılarak hesaplanır [235, 236].

$$CF = KF = \frac{E_G}{24 * 365 * P_R} \quad (3.34)$$

Burada, CF kapasite faktörü, E_G sistem tarafından üretilen yıllık enerji, P_R sistemin nominal çıkış gücüdür

Bir FV panelin çıkış gücü, yüzeyine gelen toplam ışıma ve FV hücre sıcaklığına bağlıdır. FV paneller, normal şartlarda (Standard Test Conditions-STC: 1.000W/m² ışıma, 25°C ortam sıcaklığı ve 1,5 hava kütlesi) anma gücünde çalışır. Panel çıkış gücü, yüzeyine düşen toplam güneş ışıması ile pozitif bir korelasyon gösterirken hücre sıcaklığı ile negatif bir korelasyon gösterir. Hücre sıcaklığı ve güneş ışımasına bağlı FV çıkış gücü formülü eşitlik (3.35) ile hesaplanır [237, 238].

$$P_{PV} = P_R \left(\frac{I_t}{I_{STC}} \right) [1 - \alpha_T (T_{cell} - T_{STC})] \quad (3.35)$$

Burada, P_{PV} panel çıkış gücünü, I_t panel yüzeyindeki anlık toplam (direk+dağılık) güneş ışınlımını, α_T panel çıkış gücü sıcaklık katsayısını, T_c hücre sıcaklığını ifade eder. Denklemdaki α_T değeri genellikle 0,04 %/°C gibi çok düşük bir değere sahip olduğu için uygulamada iptal edilebilir. Bu durumda panelin, sıcaklıktan bağımsız çıkış gücü, (3.36) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$P_{PV} = P_R \left(\frac{I_t}{I_{STC}} \right) \quad (3.36)$$

Yeryüzünde herhangi bir noktada 1 m²'lik bir alandaki 1 saatlik toplam (direk+dağılık) küresel yatay ışınlım (Global Horizontal Irradiation-GHI) (Wh/m²) ile gösterildiğinde bu alana bir yıl boyunca düşen toplam ışınlım miktarı GHI_a (Wh/m²) (3.37) eşitliği ile hesaplanır.

$$GHI_a = \sum_{day=1}^{365} \sum_{hour=1}^{24} GHI_{(day, hour)} \quad (3.37)$$

Yatay pozisyonda konumlandırılmış bir panelin üreteceği yıllık elektrik enerjisi miktarı da eşitlik (3.38) ile hesaplanır.

$$E_G = P_R \left(\frac{GHI_a}{I_{STC}} \right) \quad (3.38)$$

Bu duruma göre, herhangi bir bölgede yere paralel olarak konumlandırılmış olan bir FV panelin üreteceği enerji miktarının, doğrudan, o bölgedeki yatay düzlemdeki toplam ışınlım ile bağlantılı olduğu söylenebilir. Buradan yola çıkarak FV sistemin KF değerinin kurulum yapıldığı yerdeki yatay düzlemdeki toplam ışınlım ile hesaplanabileceği görülmektedir. (3.34) ile (3.38) eşitlikleri birlikte hesaplandığında (3.39) eşitliği elde edilir.

$$CF = \frac{E_G}{24 * 365 * P_R} = \frac{P_R \left(\frac{GHI_a}{I_{STC}} \right)}{8760 * P_R} \quad (3.39)$$

Eşitlikte gerekli sadeleştirme yapıldığında, bir bölgeye yatay pozisyonda kurulacak olan FV-GES'nin KF değerinin o bölgedeki toplam ışınlama doğrudan ilgili olduğu görülmektedir. Bu durumda, bir bölgeye yatay pozisyonda kurulacak bir GES'nin olası en yüksek KF değerini ifade etmek için, bölgesel teorik KF kavramı (BTKF) (Regional Theoretical CF–RTCF) kullanılabilir. Bir bölgenin bölgesel teorik KF değeri eşitlik (3.40) ile hesaplanabilir.

$$RTCF = \frac{GHI_a}{8760 * I_{STC}} \quad (3.40)$$

ArcGIS Pro Solar Analiz modülü ile hesaplanan yıllık toplam ışınlama değerleri kullanılarak her bir pikselin BTKF değeri bulunarak ve yeniden sınıflandırma için gerekli olan yıllık toplam ışınlama miktarı aralıklarına karar verilmiştir. Bu duruma göre yeniden sınıflandırma yapılarak, her bir bölgenin alanı ve yıllık toplam ışınlama miktarının ortalaması ArcGIS Pro yazılımı ile hesaplanmıştır.

3.11.3 Yıllık Potansiyel Enerji Hesabı

Her bir BTKF bölgesinde elektrik enerjisi potansiyeli (Electricity Generation Potential–EGP) (3.41) eşitliği kullanılarak hesaplanır [239].

$$EGP_{RTCF} = A_{RTCF} \cdot Z_{GHI} \cdot AF \cdot \eta_{PV} \quad (3.41)$$

Burada, EGP_{RTCF} (GWh) bir BTKF bölgesinden üretilebilecek enerjinin potansiyelini, A_{RTCF} (m²) bölgenin toplam alanını, Z_{GHI} (GWh/m²) her bir bölgedeki metrekare başına yıllık toplam ışınlama değerinin ortalamasını, AF alan faktörü (Area Factor-AF) (%) ve η_{PV} (%) FV sistemin verimidir. Formüldeki AF , tasarlanan platform üzerindeki toplam panel yüzey alanının (A_{PV}) platform alanına (A_P) oranı ile hesaplanır (3.42).

$$AF = \frac{A_{PV}}{A_P} \quad (3.42)$$

FV-GES sistemlerin verimi, sistemdeki tüm bileşenlerin verimlerinin çarpımı ile hesaplanır (3.43).

$$\eta_{sys} = \eta_m \cdot \eta_{cable} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_T \cdot (1 - Losses) \quad (3.43)$$

η_m : panel verimliliği (%18,44 üretici kataloğundan alınmıştır)

η_{cable} : kablo ve bağlantı kutusu verimliliği (%99,4) [26]

η_{inv} : inverter verimliliği (%98)

η_T : trafo verimliliği (%97) [26]

$Losses$: toplam kayıplar (%7 sıcaklık, düşük ısıtım ve diğer kayıplar)

3.12 Buharlaşma Hesabı

Su kütleleri üzerinde buharlaşma için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler tava yöntemi, su denge yöntemi, enerji denge yöntemi, kütle transfer yöntemi, penman yöntemi, basit abtew yöntemi, turç eşitliği, priestley-taylor yöntemi, enerji denge bowen oran yöntemleri olarak sıralanabilir [240].

Baraja özel olarak hazırlanmış otomasyon yazılımı tarafından kayıt altına alınan veriler aylık periyotlar halinde baraj işletme müdürlüğü tarafından raporlanmaktadır. Bu raporda, ortalama ısıtım, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nemlilik oranına göre hesaplanan aylık buharlaşma miktarı verisi bulunmaktadır. Altıncı adımda, buharlaşma kazancı, YFV-GES'nin kaplı olduğu alan ile sınırlandırılmıştır. Dolayısıyla her ay için barajın yüzey alanının tespit edilerek toplam alana oranlanması ile aylık kazanç miktarı bulunabilir. Aylık baraj yüzey alanları, GEE kullanılarak uydu görüntülerinden hesaplanmıştır. Buradan yola çıkarak yıllık buharlaşma kaybı (3.44) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$T_e = \sum_{m=1}^{12} \frac{A_{FPV}}{TSA_m} Evop_m \quad (3.44)$$

Bu formülde T_e (m^3), baraj yüzeyine kurulan YFV sisteminin kapladığı alandan yıllık buharlaşma miktarıdır. A_{FPV} (m^2), YFV sistemin yüzey alanı, TSA_m (m^2), barajın, GEE kullanılarak hesaplanan aylık yüzey alanı ve $EVOP_m$ (m^3) de raporda açıklanan aylık buharlaşma miktarıdır.

DEMİRKÖPRÜ BARAJI İÇİN YFV-GES TASARIMI

Bu bölümde, Demirköprü Barajı sınırlarını tespit etmek amacıyla uygun su çıkarma indeksi ve algoritmanın belirlenmesi, 20 yıllık baraj sınır değişimi, su dinamiklerinin incelenmesi, solar analiz, bölge için ölçülen meteorolojik veriler, Demirköprü Barajı için YFV-GES tasarımı ve enerji hesapları son olarak ise buharlaşma kazancına ilişkin sonuçlar açıklanmıştır.

4.1 UA Tekniği ile Baraj Kıyı Çizgisinin Çıkarılması

Demirköprü Barajı'nın kıyı sınırını belirlemek için kullanılan Landsat-8 (OLI) ve Sentinel-2 (MSI) görüntüleri piksel tabanlı kontrollü (RO ve EÇB) ve kontrolsüz (K-ortalamalar) algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Su alanlarını belirlemek için kullanılan NDWI ve MNDWI ile görünür (VIS) ve NIR bantlarına ait bilgiler sınıflandırma işlemlerine girdi oluşturmuştur. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizleri yapılmış ve CORS tekniği ile baraj sınırının yaklaşık %20'si için toplanan ölçüler ve sınıflandırma sonuçları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

1 Kasım 2018 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü üzerinde yapılan sınıflandırma sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 1 Kasım 2018 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsünün kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma doğruluğu

Algoritma		RO			EÇB			K-ortalamlar		
Bant kombinasyonu	Sınıf	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI
ÜD	SY	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,4	100,0	98,4
	MO	84,4	79,0	83,3	95,8	94,8	97,9	63,4	95,8	63,4
	TA	88,4	92,1	91,4	89,9	90,3	91,3	78,6	89,9	78,6
	BA	97,6	97,9	95,8	85,1	86,5	83,6	67,3	85,1	67,3
KD	SY	98,8	98,8	97,6	96,0	98,0	96,4	99,6	99,8	99,6
	MO	92,8	96,4	95,6	91,2	94,8	91,6	50,0	91,2	50,0
	TA	91,6	88,8	88,8	85,6	85,2	84,0	69,2	85,6	69,2
	BA	80,4	76,4	82,8	96,0	92,4	97,6	88,8	96,0	88,8
GD		90,1	90,1	91,2	92,1	92,6	92,4	76,8	92,4	76,8
K		0,879	0,869	0,883	0,895	0,901	0,899	0,691	0,898	0,691

SY pikselleri, Landsat-8 (OLI) uydu görüntüsüne uygulanan RO ve EÇB kontrollü sınıflandırma algoritmaları ile yüksek doğrulukta sınıflandırılmıştır. Her iki sınıflandırma yönteminde de SY'nin ÜD değerleri %100,0 olarak hesaplanmış ve KD değerleri %96,0 ile %98,8 arasında değişmiştir. Ayrıca, daha yüksek GD ve Kappa istatistiksel değerleri sınıflandırmanın başarısını ortaya koymuştur. Aynı görüntü bantlarına uygulanan K-ortalamlar kontrolsüz sınıflandırma algoritması da SY'yi başarıyla çıkarmıştır. Elde edilen ÜD ve KD değerleri SY için oldukça yüksek çıkmıştır. Öte yandan, tüm sınıfları hesaba kattığımızda, kontrolsüz sınıflandırmanın genel başarısı yalnızca VIS+NIR+NDWI bant kombinasyonları için yüksek kabul edilebilir.

12 Mayıs 2019 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü için sınıflandırma doğrulukları Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.2 12 Mayıs 2019 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsünün kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma doğruluğu

Algoritma		RO			EÇB			K-ortalamlar		
Bant kombinasyonu	Sınıf	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI
ÜD	SY	96,5	95,8	96,7	98,8	98,7	98,9	95,5	95,5	95,5
	MO	77,4	83,2	84,6	95,6	94,7	94,7	64,2	64,2	64,2
	TA	69,6	63,6	58,1	75,7	74,1	66,9	52,8	52,8	52,8
	BA	93,7	91,2	90,9	72,2	83,3	83,8	90,1	90,1	90,1
KD	SY	100,0	100,0	100,0	87,0	100,0	96,1	100,0	100,0	100,0
	MO	92,9	90,7	90,1	88,2	88,6	88,6	57,1	57,1	57,0
	TA	84,2	83,1	84,2	85,3	84,0	85,0	62,7	62,7	62,7
	BA	51,7	50,7	41,8	79,7	77,0	71,0	79,4	79,4	79,4
GD		83,2	82,4	80,3	85,2	88,1	85,7	76,2	76,2	76,2
K		0,775	0,764	0,736	0,802	0,840	0,809	0,681	0,681	0,681

RO ve EÇB algoritmalarının sınıflandırma doğruluğu oldukça yüksektir. SY'nin ÜD değerleri %95,8 ile %98,9 arasında değişirken, KD değerleri tüm bant kombinasyonları için RO algoritması ile %100,0 çıkmıştır. EÇB algoritması için KD değeri, yalnızca VIS+NIR bant kombinasyonunda %87,0 çıkmıştır. Tüm bant kombinasyonları arasında VIS+NIR bant kombinasyonunun, EÇB algoritması kullanıldığında su yüzeyi ekstraksiyonu için daha kötü olduğu söylenebilir. 12 Mayıs 2019 tarihli Landsat görüntüsünün GD değerleri ve Kappa istatistiksel değerleri, 1 Kasım 2018 tarihli Landsat görüntüsünden daha düşüktür. K-ortalamlar görüntü bantlarına uygulanan kontrolsüz sınıflandırma işlemleri SY için oldukça başarılıdır. SY'nin ÜD değeri %95,0'in üzerine çıkarken, KD değerleri %100,0 olarak hesaplanmıştır. Öte yandan, daha düşük GD ve Kappa istatistiksel değerleri, sınıflandırmaların genel olarak yeterince başarılı olmadığını göstermektedir.

1 Kasım 2018 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI) görüntüsü için sınıflandırma doğrulukları Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.3 1 Kasım 2018 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI) görüntüsünün kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma doğruluğu

Algoritma		RO			EÇB			K-ortalamlar		
Bant kombinasyonu	Sınıf	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI
ÜD	SY	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,4	100,0	100,0
	MO	98,7	97,8	98,6	99,1	99,6	99,5	100,0	74,6	68,8
	TA	89,4	90,0	79,9	92,1	87,7	88,9	100,0	94,6	71,1
	BA	92,1	92,5	91,5	50,1	89,5	64,4	60,1	77,6	92,0
KD	SY	100,0	100,0	98,4	18,8	46,4	63,2	100,0	100,0	82,4
	MO	90,8	90,4	82,8	89,2	88,8	85,6	62,8	66,8	73,5
	TA	90,8	90,4	90,4	84,4	88,4	85,2	69,1	77,2	75,6
	BA	98,0	99,2	94,8	100,0	98,4	100,0	100,0	100,0	96,4
GD		94,9	95,0	91,6	73,1	85,5	83,5	83,0	86,0	81,9
K		0,932	0,933	0,888	0,641	0,751	0,780	0,773	0,813	0,758

1 Kasım 2018 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI) için uygulanan RO kontrollü sınıflandırma algoritması kullanılan tüm bant kombinasyonları için su yüzeyinin ÜD değerleri %100,0 olarak elde edilmiştir. KD değerleri %98,4 ile VIS+NIR+MNDWI bant kombinasyonunda en düşük değer olarak hesaplanmıştır. GD ve Kappa istatistiksel değerleri de oldukça yüksek çıkmıştır. EÇB algoritması ile yapılan sınıflandırmalarda ÜD değerleri %100,0 olmasına rağmen KD değerleri çok düşük çıkmıştır. Bu değerler, EÇB algoritmasının, bu çalışma alanındaki Sentinel-2A L2A (MSI) görüntü bantlarındaki su yüzeyini doğru şekilde çıkaramadığını göstermektedir. Aynı görüntü bantlarına uygulanan K-ortalamlar algoritmasının kontrolsüz sınıflandırma sonuçları, su yüzeyinin VIS+NIR+MNDWI bant kombinasyonu dışındaki bantlardan başarıyla çıkarılabileceğini göstermektedir. KD değeri, VIS+NIR+MNDWI bant kombinasyonu için %82,4 hesaplanmıştır. K-ortalamlar ile sınıflandırmanın genel başarısı düşük çıkmıştır.

30 Nisan 2019 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI) görüntüsü için sınıflandırma doğrulukları Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.4 30 Nisan 2019 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI) görüntüsünün kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma doğruluğu

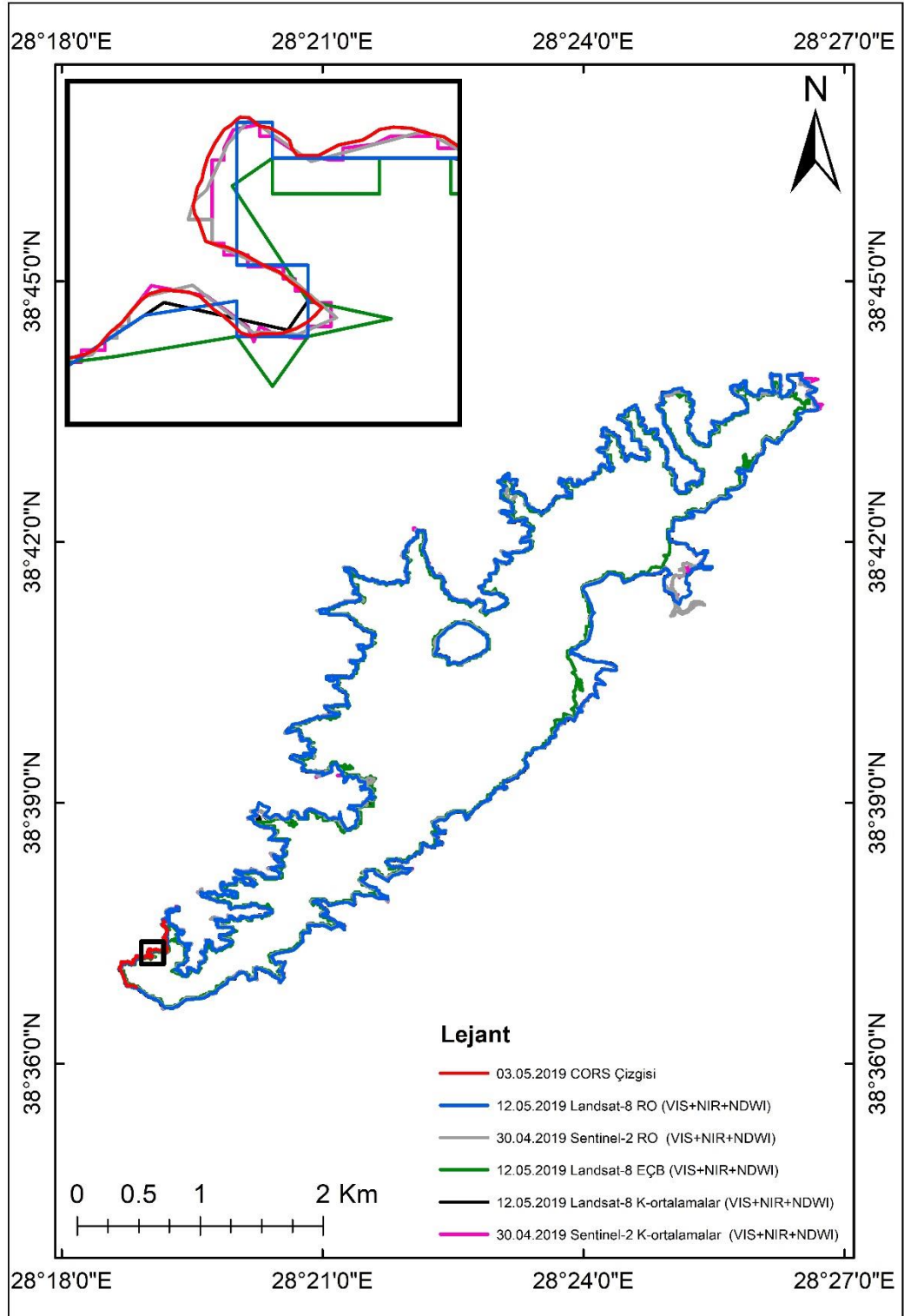
Algoritma		RO			EÇB			K-ortalamlar		
Bant kombinasyonu	Sınıf	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI
ÜD	SY	97,7	96,5	98,2	98,5	98,6	99,1	96,5	97,9	96,5
	MO	93,5	98,1	94,1	97,2	99,2	99,6	74,3	63,9	53,6
	TA	65,5	64,6	61,6	76,2	67,9	70,2	91,1	78,2	73,4
	BA	88,4	86,7	88,1	58,1	81,0	66,9	63,3	54,9	56,3
KD	SY	99,2	99,7	99,5	68,3	75,6	85,5	100,0	99,5	43,4
	MO	80,2	80,6	73,8	85,4	75,9	71,4	74,1	54,6	77,5
	TA	89,7	88,0	90,3	78,0	84,0	84,7	61,3	56,3	59,0
	BA	68,5	69,3	67,2	85,3	82,8	83,8	80,1	76,3	78,8
GD		85,0	85,0	83,4	78,8	79,3	81,4	80,2	73,2	63,8
K		0,800	0,799	0,778	0,718	0,731	0,753	0,734	0,641	0,520

30 Nisan 2019 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI) 'ye uygulanan her iki kontrollü sınıflandırma algoritmasının sonuçları 1 Kasım 2018 tarihli görüntülerin sonuçlarına benzer çıkmıştır. Diğer bir deyişle, RO algoritmasının sınıflandırma sonuçları başarılı kabul edilmesine rağmen, EÇB algoritması sonuçları tatmin edici değildir. Su yüzeyi için K-ortalamlar algoritması ile elde edilen kontrolsüz sınıflandırma işlemleri VIS+NIR+MNDWI bant kombinasyonunda başarısız olurken, diğer iki bant kombinasyonu yani VIS+NIR ve VIS+NIR+NDWI için başarılıdır. Sınıflandırmanın genel doğruluğu da daha düşüktür.

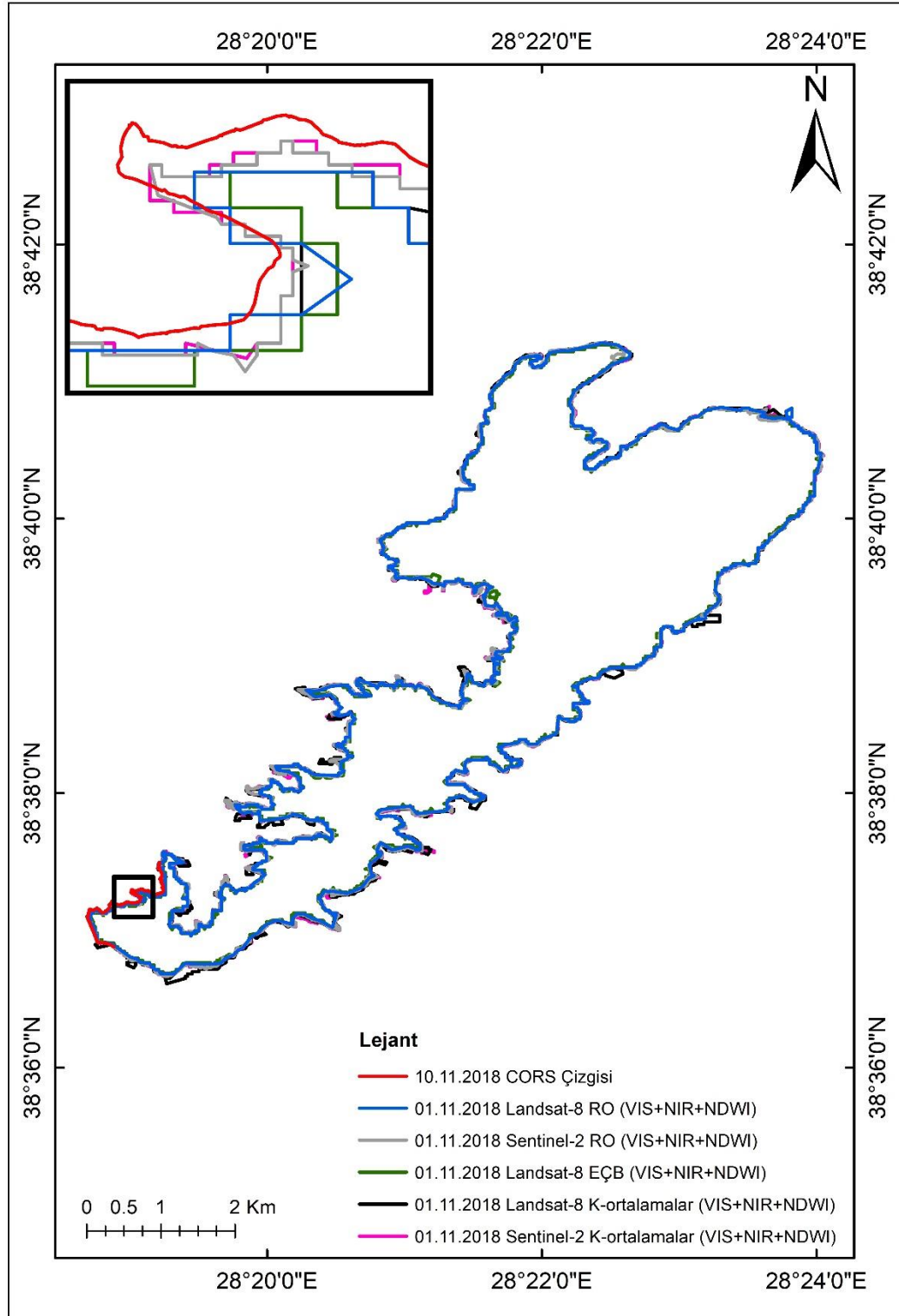
Su yüzeylerinin sınıflandırma doğrulukları, kullanılan bant kombinasyonları, uydu görüntülerin mekansal çözünürlükleri ve kullanılan algoritmalar gibi parametrelere göre değişmektedir. Kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırmalar, 30 m mekansal çözünürlüğe sahip Landsat-8 (OLI) görüntüleri için üç algoritmanın tümü ile başarıyla gerçekleştirildi. VIS+NIR+NDWI bant kombinasyonuna uygulanan kontrollü sınıflandırma işlemlerinin doğruluğu genel olarak daha başarılıdır. Kontrolsüz sınıflandırma için, tüm bant kombinasyonlarının doğruluğu hemen hemen aynıdır. RO algoritması, Sentinel-2A L2A (MSI) için kontrollü sınıflandırma yöntemleri arasında daha başarılı olanıdır. EÇB

algoritması ile yapılan sınıflandırmada, incelenen üç bantlı kombinasyonlar için genel olarak başarısız sonuçlanmıştır. K-ortalamalar algoritması ile uygulanan kontrolsüz sınıflandırmalar arasından diğer bant kombinasyonları ile karşılaştırıldığında, VIS+NIR+MNDWI bant kombinasyonlarından elde edilen sonuçlar istenilen düzeyde değildir. 1 Kasım 2018 tarihli görüntü, sınıflandırma tutarlılığı açısından 30 Nisan 2019 tarihli görselden daha doğrudur.

Bu çalışmada %95,0 ve üzeri sınıflandırma doğruluğuna sahip sınıflandırılmış görüntülerin su yüzeyi sınırları sayısallaştırılmıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Su yüzeyi sınıfı %5,0'ten fazla hata ile tespit edildiğinde, bu sınıflandırılmış görüntüler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Başarılı olduğu düşünülen sınıflandırmalar sonucunda elde edilen su yüzeyi sınırları, CORS-TR ile ölçülen sınırlarla karşılaştırılmıştır. CORS-TR ölçümleri, uydu görüntülerinin elde edildiği çok yakın bir tarihte gerçekleştirildi. Uydu görüntülerinden elde edilen ve CORS-TR ile ölçülen sınırlar arasındaki farklar, RMSE değerleri hesaplanarak analiz edilmiştir (Tablo 4.5).



Şekil 4.1 Uydu görüntülerinin farklı bant kombinasyonlarından ve 10 Kasım 2018'deki CORS-TR ölçümlerinden türetilen SY sınırları



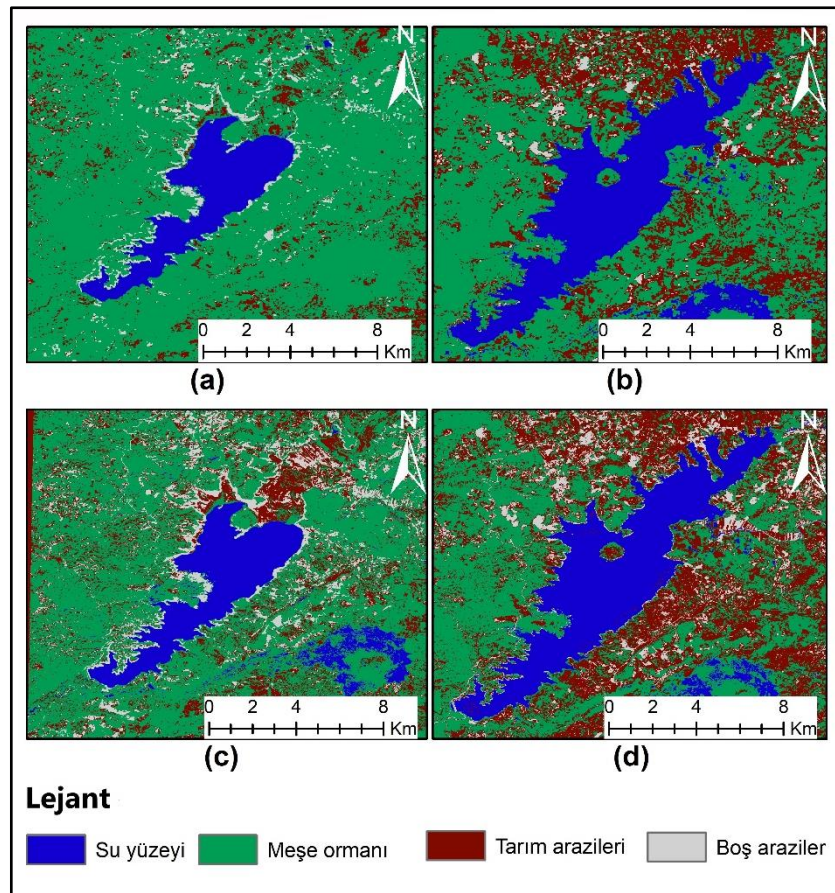
Şekil 4.2 Uydu görüntülerinin farklı bant kombinasyonlarından ve 3 Mayıs 2019 tarihli CORS-TR ölçümlerinden türetilen SY sınırları

Tablo 4.5 Uydu görüntüleri ve CORS_TR ölçümlerinden elde edilen sınırların karşılaştırılması

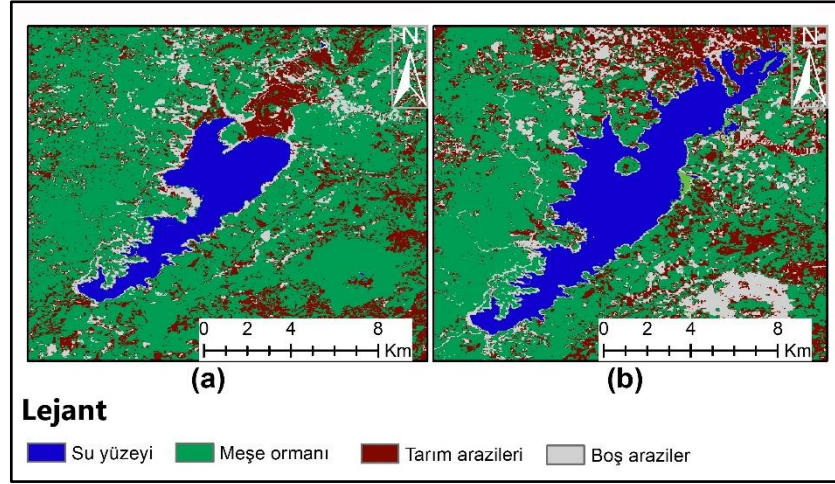
	Algoritma	RO			EÇB			K-ortalamalar		
	Bant kombinasyonu	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI	VIS+NIR	VIS+NIR+NDWI	VIS+NIR+MNDWI
CORS ölçüm tarihi	30 m mekansal çözünürlüklü Landsat-8 (OLI) Tarih: 01.11.2018 ile 10.11.2018 CORS ölçüm arasındaki RMSE değerleri (m)									
10.11.2018		29,4	26,7	38,0	57,0	37,9	58,3	24,2	24,2	24,2
CORS ölçüm tarihi	30 m mekansal çözünürlüklü Landsat-8 (OLI) Tarih: 12.05.2019 ile 03.05.2019 CORS ölçüm arasındaki RMSE değerleri (m)									
03.05.2019		17,4	13,8	21,6	-	36,7	39,1	14,5	14,5	14,5
CORS ölçüm tarihi	10 m mekansal çözünürlüklü Sentinel-2 L2A (MSI) Tarih: 01.11.2018 ile 10.11.2018 CORS ölçüm arasındaki RMSE değerleri (m)									
10.11.2018		19,3	17,6	43,3	-	-	-	16,4	32,1	-
CORS ölçüm tarihi	10 m mekansal çözünürlüklü Sentinel-2 L2A (MSI) Tarih: 30.04.2019 ile 03.05.2019 CORS ölçüm arasındaki RMSE değerleri (m)									
03.05.2019 RMSE (m)		13,6	10,1	24,7	-	-	-	9,6	23,7	-

RO ve EÇB algoritmaları için hesaplanan RMSE'ler incelendiğinde, RO'nin EÇB'den daha başarılı performans gösterdiği görülmektedir. RO'nin uygulandığı üç farklı bant kombinasyonu göz önüne alındığında, VIS+NIR+NDWI bant kombinasyonundan elde edilen sonuçlar genellikle daha başarılı görünmektedir (Şekil 4.3 a, b, c, d). Ayrıca sınıflandırılmış VIS+NIR+NDWI bant kombinasyonundan türetilen sınırların EÇB sonuçlarında daha başarılı olduğu da açıktır (Şekil 4.4 a, b). K-ortalamalar algoritması

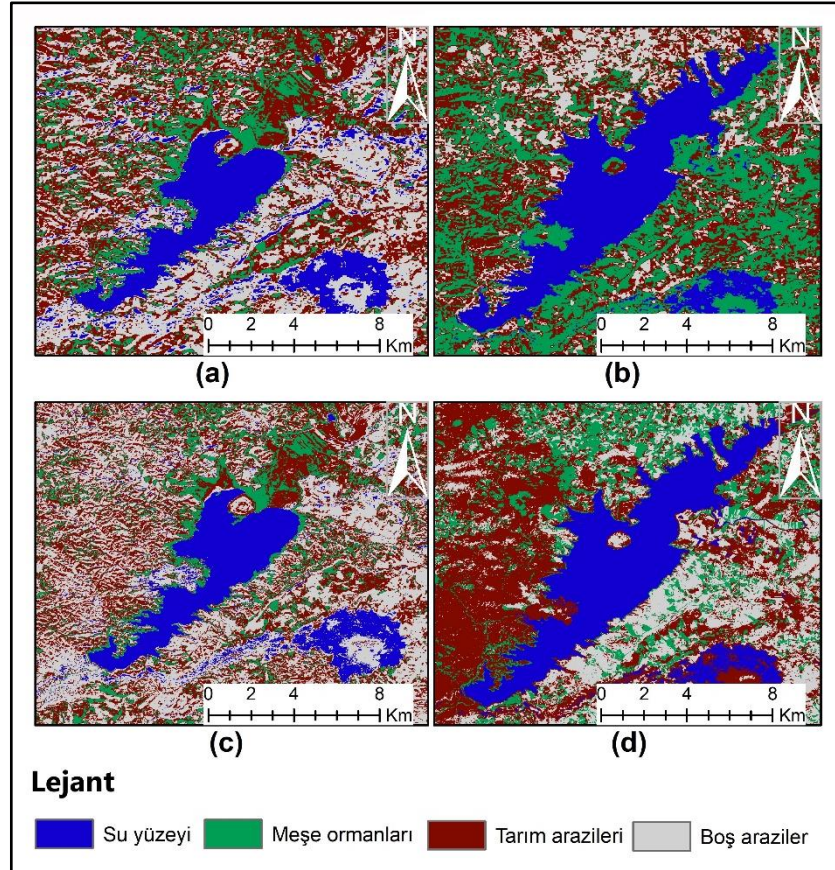
ile uygulanan kontrolsüz sınıflandırma süreçleri de oldukça başarılıdır. Ancak bu yöntemle VIS+NIR+MNDWI bant kombinasyonu en iyisi değildir. Öte yandan, K-ortalamlar ile VIS+NIR bant kombinasyonundan türetilen sınırlar çok başarılıdır (Şekil 4.5 a, b, c, d). K-ortalamlar ile sınıflandırılan VIS+NIR bant kombinasyonlarının sonuçlarının, RO ile sınıflandırılan VIS+NIR+NDVI bant kombinasyonlarından elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu da söylenebilir. Ancak, bu başarı sadece su yüzeyi alanlarının elde edilmesiyle ilgilidir, kontrollü sınıflandırma algoritmaları, diğer arazi kullanım türlerinin türetilmesinde kontrolsüz sınıflandırma algoritmalarına göre daha başarılıdır.



Şekil 4.3 RO algoritması kullanılarak sınıflandırılan VIS + NIR + NDWI bant kombinasyonu sonuçları: a) 01 Kasım 2018 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, b) 12 Mayıs 2019 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, c) Sentinel-2A L2A (MSI), 1 Kasım 2018 tarihli d) Sentinel-2A L2A (MSI), 30 Nisan 2019 tarihli



Şekil 4.4 EÇB algoritması kullanılarak sınıflandırılan VIS + NIR + NDWI bant kombinasyonu sonuçları: a) 01 Kasım 2018 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, b) 12 Mayıs 2019 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü.



Şekil 4.5 K-ortalamlar algoritması kullanılarak sınıflandırılan VIS + NIR bant kombinasyonu sonuçları: a) 01 Kasım 2018 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, b) 12 Mayıs 2019 tarihli Landsat-8 (OLI) görüntüsü, c) Sentinel-2A L2A (MSI) 01 Kasım 2018 tarihli görüntüsü d) 30 Nisan 2019 tarihli Sentinel-2A L2A (MSI)

4.2 Baraj Kıyı Çizgisindeki Değişimlerin İzlenmesi

Baraj suyu genellikle barajdaki elektrik üretimi, tarımsal amaçlı sulama ve buharlaşma gibi etkiler nedeniyle yaz mevsimi sonları ve sonbahar mevsimi başındaki aylarda en düşük seviyeye düşmektedir. Bu kriterler göz önünde bulundurularak son 20 yıla ait yaz ve sonbahar mevsimlerinde her yıldan yaklaşık üç aya ait toplam 55 adet görüntü seçilmiş (Tablo 4.6) ve baraj kıyı çizgisindeki değişimler izlenmiştir. Çalışma bölgesinde meşe ormanları, tarım alanları, boş araziler ve su yüzeyleri olmak üzere dört ayrı arazi kullanım türü mevcuttur. Bu kullanım türlerine ait bölgeleri belirlemek için VIS, NIR ve NDWI bantları kullanılmıştır. GEE platformu kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırmaların doğruluk değerleri Tablo 4.6’da verilmektedir.

Tablo 4.6 Sınıflandırma doğrulukları ve alanları

Tarih	Uydu ID/ Sensor	Alan (m ²)	Doğruluk			
			Su için		GD (%)	K
			ÜD (%)	KD (%)		
09.08.1999	Landsat 5/ TM	40.425.000	93,0	100,0	91,4	0,875
26.09.1999	Landsat 5/ TM	35.655.500	100,0	100,0	90,5	0,861
12.10.1999	Landsat 5/ TM	34.997.900	100,0	100,0	88,7	0,834
11.08.2000	Landsat 5/ TM	35.987.200	100,0	100,0	95,7	0,938
12.09.2000	Landsat 5/ TM	31.500.700	99,8	100,0	91,9	0,881
15.11.2000	Landsat 5/ TM	29.937.700	100,0	100,0	82,5	0,744
14.08.2001	Landsat 5/ TM	17.415.600	100,0	99,9	92,0	0,882
15.09.2001	Landsat 5/ TM	17.114.800	100,0	99,9	94,8	0,924
01.10.2001	Landsat 5/ TM	16.947.100	100,0	99,9	93,1	0,899
20.08.2003	Landsat 5/ TM	33.589.600	100,0	100,0	93,7	0,908
21.09.2003	Landsat 5/ TM	30.328.300	100,0	100,0	93,2	0,900
07.10.2003	Landsat 5/ TM	30.307.300	100,0	100,0	93,9	9.1001
22.08.2004	Landsat 5/ TM	28.362.400	100,0	100,0	94,2	9.1005
07.09.2004	Landsat 5/ TM	23.676.100	100,0	100,0	93,9	9.1000
10.11.2004	Landsat 5/ TM	23.514.100	99,9	96,9	74,6	0,625

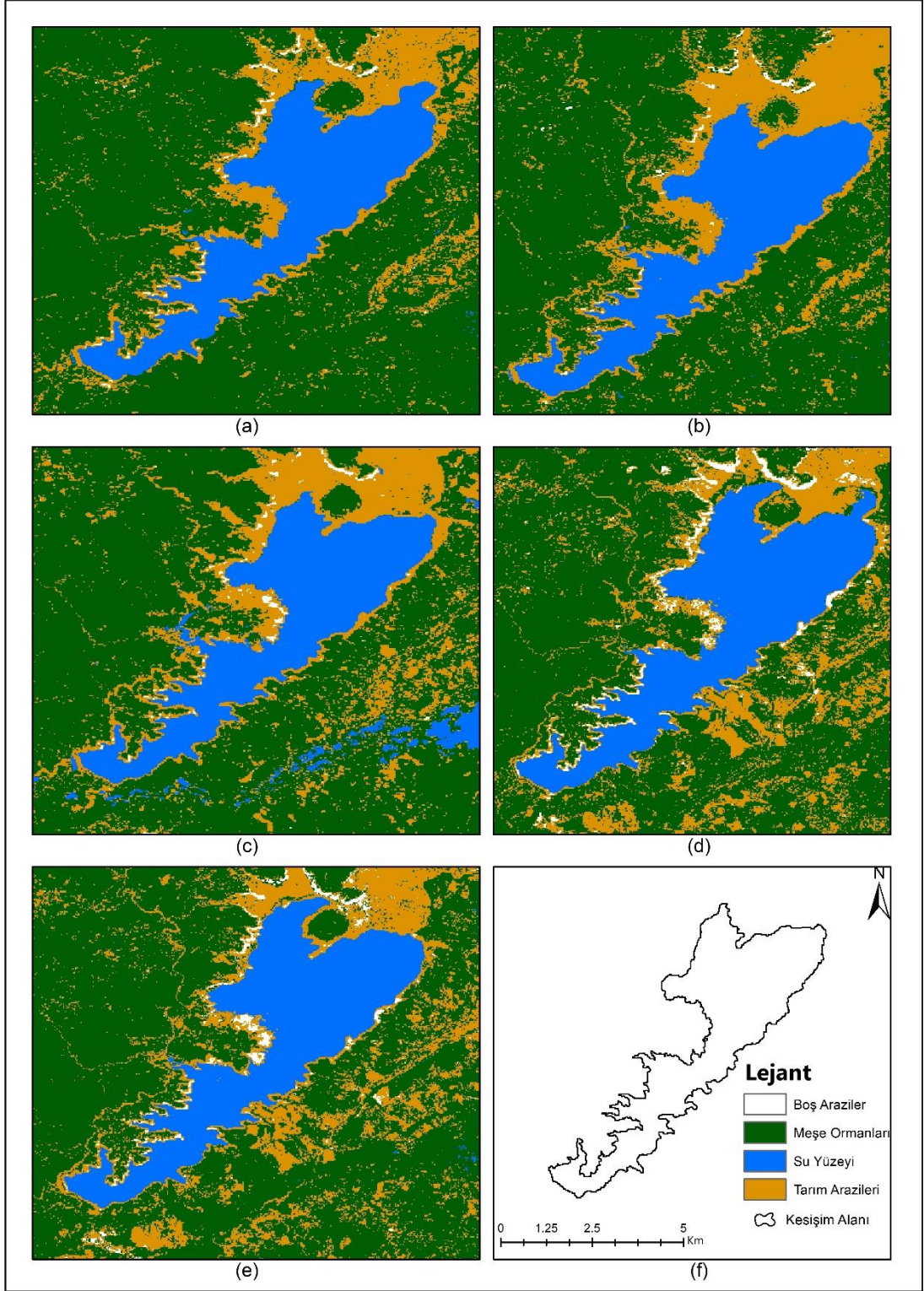
Tablo 4.7 Sınıflandırma doğrulukları ve alanları (devamı)

24.07.2005	Landsat 5/ TM	31.821.900	100,0	100,0	93,7	0,908
09.08.2005	Landsat 5/ TM	24.907.900	100,0	100,0	94,3	9.1007
10.09.2005	Landsat 5/ TM	19.796.500	100,0	100,0	93,1	0,899
27.07.2006	Landsat 5/ TM	35.138.400	100,0	100,0	95,2	0,930
13.09.2006	Landsat 5/ TM	22.414.200	100,0	100,0	92,4	0,890
16.11.2006	Landsat 5/ TM	23.752.600	100,0	100,0	88,0	0,824
28.06.2007	Landsat 5/ TM	23.389.500	100,0	100,0	93,6	0,907
15.08.2007	Landsat 5/ TM	16.251.600	100,0	99,8	93,1	0,898
16.09.2007	Landsat 5/ TM	16.018.000	100,0	99,7	93,2	0,901
01.08.2008	Landsat 5/ TM	16.032.100	99,7	99,8	95,1	0,928
04.08.2009	Landsat 5/ TM	34.962.300	100,0	100,0	96,1	0,942
05.09.2009	Landsat 5/ TM	30.633.300	100,0	100,0	93,4	0,903
07.10.2009	Landsat 5/ TM	31.406.900	100,0	99,9	91,0	0,868
23.08.2010	Landsat 5/ TM	36.632.000	100,0	100,0	93,9	9.1001
10.10.2010	Landsat 5/ TM	36.875.600	100,0	100,0	89,9	0,852
11.11.2010	Landsat 5/ TM	37.711.900	100,0	100,0	86,6	0,803
10.08.2011	Landsat 5/ TM	39.749.900	99,2	100,0	95,1	0,928
27.09.2011	Landsat 5/ TM	34.841.800	100,0	100,0	91,4	0,873
13.10.2011	Landsat 5/ TM	34.660.200	100,0	100,0	90,3	0,858
15.08.2013	Landsat 8/ OLI	36.544.900	100,0	100,0	96,4	0,947
16.09.2013	Landsat 8/ OLI	34.600.300	100,0	100,0	93,7	0,908
03.11.2013	Landsat 8/ OLI	36.020.400	100,0	100,0	93,1	0,898
02.08.2014	Landsat 8/ OLI	23.041.800	98,2	97,1	86,9	0,807
19.09.2014	Landsat 8/ OLI	19.526.200	100,0	99,9	85,1	0,779
21.10.2014	Landsat 8/ OLI	19.945.700	100,0	99,9	88,8	0,836
05.08.2015	Landsat 8/ OLI	35.374.400	100,0	100,0	94,4	9.1008
06.09.2015	Landsat 8/ OLI	32.618.500	100,0	100,0	92,8	0,894
24.10.2015	Landsat 8/ OLI	23.668.400	99,3	93,0	73,1	0,602
07.08.2016	Landsat 8/ OLI	29.940.600	100,0	100,0	94,5	0,920
08.09.2016	Landsat 8/ OLI	25.950.100	100,0	99,9	91,4	0,873

Tablo 4.8 Sınıflandırma doğrulukları ve alanları (devamı)

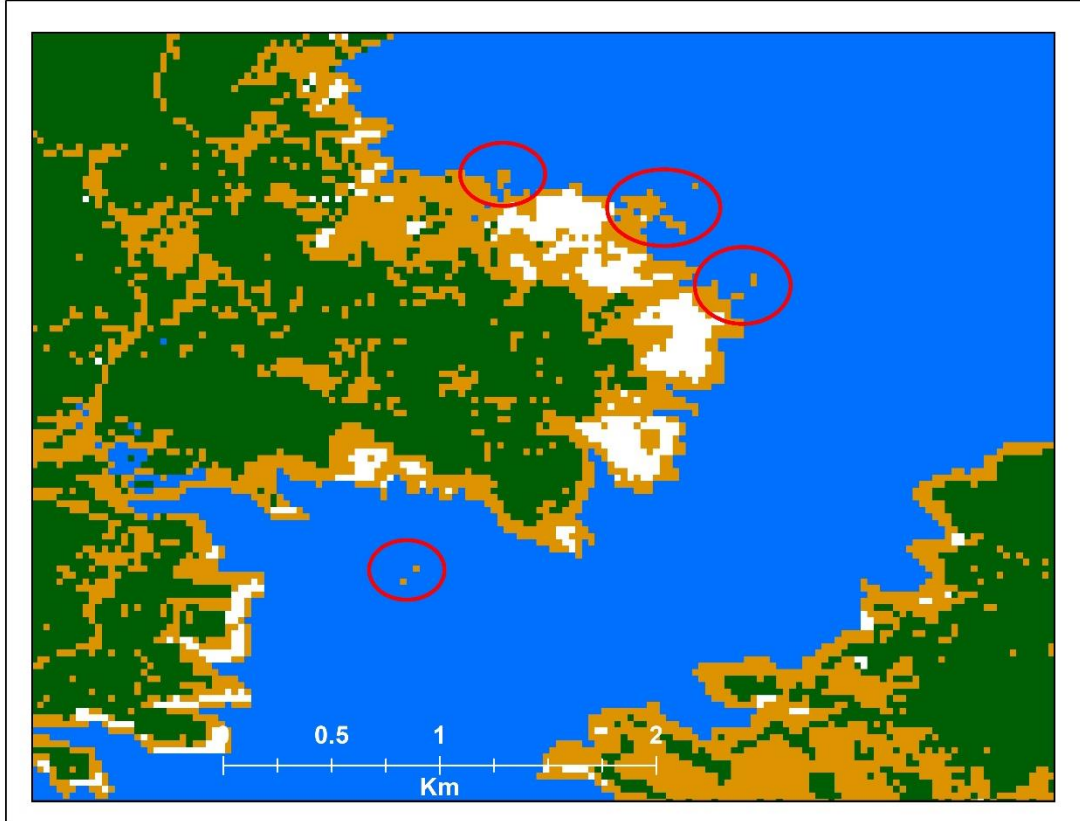
26.10.2016	Landsat 8/ OLI	25.974.800	100,0	100,0	88,3	0,828
01.08.2017	Sentinel 2 L2A MSI	21.107.900	100,0	100,0	95,1	0,923
07.09.2017	Sentinel 2 L2A MSI	17.939.600	100,0	100,0	92,2	0,882
06.11.2017	Sentinel 2 L2A MSI	17.860.300	99,9	99,9	84,2	0,759
01.08.2018	Sentinel 2 L2A MSI	18.831.700	100,0	99,9	93,2	0,893
02.09.2018	Sentinel 2 L2A MSI	17.539.800	100,0	100,0	92,9	0,893
02.10.2018	Sentinel 2 L2A MSI	17.561.600	100,0	100,0	88,4	0,824
01.08.2019	Sentinel 2 L2A MSI	21.027.200	100,0	99,9	94,2	0,908
02.09.2019	Sentinel 2 L2A MSI	18.774.900	100,0	100,0	92,5	0,886
02.10.2019	Sentinel 2 L2A MSI	18.561.500	100,0	100,0	86,2	0,785

Sınıflandırmaların genel doğruluğu minimum %73,1, Kappa değeri ise 0,602 ile 0,942 arasında değişmektedir. Sınıflandırma doğrulukları genel anlamda oldukça yüksektir. Genel doğruluk ve Kappa değerinin sırasıyla %90,0 ve 0,850'in üzerinde olduğu sınıflandırmalar, bu çalışmada başarılı kabul edilmiştir. Kabul edilen bu sınır değerleri birçok UA çalışmalarına göre oldukça yüksektir. 2001, 2007, 2008, 2017 ve 2018 tarihli sınıflandırmalar başarılıdır ve bu tarihlerde su seviyesi oldukça düşüktür (Tablo 4.6'da gri boyalı). Şekil 4.6 (a-e), ilgili tarihlerde tespit edilen baraj sınırlarını göstermektedir. Elde edilen bu beş baraj sınırının kesişim bölgesi, CBS araçları kullanılarak analiz edilmiştir (Şekil 4.6 f). En küçük alanlı bu bölge 15.624.500 m²'dir.



Şekil 4.6 Sınıflandırılan görüntülerden elde edilen a) Ekim 2001, b) Eylül 2007, c) Ağustos 2008, d) Eylül 2017, e) Eylül 2018 f) kesişim alanı

Baraj su seviyesinin azaldığı ve yüzey alanının küçüldüğü tarihlerde kıyılara yakın kesimlerde diğer zamanlarda görünmeyen bazı küçük adacıklar ortaya çıkmaktadır. YFV sistemine zarar verebilecek bu adacıkların konumları ve şekilleri, Landsat görüntülerine göre daha yüksek mekansal çözünürlüğe sahip Sentinel görüntüleri üzerinden sınıflandırılarak belirlenmiştir (Şekil 4.7). Belirlenen bu adacıkların toplam alanı 9.100 m²'dir.

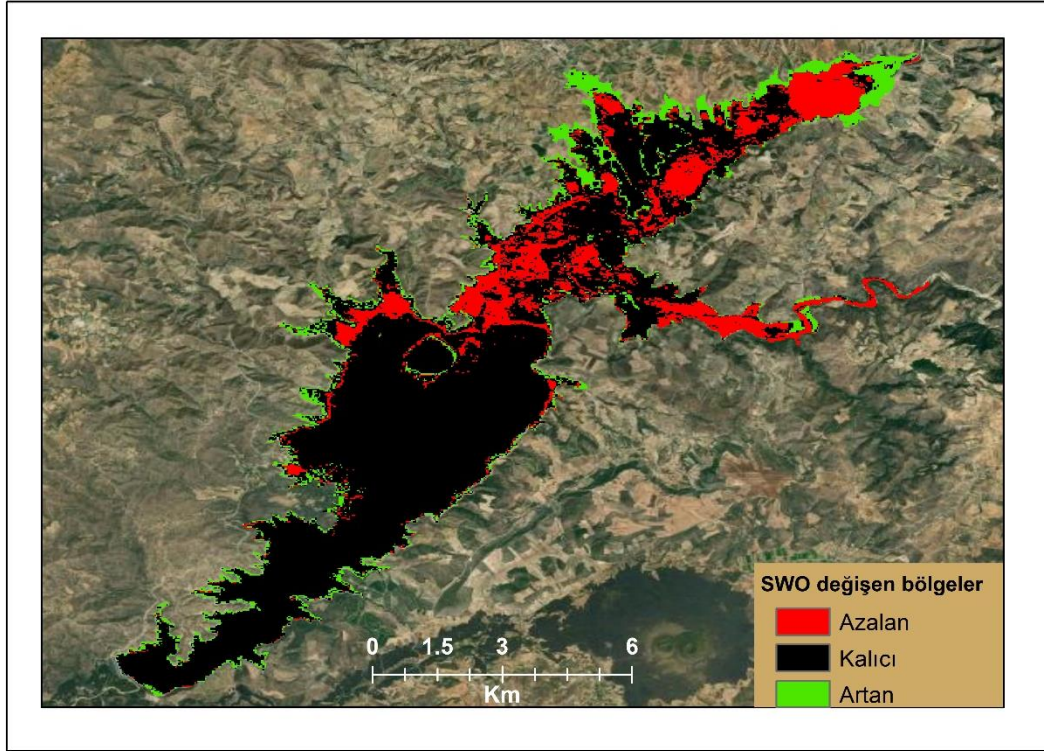


Şekil 4.7 02.09.2018 tarihli Sentinel 2A görüntüsü ile çıkarılan adacıklar kırmızı elipslerle işaretlenmiştir

4.3 Baraj Dinamiklerinin İzlenmesi

32 yıllık küresel su dinamiği haritası, Demirköprü Barajı'nın su dinamiklerini de açıklamaktadır (Şekil 4.8). SWO haritasında su oluşumdaki artışlar yeşil renk kullanılarak, düşüşler ise kırmızı renk kullanılarak temsil edilmektedir. 1984 ile 2015 yılları arasında kalıcı baraj sınırlarında önemli bir değişiklik yoktur. Barajın güneyinden orta kısımlarına kadar olan bölge su yüzeyinin korunduğu kısımdır. Bu bölgenin kıyı kesimlerinde zamana bağlı artışlar görülmektedir. Buna karşın, barajın kuzey kısmı suyun daha dinamik olduğu bölgedir. Demirköprü Barajı'nı kuzeyden besleyen Demirci

Çayı, doğudan besleyen Deliniş Çayı ve Gediz Nehri barajı dinamik hale getirmektedir. Topografik yapıya bağlı olarak kuzey bölgede su seviyesindeki artış ve azalmaları tetikleyen geçişkenlik SWO haritasıyla ortaya konulmaktadır. Barajın kuzey kısmında oluşan akıntılar bu bölgenin YFV panel tesisi için uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.8 Demirköprü barajı için 1984-2015 yılları arasında SWO değişim haritası

Oluşturulan SWO haritası ve sınıflandırma yöntemiyle sonuçlar arasındaki uyum rastgele seçilen 1.000 nokta kullanılarak Kappa istatistik testi ile incelenmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9 En düşük su yüzey alanı haritalarının görüntüleriyle SWO haritasının doğruluk testi

SWO değişim haritası	Tarih	Spacecraft ID/Sensor	K
Kalıcı veri	14.08.2001	Landsat-5 (TM)	0,792
	15.09.2001		0,790
	01.10.2001		0,782
	10.09.2005		0,828
	15.08.2007		0,744
	16.09.2007		0,732
	01.08.2008		0,708
	07.09.2017	Sentinel-2 L2A (MSI)	0,790
	01.08.2018		0,808
	02.09.2018		0,770
	07.09.2019		0,810

SWO haritası ile Eylül 2005, Ağustos 2018 ve Eylül 2019 tarihli görüntülerden türetilen baraj yüzey haritaları arasında hesaplanan Kappa değeri 0,80'nin üzerindedir. Bu değerden yüksek çıkan Kappa, SWO haritası ile sınıflandırılmış haritalar arasında çok yüksek uyumu işaret etmektedir [241]. Kappa değeri 0,80'den daha düşük çıkan alanlar diğer tarihlerdeki alanlara göre nispeten daha düşük olarak bulunmuştur. Bu durumda bu haritaların SWO haritası ile uyumunun daha düşük olduğu, dolayısıyla SWO haritasına göre, o tarihlerdeki su seviyesinin olağan durumdan daha fazla düştüğü tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, son yirmi yıllık süreçte, Ağustos 2001, Eylül 2001, Ekim 2001, Ağustos 2007, Eylül 2007, Ağustos 2008, Eylül 2017 ve Eylül 2018 tarihlerinde, Demirköprü Barajı'nda su çekilmesinin fazla olduğu tespit edilmiştir.

4.4 Bölgede Ölçülen Meteorolojik Değerler

Demirköprü Barajı'na çok yakın olan Köprübaşı ilçesinde 2019 yılında ölçülen radyasyon ve meteorolojik veriler kullanılarak belirlenen yatay yüzeydeki aylık ortalama günlük toplam ışıınım, aylık ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem değerleri Tablo 4.10'de verilmiştir (URL-2).

Tablo 4.10 Yatay yüzeyde aylık ortalama günlük toplam ışıınım, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve nem değerleri (URL-2)

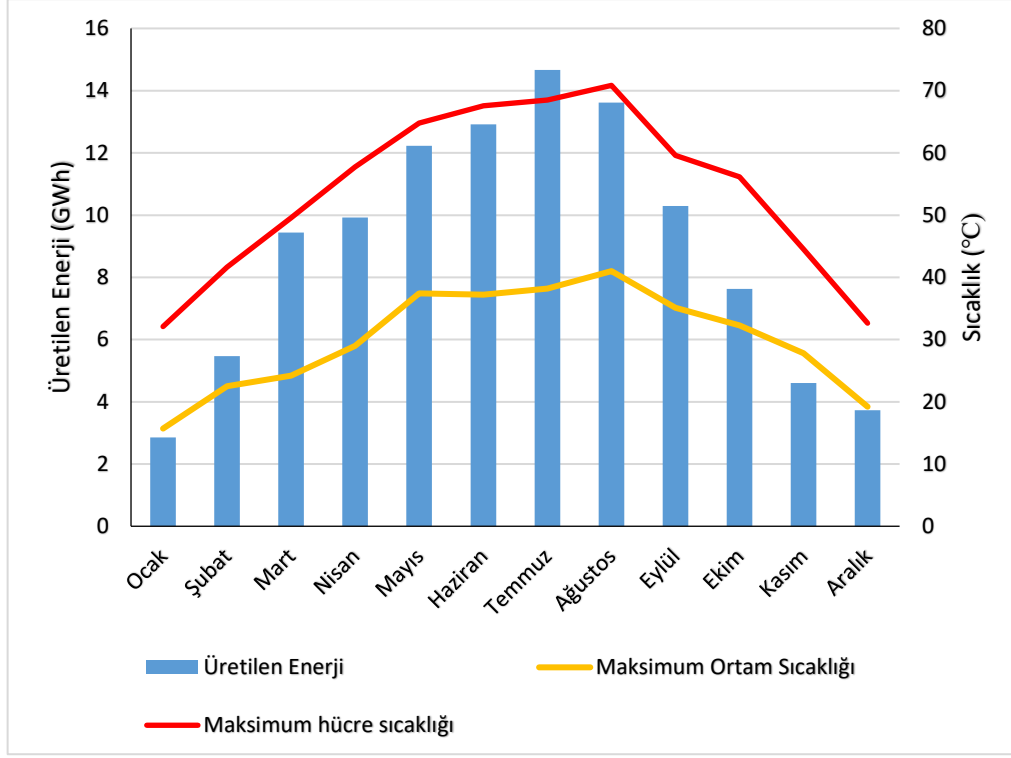
Ay	Aylık ortalama günlük toplam ışıınım (kWh/m ²)	Ortam sıcaklığı (°C)	Rüzgâr hızı (m/s)	Nem (%)
Ocak	1,52	6,20	3,72	80,8
Şubat	3,17	7,11	3,40	75,8
Mart	4,92	10,34	3,39	65,7
Nisan	5,35	13,55	3,09	64,9
Mayıs	6,38	19,47	2,71	60,0
Haziran	6,96	24,18	3,20	61,7
Temmuz	7,64	25,60	3,36	51,9
Ağustos	7,09	27,23	3,99	56,2
Eylül	5,54	22,19	3,20	55,8
Ekim	3,98	17,78	2,56	70,6
Kasım	2,50	12,86	2,68	78,1
Aralık	1,96	6,97	3,10	83,5
Ortalama	4,75	16,12	3,20	67,1

Alınan minimum ve maksimum günlük toplam güneş ışıınımı sırasıyla 4 Aralık'ta 672,45 Wh/m² ve 1 Temmuz'da 8.900,08 Wh/m² olarak ölçülmüştür. En düşük ve en yüksek sıcaklıklar sırasıyla 9 Ocak saat 04:00'da -4,8°C ve 12 Ağustos saat 14:00'da 41,0°C olarak ölçülmüştür. Aylık ortalama rüzgâr hızı 2,56-3,72 m/s arasında değişirken, ortalama bağıl nem temmuz ayında %51,9 ile en düşük, aralık ayında %83,45 ile en yüksek seviyededir.

4.5 YFV-GES Elektrik Enerjisi Üretimi Hesabı

Bu aşamada, GEE ile tespit edilen baraj yüzey alanlarından, çakıştırma analizi sonucu belirlenen minimum yüzey alanının tamamı YFV-GES'i ile kaplanması planlanmıştır. Bu amaçla her biri 91,25 m² alana sahip toplam 168.938 grup hesaplanan 15.624.500 m² baraj yüzeyine manuel olarak yerleştirilmiştir. Her bir grup 12kWp çıkış gücüne sahip olduğundan, toplam sistem gücü 2.027.256 kWp (~2,03GWp) olarak hesaplanmıştır.

Şebekeye 2,03 GWp kurulu güce sahip YFV sistemle şebekeye aktarılacak enerji miktarı Eşitlik (3.30-3.33) saatlik olarak hesaplanmıştır. Saatlik hesaplanan bu değerler üzerinden üretilen günlük toplam enerji, aylık maksimum ortam ve hücre sıcaklığı değerleri hesaplanarak Şekil 4.9'da verilmiştir.



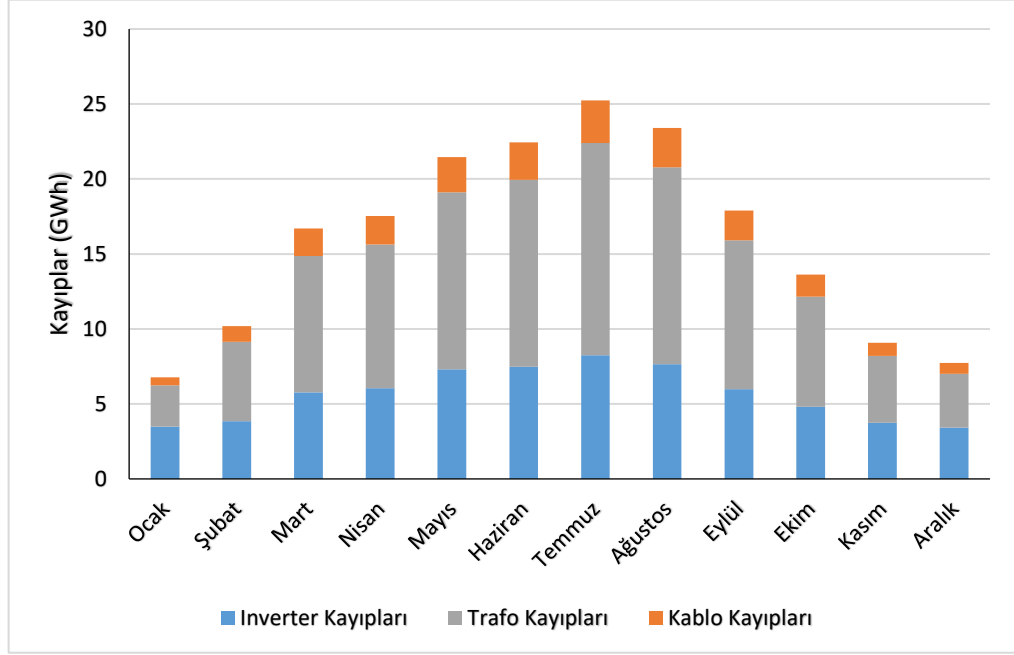
Şekil 4.9 Şebekeye aktarılan enerji, maksimum ortam sıcaklığı ve maksimum hücre sıcaklığı

Yatay bir yüzeydeki aylık toplam ışıınım, şebekeye aktarılan enerji ve sistemin toplam kayıpları Tablo 4.11 ‘da verilmiştir.

Tablo 4.11 Toplam yatay ışıınım, aylık aktarılan enerji ve sistem kayıpları

Aylar	Toplam yatay ışıınım (kWh/m ²)	Aktarılan Enerji (GWh)	Toplam Kayıplar (GWh)
Ocak	46,99	88,46	6,78
Şubat	88,64	169,49	10,19
Mart	152,63	292,66	16,70
Nisan	160,46	307,66	17,54
Mayıs	197,65	379,04	21,47
Haziran	208,75	400,52	22,44
Temmuz	236,81	454,56	25,23
Ağustos	219,87	422,04	23,40
Eylül	166,27	318,99	17,89
Ekim	123,46	236,54	13,63
Kasım	74,94	142,79	9,08
Aralık	60,83	115,58	7,73
Toplam	1.737,29	3.328,33	192,08

Yatay yüzeyde kaydedilen yıllık toplam ışıınım $1.737,29 \text{ kWh/m}^2$ olurken, en düşük aylık ışıınım değeri ocak ayında $46,99 \text{ kWh/m}^2$, en yüksek ise temmuz ayında $236,81 \text{ kWh/m}^2$ olarak gerçekleşmiştir. FV sistemi güneş ışıınımının en yüksek olduğu temmuz ayında $454,56 \text{ GWh}$, ışıınımın en düşük olduğu ocak ayında ise $88,46 \text{ GWh}$ elektrik enerjisi şebekeye aktarmaktadır. $2,03 \text{ GWp}$ YFV güneş enerjisi santrali ile şebekeye yıllık toplam $3.328,33 \text{ GWh}$ enerji aktarılırken toplam kayıp ise $192,08 \text{ GWh}$ olarak hesaplanmıştır. Sistemdeki kayıplar Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Toplam kayıplar

Dizi çıkış gücüne göre hesaplanan kablo, invertör ve trafo kayıpları incelendiğinde, en yüksek kaybın trafolardan, en düşük kaybın ise kablolama sisteminden olduğu görülmüştür.

4.6 Bölgesel Teorik Kapasite Faktörleri

Demirköprü Barajı için hesaplanan en düşük su seviyeli alanda her bir piksel için 2020 yılına ait yatay yüzeydeki yıllık toplam ışıınım CBS solar analiz kullanılarak hesaplanmıştır. Su yüzeyinde hesaplanan en düşük ve en yüksek yıllık toplam ışıınım miktarı sırasıyla $1.553,96 \text{ kWh/m}^2$ ve $1.875,25 \text{ kWh/m}^2$ ’dir. Bu değer aralıklarında BTKF değerleri en düşük %18, en yüksek %21 olarak hesaplanmış ve her bir yüzdelik değer için bir sınıf oluşturulmuştur. Ayrıca alanlar dikkate alınarak bölge baraj geneli için ağırlıklı

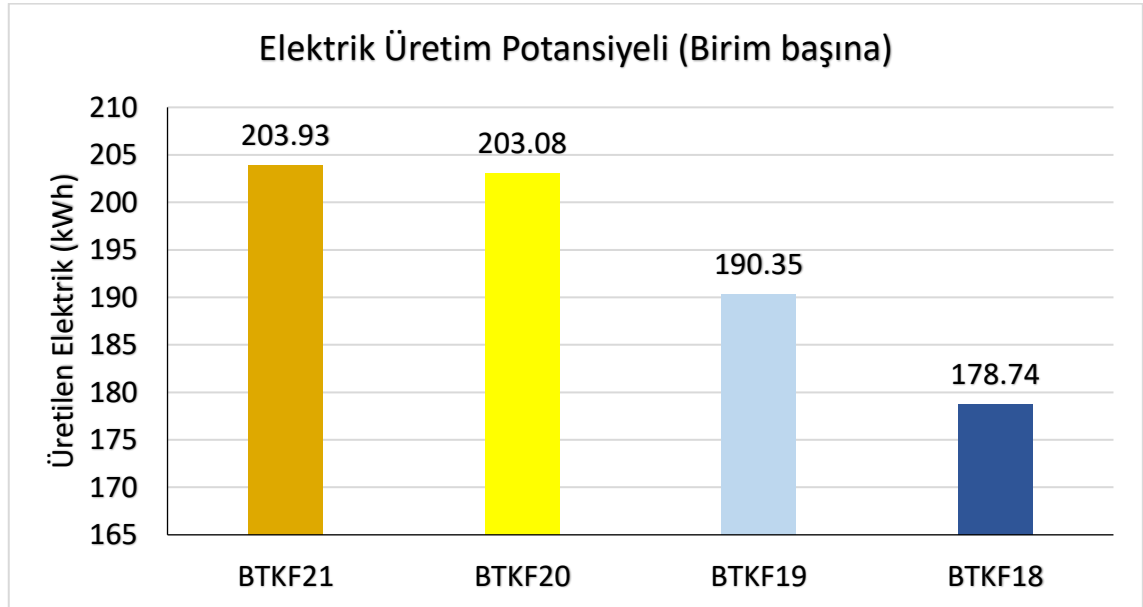
BTKF değeri ise %20,95 olarak hesaplanmıştır. Her bir BTKF sınıfının yıllık toplam ışıının minimum, maksimum ve ortalama değeri Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12 Kapasite faktörlerine göre oluşan sınıflar

Bölge	BTKF21	BTKF20	BTKF19	BTKF18
BTKF (%)	21	20	19	18
GHI Aralığı (kWh/m ² -yıl)	1.795,80 1.875,25	1.708,74 1.795,79	1.633,15 1.705,68	1.553,96 1.606,82
Bölgesel ortalama GHI (kWh/m ² -yıl)	1.798,36	1.790,85	1.678,54	1.576,19

Tablo incelendiğinde bölgesel yıllık toplam ışıınım değeri BTKF21 ile BTKF20 arasında birbirlerine çok yakın olduğu, fakat BTKF19 ve BTKF18’de, yıllık toplam ışıınım değeri BTKF21’e göre 220kWh/m² kadar düştüğü görülmüştür.

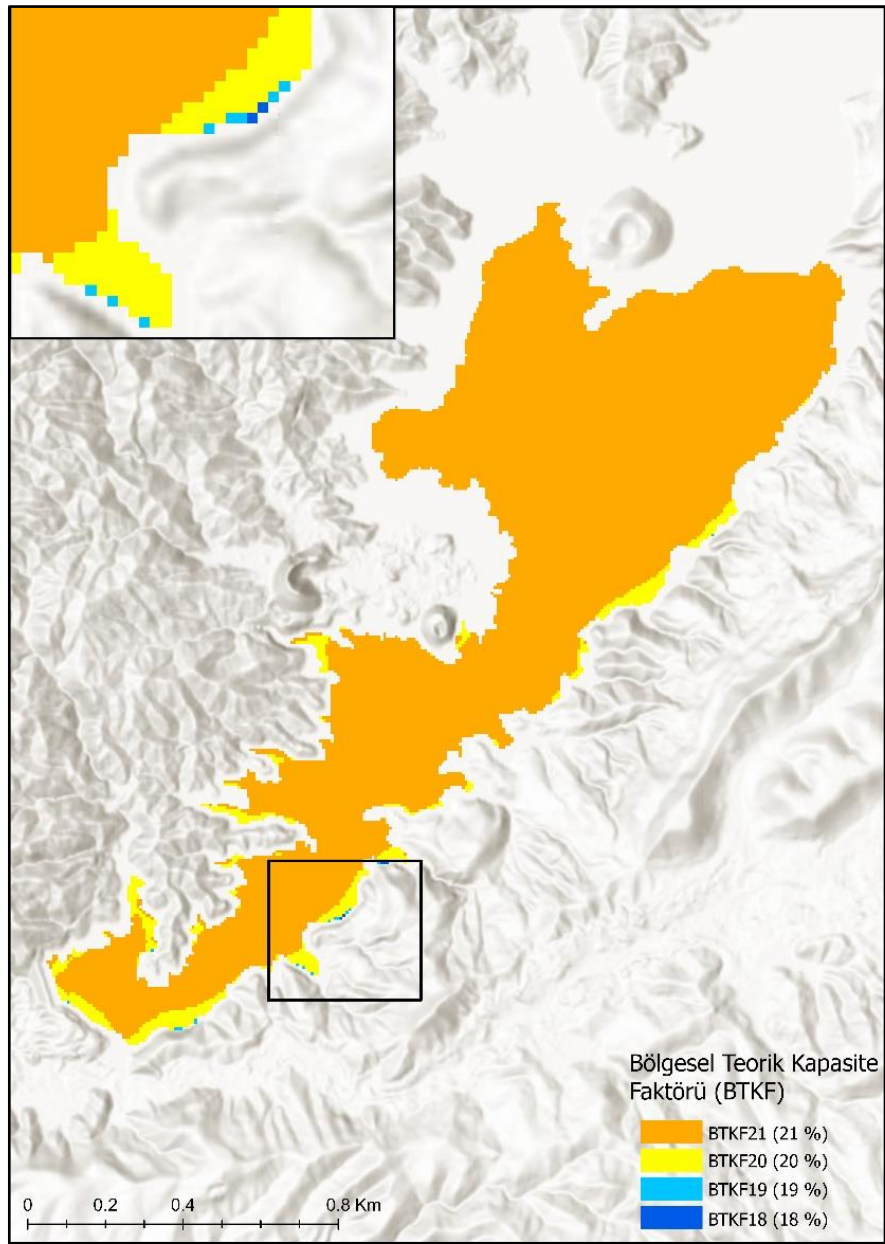
Baraj yüzeyine kurulacak YFV sistemin (3.37) eşitliği ile hesaplanan (η_{sys}) toplam verimi %16,20 ve tasarlanan yüzer platformun (3.36) eşitliği ile hesaplanan AF değeri 0,7 olarak alınmış ve bu koşullar altında her bir bölgedeki 1m²’lik birim yüzeyin yıllık elektrik üretebilme potansiyeli hesaplanmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Her bir bölgedeki 1m²’lik alanın elektrik enerjisi potansiyeli

Grafiğe göre birim yüzeyde güneş enerjisinden elektrik üretebilme potansiyeli BTKF21 ve BTKF20 bölgelerinde 200kWh/yıl'ın üzerinde görülürken, BTKF19 bölgesinde 190kWh/yıl ve BTKF18 bölgesinde de 179kWh/yıl'dır. Bu değerlere göre BTKF21 ve BTKF20 bölgelerinin YFV kurulumu için BTKF19 ve BTKF18 bölgelerine göre daha verimli olduğu görülmüştür.

Ayrıca su yüzeyinde tespit edilen dört ayrı BTKF bölgesi yeniden sınıflandırılmış ve SRTM SYM üzerinden elde edilen bölgesel teorik kapasite faktör haritası Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12 Bölgesel teorik kapasite faktör haritası

Şekil 4.12 incelendiğinde su yüzeyinin çok büyük bir kısmının BTKF değeri %21 olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Barajın kıyı çizgisine yakın olan alanlarda, BTKF değerinin %20'ye düştüğü görülmektedir. Barajın güney bölgelerinde çok küçük bir kısımda %19 ve %18 BTKF değerleri gözlenmiştir. Her bir bölgenin yüzey alanları ArcGIS Pro deneme sürümü kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4.7'de tespit edilen 9.100 m² alana sahip küçük sivri kayaçlar BTKF21'in toplam alanından düşülmüştür. Her bölgenin toplam alanı, bölgenin elektrik üretim potansiyeli ile çarpılarak her bölgenin yıllık elektrik üretim potansiyeli de hesaplanarak Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.13 Alanlar ve bölgenin elektrik üretim potansiyeli

Bölge	BTKF21	BTKF20	BTKF19	BTKF18	Toplam
Alan (m ²)	14.829.500	769.000	13.000	3.800	15.615.300
EGP (GWh)	3.024,24	156,17	2,47	0,68	3.183,57

Su yüzeyinin 14.829.500 m²'lik kısmını kaplayan %21 BTKF değerine sahip BTKF21 bölgesinden yıllık üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı 3.024,24 GWh olarak hesaplanmıştır. 769.000 m² alana sahip BTKF20 bölgesinden 156,17 GWh, BTKF19 ve BTKF18 bölgelerinden de sırasıyla 2,47 GWh ve 0,68 GWh elektrik üretilme potansiyeli hesaplanmıştır. 15.615.300 m² olan su yüzeyinin tamamına YFV-GES kurulması durumunda yıllık toplam 3.183,57 GWh elektrik enerjisi üretme potansiyeli olduğu hesaplanmıştır.

Her bir bölgede hesaplanan yatay yüzeydeki yıllık toplam ışıınım değerinin aylık en düşük, en yüksek ve ortalama dağılımları Tablo 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.14 Aylık toplam GHI ortalaması

Aylar	GHI (kWh/m ²)	Bölgeler			
		BTKF21	BTKF20	BTKF19	BTKF18
Ocak	Min.	57,03	40,58	36,14	35,91
	Mak.	65,46	57,70	51,32	45,01
	Ort.	57,29	56,80	46,77	40,41
Şubat	Min.	95,46	87,79	81,27	75,98
	Mak.	104,87	95,82	90,99	80,29
	Ort.	95,70	95,13	85,75	77,59
Mart	Min.	152,47	142,97	135,02	129,16
	Mak.	162,64	152,55	148,77	133,41
	Ort.	152,77	152,04	141,21	130,75
Nisan	Min.	170,02	162,09	154,94	149,60
	Mak.	177,10	170,11	167,06	152,77
	Ort.	170,26	169,66	160,42	150,79
Mayıs	Min.	203,36	201,65	194,90	190,62
	Mak.	210,74	207,81	204,22	192,43
	Ort.	207,94	207,39	199,70	191,33
Haziran	Min.	206,43	208,75	202,40	199,28
	Mak.	214,83	213,60	209,96	200,16
	Ort.	213,73	213,21	206,87	199,75
Temmuz	Min.	239,06	241,09	233,71	229,62
	Mak.	249,23	247,21	241,96	231,02
	Ort.	247,43	246,70	238,71	230,22
Ağustos	Min.	213,78	207,91	200,39	194,61
	Mak.	221,62	216,08	211,38	197,43
	Ort.	216,30	215,54	205,76	195,67
Eylül	Min.	161,82	152,63	144,87	139,04
	Mak.	171,07	161,86	158,12	143,11
	Ort.	162,07	161,36	150,87	140,57
Ekim	Min.	113,28	104,63	97,27	91,60
	Mak.	123,63	113,54	109,23	96,16
	Ort.	113,53	112,88	102,67	93,32
Kasım	Min.	88,58	76,13	69,82	68,18
	Mak.	96,74	88,91	82,03	75,11
	Ort.	88,92	88,30	78,23	71,63
Aralık	Min.	71,87	50,77	50,14	50,27
	Mak.	79,33	72,46	66,47	59,91
	Ort.	72,42	71,83	61,58	54,15

Tablo 4.14 incelendiğinde toplam ışıının en düşük olduğu ocak ayında BTKF21, BTKF20, BTKF19 ve BTKF18 bölgelerindeki bölgesel ortalama GHI değerleri sırasıyla, 57,29 kWh/m², 56,80 kWh/m², 46,77 kWh/m² ve 40,41 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. GHI'nin en yüksek olduğu ay olan temmuz ayında ise bu değerler sırasıyla 247,43 kWh/m², 246,70 kWh/m², 238,71 kWh/m² ve 230,22 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumun bölgedeki iklim koşulları ile ilgili olduğu söylenebilir. Güneşin yükseklik açısının (α) en küçük olduğu aralık ayında BTKF21 bölgesindeki en düşük GHI değeri 71,87 kWh/m² iken BTKF18 bölgesinde 50,27 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. α açısının en büyük olduğu haziran ayında ise BTKF21 ve BTKF18 bölgelerindeki en düşük GHI değerleri sırasıyla 206,43 kWh/m², 199,28 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Aralık ayında BTKF21 ve BTKF18 bölgeleri arasındaki farkın 21,60 kWh/m² ve haziran ayındaki farkın da 7,14 kWh/m² olduğu görölmüştür. Bu fark göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamaya göre, BTKF18 bölgesinde, gölgelenme sebebiyle oluşan GHI kaybı aralık ayında %30 iken haziran ayında %4 olarak hesaplanmıştır.

Su yüzeyinin 14.829.500 m²'lik, BTKF21 olarak adlandırılan, çok büyük bir bölümünün BTKF değerinin %21 olduğu görölmüştür. BTKF değerleri %20 (BTKF20), %19 (BTKF19) ve %18 (BTKF18) olan bölgelerin alanları da sırasıyla 769.000 m², 13.000 m² ve 3.800 m² olarak hesaplanmıştır. YFV-GES için tasarlanan yüzer platformun FV'ler ile kaplanma oranı (AF) %70 olarak hesaplanmıştır. Bu koşullar altında BTKF21, BTKF20, BTKF19 ve BTKF18 bölgelerinden üretilebilecek elektrik enerjisi miktarları sırasıyla 3.024,24 GWh, 156,17 GWh, 2,47 GWh ve 0,68 GWh olarak belirlenmiştir. 15.615.300 m² olan su yüzeyinin tamamına YFV-GES kurulması durumunda yıllık toplam 3.183,57GWh elektrik enerjisi üretme potansiyeli görölmüştür.

Çalışma alanının topoğrafyası dikkate alındığında kıyı kesimlerde arazi dalgalı formda olup çok fazla eğimli olmadığı görölmektedir. Bu sebeple, kıyı kesimlerde az miktarda gölgelenme nedeniyle BTKF değerinin orta bölgelere göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışma, kıyı çizgisindeki topoğrafyanın ve güneşin yükseklik açısının (α) su yüzeyindeki gölgelenmeye, dolayısıyla yatay düzlemdeki toplam ışıınma etkisini ortaya koymaktadır. α açısının düşük olduğu kış aylarında gölgeleme etkisinin daha yüksek

olduğu, yaz aylarında ise α açısının daha büyük olması sebebiyle gölgeleme etkisinin daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca bölgedeki gölgeleme etkisi sebebiyle m^2 başına yıllık toplam elektrik enerjisi üretim potansiyeli değerlerinin BTKF21, BTKF20, BTKF19 ve BTKF18 bölgelerinde sırasıyla 203,93 kWh/ m^2 -yıl, 203,08 kWh/ m^2 -yıl, 190,35 kWh/ m^2 -yıl ve 178,74 kWh/ m^2 -yıl olarak hesaplanmıştır.

4.7 Buharlaşma Kazancı Hesabı

Bu tez çalışmasında tasarlanan YFV-GES'in baraj yüzeyine tamamen kaplanması durumunda toplam alanı 15.414,917 m^2 olarak hesaplanmıştır. Baraj işletme müdürlüğü tarafından hazırlanan faaliyet raporundan alınan veriler (faaliyet raporunda hesaplama yöntemi açıklanmamıştır) ve bu verilere dayalı olarak yapılan hesaplamalar GEE kullanarak hesaplanan aylık baraj yüzey alanları Tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.15 Demirköprü Barajı'nın aylık üretilen enerji için kullanılan su miktarı, toplam buharlaşma, baraj yüzölçümü ve azaltılan buharlaşma miktarı

Aylar	Üretilen enerji (kWh)	Enerji üretimi için kullanılan su miktarı (m^3)	Toplam buharlaşma (m^3)	Baraj yüzey alanı (m^2)	Azaltılan buharlaşma (m^3)
Ocak	0	0	746.973	21.452.100	536.755
Şubat	0	0	890.456	29.798.600	460.636
Mart	0	0	2.052.366	30.005.400	1.054.379
Nisan	0	0	3.087.583	34.229.100	1.390.479
Mayıs	849.000	3.543.952	5.151.401	35.659.500	2.226.852
Haziran	29.075.690	121.551.573	6.950.621	33.892.800	3.161.239
Temmuz	36.438.580	160.020.366	11.046.862	26.474.800	6.432.021
Ağustos	16.847.320	76.957.534	10.177.146	20.213.800	7.761.028
Eylül	782.670	3.661.927	3.563.159	18.530.100	2.964.139
Ekim	0	0	1.896.261	18.561.500	1.574.803
Kasım	0	0	615.694	18.680.800	508.055
Aralık	0	0	646.656	18.933.200	526.490
Toplam	83.993.260	365.735.352	46.825.178	-	28.596.875

2019 yılında 69 MW kurulu güce sahip barajdan salınan 365.735.352 m^3 su ile yaklaşık 84 GWh elektrik enerjisi üretilmektedir. Toplam yıllık buharlaşma miktarı 46.825.178 m^3 ; en düşük buharlaşma miktarı 615,694 m^3 ile kasım ayında, en yüksek ise 11.046.862 m^3 ile temmuz ayında hesaplanmıştır. GEE ile barajın 2019 yılındaki toplam yüzölçümü eylül ayında 18.530.100 m^2 , mayıs ayında ise 35.659.500 m^2 olarak hesaplanmıştır. Baraj

yüzeyinde yatay olarak 15.414,917 m² YFV-GES platform ile yıllık önlenen buharlaşma 28.596.875 m³ olarak hesaplanmıştır. Bu rakam göz önünde bulundurulduğunda buharlaşmadan önlenen su ile yıllık 6,57 GWh elektrik enerjisi üretilebileceği rahatlıkla söylenebilir.

4.8 Tartışma

Bu tez çalışmasında Demirköprü Barajının UA ve CBS teknikleri yardımıyla YFV-GES'i açısından uygun yerlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. FV-GES'in Dünyada marjinal tarım arazilere, çatılara yapılan uygulamaların yanı sıra özellikle su yüzeyi uygulamaları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Suyun soğutma etkisi sayesinde FV sistemler daha verimli çalışmaktadırlar [28, 122, 242]. Dünya'da FV-GES uygulamalarına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. YFV-GES'nin tasarımı, işletmesi ve ekonomik yönden analiz edilmiştir [25, 243–245]. Diğer çalışmalar ise buharlaşma kayıplarını azaltarak su tasarrufu sağlama ve çevresel etkiler üzerine yapılmıştır [124, 246]. Bir diğer çalışmada ise elektrik performanslarını ve güç üretim analizlerini inceleyen çalışmalardır [22, 243, 247]. Literatür bölümünde YFV-GES'i ile ilgili daha geniş özet verilmiştir. Yapılan literatür incelemesinde FV-GES'de UA ve CBS tekniklerinin çok yaygın kullanıldığı görülmüştür. Fakat su yüzeyi uygulamalarında ise Sahu ve ark. [114] verimliliği artırma açısından UA ve CBS tekniklerinin kullanılması gerektiği önerisinden başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasıyla literatürde bulunan büyük bir açık doldurulmuştur.

YFV-GES'i tasarımı yapılacak su yüzeyinin çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaç için klasik ölçme yöntemleri, fotogrametri, GPS, LiDAR gibi birçok yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerin hemen hemen hepsi su yüzeylerinin ölçüm anındaki sınırlarını ortaya koymaktadır ve özellikle büyük alanlar için maliyetli ve zahmetli yöntemlerdir. Halbuki YFV-GES'i için sistemin tamamen sürekli su üzerinde kalması istenir [248]. Bu amaçla sürekli dinamik yapıda olan su yüzeylerinin en düşük seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu da ancak UA teknikleri ile mümkün olmaktadır. Özellikle Landsat uyduları yaklaşık 40 yıl geriye kadar veri sağlaması açısından kullanıcılara önemli bir arşiv sağlar. Su yüzeylerin tespiti için farklı uzaktan algılama yaklaşımları ve uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar açısından özellikle su çıkarma indekslerinin kullanıldığı ve eşik değer uygulamaları [249–252], sınıflandırma

yaklaşımları [253–257] en çok tercih edilen yöntemlerdir. Son dönemlerde makine öğrenme algoritmalarının sınıflandırma çalışmalarında oldukça fazla tercih edilmektedir [258]. Sınıflandırma çalışmalarında kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanılmasında kontrolsüz sınıflandırma için sınırlı sayıda fakat kontrollü sınıflandırma için pek çok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalara literatür özeti bölümünde yer verilmiştir. Ayrıca araştırmacılar çalışılan bölge hakkında daha önceden bir bilgiye sahipse genellikle kontrollü sınıflandırma yöntemlerini kullanmaktadırlar [259]. Su yüzeyi tespit çalışmalarında optik uydu görüntülerinin yanında radar görüntüleri de tercih edilmektedir. Radar görüntülerin özellikle buluttan etkilenmemesi, gece sağladığı verilerin kullanılabilmesi her ne kadar avantaj sayılsa da görüntüler de gürültü olması, işlenmesi ve sonuç ürün alınma zorlukları dezavantajlarındandır [260]. Bu tez çalışmasında çalışma bölgesi için optik görüntülerden faydalanılmış, sınıflandırma amaçlı her iki yöntem ve farklı algoritmalar kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma doğruluğu ise KD, ÜD, GD ve Kappa istatistik testlerinin yanı sıra bölgede hassasiyeti yüksek CORS ölçümleri yapılarak bulunan sınırları ile karşılaştırılmıştır. İkili doğrulama yöntemi ile belirlediğimiz algoritma ve su çıkarma indeksi yapılan çalışmanın güvenilirliğini artırmıştır. Demirköprü Barajı ve çevresi için uygun su çıkama indeksi NDWI ve algoritmanın ise RO olduğu tespit edilmiştir. Literatürde yapılan birçok çalışmada RO algoritması en çok tercih edilen algoritmadır [261–265]. Shelestov ve ark. [266] yapmış oldukları çalışmada GEE platformunda kullanılan karar ağaçları, RO, DVM ve Naive Bayes gibi algoritmaları karşılaştırmış karar ağaçları ve RO algoritmasının diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiğini bulmuşlardır. Mahdianpari ve ark. [267] ve Xia ve ark. [268] RO algoritmasının en çok tercih edilmesini şu şekilde açıklamıştır: örneklem veri setlerinde gürültü içeren veri setlerinde iyi çözüm vermesi, yüksek boyutlu veri kümelerinde yüksek performans göstermesi ve işlem hızında diğer algoritmalara göre belirgin bir hız farkının olması, Ayrıca bir çok uygulamada DVM ve EÇB'ye göre daha yüksek doğruluk göstermesi olarak sıralanmıştır.

UA çalışmalarında genellikle uydu görüntüleri bilgisayar ortamına indirilerek ticari ya da açık kaynak kodlu yazılımlar sayesinde işlenmektedir. Buda bilgisayarımızda depolama sorunlarına, donanım açısından güçlü bilgisayar kullanımına ve verilen işlenmesi açısından özellikle zaman ve emek kaybına yol açmaktadır. Son yıllarda GEE platformu

coğrafi veri kümelerinin hızlı bir şekilde araştırılmasını ve işlenmesini olanak sağlar. GEE bulut tabanlı uygulamalar için bir algoritma kütüphanesi ve güçlü bir arayüz sağlar [269]. GEE bu özellikleri son yıllarda araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Küresel odunsu bitki ve orman değişimi [270, 271], kentsel alanların izlenmesi [171, 272], ekili tarım arazilerin izlenmesi [172, 266, 273], arazi örtüsü çalışmaları [257], taşkın önleme ve acil durum çalışmaları [275], yangın alanlarının tespiti [276, 277], petrol platformlarının tespiti [278], küresel su dinamiklerinin izlenmesi [174] gibi birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında GEE platformunda sınıflandırma amaçlı geliştirilen kod sayesinde 20 yıllık uydu görüntüleri hızlı bir şekilde sınıflandırılmış ve minimum su yüzey alanı belirlenmiştir.

YFV-GES'in daha verimli çalışabilmesi için tamamen su yüzeyinde kalması gerekir [16]. Su yüzeyleri özellikle barajlar dinamik bir yapıya sahiptir. Bu açıdan sudaki çekilmeler sudaki akıntı hareketleri yapının doğru açıda sabitlenerek kalmasını güçleştirecektir. Bu açıdan literatürde bu konu üzerine yapılan bir çalışma yoktur. Bu tez kapsamında baraj suyu dinamikleri incelenmiş ve su değişimlerinin yerleri tespit edilerek YFV-GES'in uygun alanlar belirlenmiştir.

FV-GES'nin arazi ve çatı uygulamalarında verimli yerlerin tespiti için solar analiz oldukça fazla tercih edilen yöntemdir [50, 56, 89, 185, 279–281]. Fakat literatürde YFV-GES için solar analiz çalışmaları yapılmamıştır. Bu tez çalışmasında bulunan minimum su yüzey alanı için bir yıllık solar analiz gerçekleştirilmiş ve arazi topografyasının su üzerine yaptığı gölge etkisi ortaya koyulmuştur.

Kurulacak olan YFG-GES'nin bölgesel etkinliğinin ortaya koyulması açısından kapasite faktörlerinin hesaplanması önemlidir. Elektrik enerjisi üretimi için kullanılan kömür, jeotermal, hidroelektrik, petrol, doğal gaz, rüzgâr ve güneş enerji santrallerinde kapasite faktörleri sırasıyla %73, %58, %56, %54, %44, %33 ve %20'dir [282]. En düşük kapasite faktörü ile üretim yapan güneş enerji santrallerinin doğru yere kurulumunun sistemin karlılık oranında ne kadar etkili olduğu görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında su yüzeyi için hesaplanan ışıyım değerleri dikkate alınarak BTKF hesaplanmış ve dört ayrı grupta sınıflandırılmıştır. Edalati ve ark. [283] yapmış oldukları çalışmada İran'ın Ramsar şehrinde kapasite faktörünün %12 ile %23,13 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Choi [247] yapmış olduğu çalışmada kapasite faktörünün farklı aylara göre %11,7 ile %20,8 arasında değiştiğini belirlemiştir. Bu tez kapsamında hesaplanan kapasite faktörünün su

yüzeyi için %18 ile %21 arasında değiştiği barajın tamamının ve çevresi için ise %20,95 olduğu hesaplanmıştır.

YFV-GES'nin verimlilikleri olarak iklim koşullarına, ortam sıcaklığı, güneş ışıınımı, modül sıcaklığı açık devre voltajı ve kısa devre akımı vb. gibi tasarım parametrelerine bağlıdır [284]. Kamuyu ve ark. [285] yaptıkları deneysel çalışmada YFV sisteminin verimliliğini %14,69 hesaplamışlardır. Suresh ve ark. [286] yapmış oldukları çalışmada farklı sıcaklık koşullarında verimi karşılaştırmışlar 70 °C %7,57, 60 °C %8,87, 50 °C %10,91, 40 °C, %13,12 ve 30 °C %20,36 olarak hesaplamışlardır. Bu tez çalışması kapsamında ise sistem verimliliği %16,20 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan akademik çalışmalarda belirlenmiş güçte santral kurulum planlanıp bunların performansı üzerine araştırmalar bulunmaktadır. Yapılan tez çalışmasında baraj yüzeyinin tamamını YFV-GES kaplanarak bir yandan maksimum enerji üretmek diğer yandan buharlaşmayı minimize etmek hedeflenmiştir.

YFV-GES'in kuruldukları su yüzeylerinde buharlaşmayı azaltmaktadır. Nagananthini [287] Hindistan'da Vaigai rezervuarında yapmış olduğu çalışmada 1,14MW YFV-GES santralinin yılda 1,9 GWH elektrik enerjisi üretebileceğini ve aynı rezervuarın %30 YFV-GES kaplanması durumunda 42.731,56 m³ suyun buharlaşmasını önleyeceğini hesapladı. Bontempo Scavo ve ark. [288] yapmış oldukları çalışmada su yüzeyinin %30 kaplanması durumunda buharlaşmada %18 kazanç, su yüzeyinin tamamen kaplanması durumunda ise %49 buharlaşma kazancı sağlanacağını hesaplamışlardır. Rodrigues [289] Brezilya'nın kuzeydoğusundaki Gavião rezervuarında yapmış oldukları simülasyonda barajın %81 YFV-GES kaplanması durumunda 2.595.000 m³ su buharlaşmasını önleyeceğini hesaplamışlardır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmada baraj yüzeyinin tamamen kaplanması durumunda buharlaşmadan kaynaklanan önlenecek su miktarı 28.596.875 m³ olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın birinci adımında Demirköprü Barajı'na kurulacak olan YFV-GES sistemi için su kıyı çizgisinin çıkarılması amacıyla uygun metodoloji belirlenmiştir. Kontrollü sınıflandırma için RO ve EÇB algoritmaları, kontrolsüz sınıflandırma için K-ortalamalar algoritması incelenmiştir. Su yüzeylerini diğer detaylardan ayırt etmek için NDWI ve MNDWI'leri karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler, Demirköprü Baraj bölgesinde RO algoritmasının ve NDWI'in başarılı olduğunu göstermiştir.

Çalışmanın ikinci adımında ise GEE platformunda Demirköprü Baraj yüzeyi son 20 yıla ait Landsat ve Sentinel uydu görüntüleri üzerinden RO Algoritması ve NDWI ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucu bulunan minimum alanlara kendi aralarında CBS ile örtüştürme (overlay) analizi uygulanarak minimum alan 15.624.500 m² hesaplanmıştır. YFV'ler yatırım maliyeti yüksek projeler olduğu için kurulacak su yüzeylerinin tam tespit edilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca, su seviyesinin düşmesi ile ortaya çıkan küçük adacıkların UA ile belirlenmesinin, YFV sistemlerinin kurulum alanlarının net tespitinde ve sabitlemesinde önemli olacağı sonucuna varılmıştır. Buna göre adacıkların olduğu bölgeler sadece sabitleme amaçlı kullanılabilecektir.

Çalışmanın üçüncü adımında, Pekel vd. [174] Dünya ölçeğinde yaptıkları küresel su oluşumu çalışması Demirköprü barajı için uygulanmış ve sonuçların belirlenen baraj sınırlarıyla tutarlı olduğu saptanmıştır. Her iki yaklaşımın baraj yüzeyi üzerindeki değişimlerin izlenmesinde birbirine alternatif olarak kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Çalışmanın dördüncü adımında, Demirköprü baraj yüzeyi için yıllık solar analiz yapılmıştır. Yıllık hesaplanan solar analiz sonuçları kullanılarak her bir piksel için KF değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan KF değerlerine göre baraj yüzeyi dört ayrı sınıfta yeniden sınıflandırılarak BTKF bölgeleri belirlenmiştir.

Çalışmanın beşinci aşamasında, 15.624.500 m² hesaplanan baraj yüzey alanının tamamı YFV-GES ile kaplanmıştır. Kaplanan bu alan içerisinde 2,03 GWp YFV-GES kurularak yıllık 3.328,33 GWh enerji üretilebileceği hesaplanmıştır. Sulama ve elektrik enerjisi üretim amaçlı kurulmuş olan Demirköprü barajı 69 MW kurulu güce sahiptir. 2019

yılında, yılın sadece yılın beş ayında çalışarak, yıllık toplam 84 GWh elektrik üretmiş olan barajın, tamamının YFV-GES ile kaplanması sonucu elektrik enerjisi üretim miktarının yaklaşık 39 kat artacağı tespit edilmiştir.

Bu aşamada, ilk etapta 15.624.500 m² olarak hesaplanan minimum baraj yüzey alanından 9.100ha adacıklar düşüldükten sonra nihai alan 15.615.300 m² olarak hesaplanmıştır. Bu alan üzerinde her piksel için yıllık hesaplanan solar göz önünde bulundurularak baraj yüzeyi KF değerlerine göre yeniden sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan baraj yüzey alanından BTKF21, BTKF20, BTKF19 ve BTKF18 bölgelerinden üretilebilecek elektrik enerjisi miktarları sırasıyla 3.024,24 GWh, 156,17 GWh, 2,47 GWh ve 0,68 GWh olarak hesaplanmıştır. 15.615.300 m² ha olan su yüzeyinin tamamına YFV-GES kurulması durumunda yıllık toplam 3.183,57 GWh elektrik enerjisi üretme potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

Çalışmanın altıncı aşamasında, GEE'ile 2019 yılına ait tüm ayların baraj yüzey alanları hesaplanmıştır. Ayrıca baraj yüzeyine kurulacak olan YFV-GES'nin toplam yüzey alanı 15.414,917 m² olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu alanlar baraj işletme müdürlüğü verileri kullanılarak hesaplanan buharlaşma miktarlarına oranlandığında, yıllık önlenen buharlaşma ile su kaybı 28.596.875 m³ olarak hesaplanmıştır.

Çalışmanın son aşamasında 15.624.500 m² olarak hesaplanan alan içerisinde kurulacak olan YFV-GES'nin üreteceği yıllık enerji miktarı ile, UA ve CBS teknikleri kullanılarak adacıkların tespiti su yüzeyleri için solar analiz sonucu bulunan nihai sonuçlara göre hesaplanan enerji miktarı arasında 144,75 GWh enerji farkının olduğu görülmüştür. Yatırım maliyeti yüksek olan YFV sistemlerinde bu farkın göz ardı edilemeyeceği ve YFV-GES santralleri için su yüzeylerinde de UA ve CBS tekniklerinin kullanılmasının gerekliliği ortaya koyulmuştur.

Bu tez çalışması ile;

- Baraj ve benzeri su yüzeylerinin UA ile tespitinin oldukça pratik, daha az maliyetle ve daha hızlı yapılabileceği ortaya koyulmuştur.
- Su yüzeyleri tespitinde konuma göre uygun algoritma ve su çıkarma indeksinin seçimi su yüzeyi tespitinde doğruluğu artıracaktır.

- Dünyada yeni bir konsept olan YFV sistemlerine yönelik yatırımlarda su kıyı çizgisinin, su dinamiklerinin (akış yönlerinin) belirlenmesi yatırımcılar açısından oldukça önemlidir.
- Karasal FV sistem kurulumunda arazi topografyasının gölgelenme etkisinin araştırılmasının önemi başka çalışmalarla ortaya konulmuştur. Su yüzeylerine kurulacak olan YFV sistemleri için de kıyı çizgisi ve yakın bölgedeki topoğrafyanın etkisinin de araştırılması gerektiğinin önemi ortaya konulmuştur.
- Hesaplanan güneş radyasyonuna göre su yüzeyleri CBS teknikleri kullanılarak yeniden sınıflandırılıp YFV-GES kurulumu için verimi yüksek olan bölgeler tespit edilebilir.
- Su yüzeylerine kurulacak olan YFV-GES sistemleri buharlaşmayı azaltarak su kazancı sağlayacaktır.

Çalışma kapsamında bulunabilecek öneriler aşağıda belirtilmiştir:

- Farklı su çıkarma indeksleri ve algoritmalar su yüzeyleri tespiti için denenebilir.
- Su yüzeylerini belirlemede optik görüntüler yanında SAR görüntülerinden faydalanılabilir.
- Solar analiz amaçlı daha yüksek çözünürlüklü SYM'den faydalanılabilir.
- Buharlaşan suyun panelleri soğutma etkisi hesaplanarak elektrik enerjisi üzerindeki verim artışı hesaplanabilir.
- Panellerin üzerinde kurulacak platformun suya batması göz önünde bulundurularak su kıyı çizgisinin belirlenmesinin yanında, batimetrik harita üretimi de göz önünde bulundurulabilir.
- Yüzen FV sistemlerinin tamamen yüzeyi kaplanması durumunda sudaki ekolojik yaşam açısından araştırmalar yapılabilir.
- Yüzen fotovoltaik platformların suyun üzerinde sabitlenmesi açısından baraj yüzeyinin hidrodinamik modelleri yapılarak değerlendirilebilir.
- Farklı panel tipleri kullanarak, farklı açılarda yerleştirme ve uygun deney düzenekleri ile hem karada hem de su yüzeyinde verimlilikler karşılaştırılabilir.

-
- [1] A. H. A. Dehwah, M. Asif, and M. T. Rahman, “Prospects of PV application in unregulated building rooftops in developing countries: A perspective from Saudi Arabia,” *Energy and Buildings*, vol. 171, pp. 76–87, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.04.001.
- [2] Y. Genç *et al.*, “Fotovoltaik (PV) sistemlerin tasarımı için bütünleşik bir metodolojinin geliştirilmesi ve bir uygulama,” 2017.
- [3] A. Goswami, P. Sadhu, U. Goswami, and P. K. Sadhu, “Floating solar power plant for sustainable development: A techno-economic analysis,” *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol. 38, no. 6, 2019, doi: 10.1002/ep.13268.
- [4] F. Dinçer, A. İpek, Ş. YILMAZ, and A. ÇINGİ, “Hidrolik enerjisinden yararlanmada ülkemiz ve gelişmiş ülkelerin mevcut durumlarının analizi,” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, vol. 8, no. 3, pp. 555–561, 2017.
- [5] T. BARS, C. AKBAY, and İ. UÇUM, “TÜRKİYE’DE HES’LERİN VARLIĞI, ÇEVREYE VE TARIMA OLAN ETKİLERİ,” 2016.
- [6] O. Ürker and N. Çobanoğlu, “Türkiye’de hidroelektrik santraller’in durumu (HES’ler) ve çevre politikaları bağlamında değerlendirilmesi,” *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 3, no. 2, 2017, doi: 10.1501/sbeder_00000000046.
- [7] S. BOZKURT and R. TÜR, “Dünyada ve Türkiyede Hidroelektrik Enerji, Gelişimi ve Genel Değerlendirme,” *Su Yapıları Sempozyumu Kitabı. Antalya*, pp. 322–330, 2015.
- [8] M. Berkün, E. Aras, and T. Koç, “Barajların ve hidroelektrik santrallerin nehir ekolojisi üzerinde oluşturduğu etkiler,” *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri /*, vol. 452, pp. 41–48, 2008.
- [9] K. H. Solangi, M. R. Islam, R. Saidur, N. A. Rahim, and H. Fayaz, “A review on global solar energy policy,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 4, pp. 2149–2163, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.01.007.

- [10] IEA, “Global Energy Review 2020,” Paris, 2020. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>.
- [11] N. Alrikabi, “Renewable energy types,” *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 61–64, 2014.
- [12] R. Williams, “Becquerel photovoltaic effect in binary compounds,” *The journal of Chemical physics*, vol. 32, no. 5, pp. 1505–1514, 1960.
- [13] A. Bedeloğlu, A. Demir, Y. Bozkurt, and B. Y. Bedeloğlu Ayşe, Demir Ali, “Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller,” *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, vol. 4, no. 2, pp. 43–58, 2010.
- [14] F. R. Martins, E. B. Pereira, and S. L. Abreu, “Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project,” *Solar Energy*, vol. 81, no. 4, pp. 517–528, 2007, doi: 10.1016/j.solener.2006.07.009.
- [15] G. D. Pimentel Da Silva and D. A. C. Branco, “Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts,” *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 36, no. 5, pp. 390–400, 2018, doi: 10.1080/14615517.2018.1477498.
- [16] A. El Hammoumi, A. Chalh, A. Allouhi, S. Motahhir, A. El Ghzizal, and A. Derouich, “Design and construction of a test bench to investigate the potential of floating PV systems,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 278, p. 123917, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123917.
- [17] S. Pasalic, A. Aksamovic, and S. Avdakovic, “Floating photovoltaic plants on artificial accumulations — Example of Jablanica Lake,” in *2018 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, Jun. 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/ENERGYCON.2018.8398765.
- [18] M. Abid, Z. Abid, J. Sagin, R. Murtaza, D. Sarbassov, and M. Shabbir, “Prospects of floating photovoltaic technology and its implementation in Central and South Asian Countries,” *International journal of environmental science and technology*, vol. 16, no. 3, pp. 1755–1762, 2019, doi: 10.1007/s13762-018-2080-5.
- [19] M. S. M. Azmi, M. Y. H. Othman, M. H. H. Ruslan, K. Sopian, and Z. A. A. Majid,

- “Study on electrical power output of floating photovoltaic and conventional photovoltaic,” 2013, doi: 10.1063/1.4858636.
- [20] H. Bahaidarah, A. Subhan, P. Gandhidasan, and S. Rehman, “Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions,” *Energy*, vol. 59, pp. 445–453, 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.07.050.
 - [21] J. Farfan and C. Breyer, “Combining Floating Solar Photovoltaic Power Plants and Hydropower Reservoirs: A Virtual Battery of Great Global Potential,” *Energy Procedia*, vol. 155, pp. 403–411, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.038.
 - [22] L. Liu, Q. Wang, H. Lin, H. Li, Q. Sun, and R. Wennersten, “Power Generation Efficiency and Prospects of Floating Photovoltaic Systems,” *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 1136–1142, May 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.483.
 - [23] Y. Ueda, T. Sakurai, S. Tatebe, A. Itoh, and K. Kurokawa, “Performance Analysis of Pv Systems on the Water,” 2008, doi: 10.4229/23rdEUPVSEC2008-4EP.1.3.
 - [24] K. Trapani and D. L. Millar, “Proposing offshore photovoltaic (PV) technology to the energy mix of the Maltese islands,” *Energy Conversion and Management*, vol. 67, pp. 18–26, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2012.10.022.
 - [25] C. Ferrer-Gisbert, J. J. Ferrán-Gozálvez, M. Redón-Santafé, P. Ferrer-Gisbert, F. J. Sánchez-Romero, and J. B. Torregrosa-Soler, “A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs,” *Renewable Energy*, vol. 60, pp. 63–70, 2013, doi: 10.1016/j.renene.2013.04.007.
 - [26] E. Ghiani, F. Pilo, and S. Cossu, “Evaluation of photovoltaic installations performances in Sardinia,” *Energy Conversion and Management*, vol. 76, pp. 1134–1142, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.09.012.
 - [27] Y. K. Choi, “A study on power generation analysis of floating PV system considering environmental impact,” *International Journal of Software Engineering and its Applications*, vol. 8, no. 1, pp. 75–84, 2014, doi: 10.14257/ijseia.2014.8.1.07.
 - [28] S.-M. Kim, M. Oh, and H.-D. Park, “Analysis and Prioritization of the Floating Photovoltaic System Potential for Reservoirs in Korea,” *Applied Sciences*, vol. 9,

no. 3, p. 395, 2019, doi: doi:10.3390/app9030395.

- [29] K. R. Lee and W. H. Lee, “Floating Photovoltaic Plant Location Analysis using GIS,” *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, vol. 24, no. 1, pp. 51–59, 2016.
- [30] Jinyoung Song and Yosoon Choi, “Analysis of the Potential for Use of Floating Photovoltaic Systems on Mine Pit Lakes: Case Study at the Ssangyong Open-Pit Limestone Mine in Korea,” *Energies*, 2016.
- [31] E. M. do Sacramento, P. C. M. Carvalho, J. C. de Araújo, D. B. Riffel, R. M. da C. Corrêa, and J. S. Pinheiro Neto, “Scenarios for use of floating photovoltaic plants in Brazilian reservoirs,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 9, no. 8, pp. 1019–1024, Nov. 2015, doi: 10.1049/iet-rpg.2015.0120.
- [32] N. M. Silvério, R. M. Barros, G. L. Tiago Filho, M. Redón-Santafé, I. F. S. dos Santos, and V. E. de M. Valério, “Use of floating PV plants for coordinated operation with hydropower plants: Case study of the hydroelectric plants of the São Francisco River basin,” *Energy Conversion and Management*, vol. 171, no. June, pp. 339–349, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.05.095.
- [33] U. Stiubiener, T. Carneiro da Silva, F. B. M. Trigos, R. da S. Benedito, and J. C. Teixeira, “PV power generation on hydro dam’s reservoirs in Brazil: A way to improve operational flexibility,” *Renewable Energy*, vol. 150, pp. 765–776, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.01.003.
- [34] A. Tim Umoette, “Design of Stand Alone Floating PV System for Ibeno Health Centre,” *Science Journal of Energy Engineering*, vol. 4, no. 6, pp. 56–61, 2016, doi: 10.11648/j.sjee.20160406.12.
- [35] A. K. Sharma and D. P. Kothari, “Floating Solar PV Potential in Large Reservoirs in India,” *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2016.
- [36] A. K. Singh, D. Boruah, L. Sehgal, and A. P. Ramaswamy, “Feasibility study of a grid-tied 2MW floating solar PV power station and e-transportation facility using ‘SketchUp Pro’ for the proposed smart city of Pondicherry in India,” *Journal of Smart Cities*, vol. 2, no. 2, pp. 49–59, 2017, doi: 10.18063/jsc.2016.02.004.

- [37] M. Rosa-Clot, G. M. Tina, and S. Nizetic, "Floating photovoltaic plants and wastewater basins: An Australian project," *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 664–674, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.585.
- [38] S. García-Pérez, J. Sierra-Pérez, and J. Boschmonart-Rives, "Environmental assessment at the urban level combining LCA-GIS methodologies: A case study of energy retrofits in the Barcelona metropolitan area," *Building and Environment*, vol. 134, pp. 191–204, 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.01.041.
- [39] R. S. Spencer, J. Macknick, A. Aznar, A. Warren, and M. O. Reese, "Floating Photovoltaic Systems: Assessing the Technical Potential of Photovoltaic Systems on Man-Made Water Bodies in the Continental United States," *Environmental Science & Technology*, vol. 53, no. 3, pp. 1680–1689, Feb. 2019, doi: 10.1021/acs.est.8b04735.
- [40] H. Liu, V. Krishna, J. Lun Leung, T. Reindl, and L. Zhao, "Field experience and performance analysis of floating PV technologies in the tropics," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 26, no. 12, pp. 957–967, Dec. 2018, doi: 10.1002/pip.3039.
- [41] J. Liu, X. Chen, S. Cao, and H. Yang, "Overview on hybrid solar photovoltaic-electrical energy storage technologies for power supply to buildings," *Energy Conversion and Management*, vol. 187, no. February, pp. 103–121, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.02.080.
- [42] H. Rauf, M. S. Gull, and N. Arshad, "Integrating Floating Solar PV with Hydroelectric Power Plant: Analysis of Ghazi Barotha Reservoir in Pakistan," *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 816–821, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2019.01.214.
- [43] M. Trapani, K. Redón-Santafé, "A review of floating photovoltaic installations : 2007 2013," *Progress In Photovoltaics*, vol. 23, no. 4, pp. 524–532, 2015, doi: 10.1002/pip.2466.
- [44] R. Cazzaniga, M. Cicu, M. Rosa-Clot, P. Rosa-Clot, G. M. Tina, and C. Ventura, "Floating photovoltaic plants: Performance analysis and design solutions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, no. May, pp. 1730–1741,

2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.269.

- [45] R. Dubayah and P. M. Rich, "Topographic solar radiation models for GIS," *International journal of geographical information systems*, vol. 9, no. 4, pp. 405–419, 1995.
- [46] H. G. Beyer, C. Costanzo, and D. Heinemann, "Modifications of the Heliosat procedure for irradiance estimates from satellite images," *Solar Energy*, vol. 56, no. 3, pp. 207–212, 1996.
- [47] A. Gastli and Y. Charabi, "Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 2, pp. 790–797, 2010.
- [48] Y. Charabi and A. Gastli, "PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 9, pp. 2554–2561, 2011.
- [49] G. Lahlou, A. E. Morocco, and J. E. A. Malaysia, "Implementation of a building integrated photovoltaic in urban lands using the geospatial technology," *TS03I-Spatial Information Applications III, paper*, no. 5356, 2011.
- [50] T. S. Viana, R. Rüther, F. R. Martins, and E. B. Pereira, "Assessing the potential of concentrating solar photovoltaic generation in Brazil with satellite-derived direct normal irradiation," *Solar Energy*, vol. 85, no. 3, pp. 486–495, 2011, doi: 10.1016/j.solener.2010.12.015.
- [51] S. Janjai, I. Masiri, and J. Laksanaboonsong, "Satellite-derived solar resource maps for Myanmar," *Renewable Energy*, vol. 53, pp. 132–140, 2013, doi: 10.1016/j.renene.2012.11.014.
- [52] Y. Sun, A. Hof, R. Wang, J. Liu, Y. Lin, and D. Yang, "GIS-based approach for potential analysis of solar PV generation at the regional scale: A case study of Fujian Province," *Energy Policy*, vol. 58, pp. 248–259, 2013.
- [53] C. Vernay, S. Pitaval, and P. Blanc, "Review of satellite-based surface solar irradiation databases for the engineering , the financing and the operating of photovoltaic systems," *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 1383–1391, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.129.

- [54] B. Pillot, M. Muselli, P. Poggi, and J. B. Dias, "Satellite-based assessment and in situ validation of solar irradiation maps in the Republic of Djibouti," *Solar Energy*, vol. 120, pp. 603–619, 2015, doi: 10.1016/j.solener.2015.08.015.
- [55] J. Polo, "Solar global horizontal and direct normal irradiation maps in Spain derived from geostationary satellites," *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 130–131, pp. 81–88, 2015, doi: 10.1016/j.jastp.2015.05.015.
- [56] I. Gherboudj and H. Ghedira, "Assessment of solar energy potential over the United Arab Emirates using remote sensing and weather forecast data," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 1210–1224, 2016.
- [57] H. Broesamle, H. Mannstein, C. Schillings, and F. Trieb, "Assessment of solar electricity potentials in North Africa based on satellite data and a geographic information system," *Solar Energy*, vol. 70, no. 1, pp. 1–12, 2001.
- [58] B. Sørensen, "GIS management of solar resource data," *Solar energy materials and solar cells*, vol. 67, no. 1–4, pp. 503–509, 2001.
- [59] S. Kronshage, C. Schillings, and F. Trieb, "Country analysis for solar thermal power stations using remote sensing methods," 2002.
- [60] M. Šúri, E. D. Dunlop, and A. R. Jones, "GIS-based inventory of the potential photovoltaic output in Central and Eastern Europe," in *PV in Europe from PV Technology to Energy Solutions Conference, Rome, Italy*, 2002, pp. 7–11.
- [61] E. D. D. Dunlop, M. Suri, T. A. A. Huld, M. Šúri, and T. A. A. Huld, "Photovoltaic potential assessment to support renewable energies growth in 10 EU candidate countries," in *INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY UK SECTION-CONFERENCE-C*, 2003, pp. 4–8.
- [62] M. Šúri, T. A. Huld, and E. D. Dunlop, "PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe," *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 24, no. 2, pp. 55–67, 2005.
- [63] M. Šúri, T. A. Huld, E. D. Dunlop, and H. A. Ossenbrink, "Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries," *Solar Energy*, vol. 81, no. 10, pp. 1295–1305, 2007, doi:

10.1016/j.solener.2006.12.007.

- [64] Y. Charabi and A. Gastli, “GIS assessment of large CSP plant in Duqum, Oman,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 2, pp. 835–841, 2010.
- [65] R. Kassner, W. Koppe, T. Schüttenberg, and G. Bareth, “Analysis of the solar potential of roofs by using official lidar data,” in *Proceedings of the International Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (ISPRS Congress)*, 2008, pp. 399–404.
- [66] A. Jochem, B. Höfle, M. Hollaus, and M. Rutzinger, “Object detection in airborne LIDAR data for improved solar radiation modeling in urban areas,” *Laser scanning*, vol. 38, pp. 1–6, 2009, doi: 10.1.1.409.7289.
- [67] Z. A. Latif, N. A. M. Zaki, and S. A. Salleh, “GIS-based estimation of rooftop solar photovoltaic potential using LiDAR,” in *2012 IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, 2012, pp. 388–392.
- [68] J. Gooding, H. Edwards, J. Giesekam, and R. Crook, “Solar City Indicator: A methodology to predict city level PV installed capacity by combining physical capacity and socio - economic factors,” *Solar Energy*, vol. 95, pp. 325–335, 2013.
- [69] N. Lukač, S. Seme, D. Žlaus, G. Štumberger, and B. Žalik, “Buildings roofs photovoltaic potential assessment based on LiDAR (Light Detection And Ranging) data,” *Energy*, vol. 66, pp. 598–609, 2014, doi: 10.1016/j.energy.2013.12.066.
- [70] Y. Koyamatsu, A. Shiota, Y. Mitani, T. Kerdphol, and Y. Qudaih, “Construction of PV simulator by using geographic information system and digital surface model,” in *2015 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2015, pp. 1–5.
- [71] P. Gagnon, R. Margolis, J. Melius, C. Phillips, and R. Elmore, “Estimating rooftop solar technical potential across the US using a combination of GIS-based methods, lidar data, and statistical modeling,” *Environmental Research Letters*, vol. 13, no. 2, p. 24027, 2018.
- [72] S. D. Pohekar and M. Ramachandran, “Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review,” *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 8, no. 4, pp. 365–381, 2004.

- [73] J. M. Sánchez-Lozano, J. Teruel-Solano, P. L. Soto-Elvira, and M. S. García-Cascales, “Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, pp. 544–556, 2013.
- [74] K. Tisza, S. Brame, and A. Anctil, “GIS based analysis for photovoltaic deployment in the Southeast US,” in *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2014, pp. 1001–1004.
- [75] G. Khan and S. Rathi, “Optimal site selection for solar PV power plant in an Indian state using Geographical Information System (GIS),” *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, vol. 2, no. 7, pp. 260–266, 2014.
- [76] J. Suh and J. Brownson, “Solar farm suitability using geographic information system fuzzy sets and analytic hierarchy processes: Case study of ulleung island, Korea,” *Energies*, vol. 9, no. 8, p. 648, 2016.
- [77] A. Aly, S. S. Jensen, and A. B. Pedersen, “Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis,” *Renewable energy*, vol. 113, pp. 159–175, 2017.
- [78] M. A. Anwarzai and K. Nagasaka, “Utility-scale implementable potential of wind and solar energies for Afghanistan using GIS multi-criteria decision analysis,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 150–160, 2017.
- [79] A. Yushchenko, A. De Bono, B. Chatenoux, M. K. Patel, and N. Ray, “GIS-based assessment of photovoltaic (PV) and concentrated solar power (CSP) generation potential in West Africa,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 2088–2103, 2018.
- [80] C. Palmas, E. Abis, C. von Haaren, and A. Lovett, “Renewables in residential development: An integrated GIS-based multicriteria approach for decentralized micro-renewable energy production in new settlement development: A case study of the eastern metropolitan area of Cagliari, Sardinia, Italy,” *Energy, Sustainability and Society*, vol. 2, no. 1, pp. 1–15, 2012, doi: 10.1186/2192-0567-2-10.
- [81] J. J. W. Watson and M. D. Hudson, “Regional Scale wind farm and solar farm

- suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation,” *Landscape and Urban Planning*, vol. 138, pp. 20–31, 2015.
- [82] E. Noorollahi, D. Fadai, M. Akbarpour Shirazi, and S. Ghodsipour, “Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)—A case Study of Iran,” *Energies*, vol. 9, no. 8, p. 643, 2016.
 - [83] H. Z. Al Garni and A. Awasthi, “Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia,” *Applied energy*, vol. 206, pp. 1225–1240, 2017.
 - [84] A. A. Merrouni, F. E. Elalaoui, A. Mezrhab, A. Mezrhab, and A. Ghennioui, “Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco,” *Renewable energy*, vol. 119, pp. 863–873, 2018.
 - [85] J. Cevallos-Sierra and J. Ramos-Martin, “Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1154–1165, 2018.
 - [86] O. Şenkal, “Modeling of solar radiation using remote sensing and artificial neural network in Turkey,” *Energy*, vol. 35, no. 12, pp. 4795–4801, 2010.
 - [87] I.-A. Yeo and J.-J. Yee, “A proposal for a site location planning model of environmentally friendly urban energy supply plants using an environment and energy geographical information system (E-GIS) database (DB) and an artificial neural network (ANN),” *Applied Energy*, vol. 119, pp. 99–117, 2014.
 - [88] E. Borgogno Mondino, E. Fabrizio, and R. Chiabrando, “Site selection of large ground-mounted photovoltaic plants: a GIS decision support system and an application to Italy,” *International journal of green energy*, vol. 12, no. 5, pp. 515–525, 2015.
 - [89] A. K. Yadav and S. S. Chandel, “Solar radiation prediction using Artificial Neural Network techniques: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, pp. 772–781, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.08.055.
 - [90] L. Bergamasco and P. Asinari, “Scalable methodology for the photovoltaic solar

- energy potential assessment based on available roof surface area: Further improvements by ortho-image analysis and application to Turin (Italy),” *Solar Energy*, vol. 85, no. 11, pp. 2741–2756, 2011, doi: 10.1016/j.solener.2011.08.010.
- [91] G. Desthieux *et al.*, “Solar Energy Potential Assessment on Rooftops and Facades in Large Built Environments Based on LiDAR Data, Image Processing, and Cloud Computing. Methodological Background, Application, and Validation in Geneva (Solar Cadaster),” *Frontiers in Built Environment*, vol. 4, p. 14, 2018, doi: 10.3389/fbuil.2018.00014.
- [92] N. Salimzadeh and A. Hammad, “High-Level Framework for GIS-Based Optimization of Building Photovoltaic Potential at Urban Scale Using BIM and LiDAR,” in *International Conference on Sustainable Infrastructure 2017*, 2017, pp. 123–134, doi: 10.1061/9780784481196.012.
- [93] P. Gagnon, R. Margolis, J. Melius, C. Phillips, and R. Elmore, “Estimating rooftop solar technical potential across the US using a combination of GIS-based methods, lidar data, and statistical modeling,” *Environmental Research Letters*, vol. 13, no. 2, pp. 1748–9326, 2018, doi: 10.1088/1748-9326/aaa554.
- [94] F. M. Kouhestani, J. Byrne, D. Johnson, L. Spencer, P. Hazendonk, and B. Brown, “Evaluating solar energy technical and economic potential on rooftops in an urban setting: the city of Lethbridge, Canada,” *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 13–32, 2019, doi: 10.1007/s40095-018-0289-1.
- [95] J. Lee and S. Zlatanova, “Solar radiation over the urban texture: LIDAR data and image processing techniques for environmental analysis at city scale,” in *3D Geo-information sciences*, Springer, 2009, pp. 319–340.
- [96] A. Strzalka, R. Strzalka, V. Coors, and R. Ulbrich, “Analysis of renewable energy using Gis-technology in residential areas,” *Annals of Arid Zone*, vol. 49, no. 3, pp. 333–348, 2010.
- [97] R. Hippenstiel and J. R. Brownson, “Computing solar energy potential of urban areas using airborne LiDAR and orthoimagery,” in *Proceedings of the National Solar Conference and World Renewable Energy Forum*, 2012, vol. 3, pp. 2004–

2008.

- [98] P. Redweik, C. Catita, and M. Brito, “Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape,” *Solar Energy*, vol. 97, pp. 332–341, 2013, doi: 10.1016/j.solener.2013.08.036.
- [99] D. A. Jacques, J. Gooding, J. J. Giesekam, A. S. Tomlin, and R. Crook, “Methodology for the assessment of PV capacity over a city region using low-resolution LiDAR data and application to the City of Leeds (UK),” *Applied Energy*, vol. 124, pp. 28–34, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.02.076.
- [100] C. de Santos-Berbel, M. Castro, S. L.-C. Medina, and M. Paréns-González, “Sight Distance Studies on Roads: Influence of Digital Elevation Models and Roadside Elements,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 160, pp. 449–458, 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.12.157.
- [101] L. Ko, J. C. Wang, C. Y. Chen, and H. Y. Tsai, “Evaluation of the development potential of rooftop solar photovoltaic in Taiwan,” *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 582–595, 2015, doi: 10.1016/j.renene.2014.11.077.
- [102] R. Zink, L. R. Camargo, P. Reidelstürz, and W. Dorner, “Photogrammetric point clouds for GIS-based high-resolution estimation of solar radiation for roof-top solar systems,” in *Surface Models for Geosciences*, Springer, 2015, pp. 293–305.
- [103] A. Hammer *et al.*, “Solar energy assessment using remote sensing technologies,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 86, no. 3, pp. 423–432, 2003.
- [104] A. G. Quintairos, J. Bühler, B. Kleinschmit, and M. Resch, “Analysis of Potential Distribution and Size of Photovoltaic Systems on Rural Rooftops,” *GI_Forum-Journal for Geographic Information Science*, pp. 220–224, 2015, doi: 10.1553/giscience2015s220.
- [105] J. Liang, J. Gong, J. Zhou, A. N. Ibrahim, and M. Li, “An open-source 3D solar radiation model integrated with a 3D Geographic Information System,” *Environmental Modelling and Software*, vol. 64, pp. 94–101, 2015, doi: 10.1016/j.envsoft.2014.11.019.
- [106] L. Romero Rodríguez, E. Duminil, J. Sánchez Ramos, and U. Eicker, “Assessment of the photovoltaic potential at urban level based on 3D city models: A case study

- and new methodological approach,” *Solar Energy*, vol. 146, pp. 264–275, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2017.02.043.
- [107] G. Liu, W. Wu, Q. Ge, E. Dai, Z. Wan, and Y. Zhou, “GIS-based assessment of roof-mounted solar energy potential in Jiangsu, China,” in *2011 Second International Conference on Digital Manufacturing & Automation*, 2011, pp. 565–571.
- [108] J. Hofierka and M. Zlocha, “A New 3-D Solar Radiation Model for 3-D City Models,” *Transactions in GIS*, vol. 16, no. 5, pp. 681–690, 2012, doi: 10.1111/j.1467-9671.2012.01337.x.
- [109] T. Jamal, W. Ongsakul, J. G. Singh, S. Salehin, and S. M. Ferdous, “Potential rooftop distribution mapping using Geographic Information Systems (GIS) for Solar PV Installation: A case study for Dhaka, Bangladesh,” in *2014 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)*, 2014, pp. 1–6.
- [110] L. Quiquerez, J. Faessler, B. M. Lachal, F. Mermoud, and P. Hollmuller, “GIS methodology and case study regarding assessment of the solar potential at territorial level: PV or thermal?,” *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, vol. 6, pp. 3–16, 2015.
- [111] A. Chow, S. Li, and A. S. Fung, “Modeling urban solar energy with high spatiotemporal resolution: A case study in Toronto, Canada,” *International Journal of Green Energy*, vol. 13, no. 11, pp. 1090–1101, 2016, doi: 10.1080/15435075.2016.1170686.
- [112] I. Sola *et al.*, “Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 images in Mediterranean landscapes,” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 73, no. June, pp. 63–76, 2018, doi: 10.1016/j.jag.2018.05.020.
- [113] Y. Ueda, K. Kurokawa, M. Konagai, S. Takahashi, A. Terazawa, and H. Ayaki, “Five years demonstration results of floating pv systems with water spray cooling,” 2012.
- [114] A. Sahu, N. Yadav, and K. Sudhakar, “Floating photovoltaic power plant: A

- review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66, pp. 815–824, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.08.051.
- [115] W. C. L. Kamuyu, J. R. Lim, C. S. Won, and H. K. Ahn, “Prediction model of photovoltaic module temperature for power performance of floating PVs,” *Energies*, vol. 11, no. 2, 2018, doi: 10.3390/en11020447.
- [116] Z. A. A. Majid, M. H. Ruslan, K. Sopian, M. Y. Othman, and M. S. M. Azmi, “Study on Performance of 80 Watt Floating Photovoltaic Panel,” *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, vol. 7, no. December, pp. 1150–1156, 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.4236/ojo.2014.48035>.
- [117] Y.-K. Choi and J.-H. Lee, “Structural Safety Assessment of Ocean-Floating Photovoltaic Structure Model,” *Israel Journal of Chemistry*, vol. 55, no. 10, pp. 1081–1090, Oct. 2015, doi: 10.1002/ijch.201400197.
- [118] D. Augustin, P. G. Student, R. Chacko, and J. Jacob, “Canal Top Solar Energy Harvesting using Reflector,” *GRD Journals-Global Research and Development Journal for Engineering* |, 2016.
- [119] S. J. Yoon, H. J. Joo, and S. H. Kim, “Structural analysis and design for the development of floating photovoltaic energy generation system,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 372, no. 1, p. 012021, Jun. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/372/1/012021.
- [120] P. Ranjbaran, H. Yousefi, G. B. Gharehpetian, and F. R. Astarai, “A review on floating photovoltaic (FPV) power generation units,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 110, pp. 332–347, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.05.015.
- [121] Marco Antonio Esteves Galdino and Marta Maria de Almeida Olivieri, “Some Remarks about the Deployment of Floating PV Systems in Brazil,” *J. of Electrical Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 10–19, 2017, doi: 10.17265/2328-2223/2017.01.002.
- [122] M. Perez, R. Perez, C. R. Ferguson, and J. Schlemmer, “Deploying effectively dispatchable PV on reservoirs: Comparing floating PV to other renewable technologies,” *Solar Energy*, vol. 174, pp. 837–847, 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.08.088.

- [123] R. Cazzaniga, M. Rosa-Clot, P. Rosa-Clot, and G. M. Tina, “Integration of PV floating with hydroelectric power plants,” *Heliyon*, vol. 5, no. 6, p. e01918, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01918.
- [124] M. Redón Santafé, J. B. Torregrosa Soler, F. J. Sánchez Romero, P. S. Ferrer Gisbert, J. J. Ferrán Gozávez, and C. M. Ferrer Gisbert, “Theoretical and experimental analysis of a floating photovoltaic cover for water irrigation reservoirs,” *Energy*, vol. 67, pp. 246–255, 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.01.083.
- [125] D. Mittal, B. K. Saxena, and K. V. S. Rao, “Floating solar photovoltaic systems: An overview and their feasibility at Kota in Rajasthan,” in *2017 International Conference on Circuit ,Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, Apr. 2017, pp. 1–7, doi: 10.1109/ICCPCT.2017.8074182.
- [126] M. Bulut and V. Geylan, “Dünyada Hidro YüzerGes Projelerinin Gelişimi ve Türkiye ’ deki Potansiyeli Improvement of Floating HydroSolar Projects in the World and Potential of Turkey,” in *Güç Sistemleri Konferansı*, 2018, pp. 13–18, doi: 10.5281/zenodo.1482372.
- [127] M. Bulut, İ. Kaplanoglu, and V. Geylan, “Dünyada Hidro YüzerGes Projelerinin Gelişimi ve Türkiye ’ deki Potansiyeli,” in *Güç Sistemleri Konferansı*, 2018, pp. 13–18, doi: 10.5281/zenodo.1482372.
- [128] M. Temiz and N. Javani, “Design and analysis of a combined floating photovoltaic system for electricity and hydrogen production,” *International Journal of Hydrogen Energy*, no. xxxx, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.12.226.
- [129] A. M. Ateş, O. S. Yilmaz, and F. Gülgen, “Using remote sensing to calculate floating photovoltaic technical potential of a dam ’ s surface,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 41, no. July, p. 100799, 2020, doi: 10.1016/j.seta.2020.100799.
- [130] M. Alba, A. Giussani, F. Roncoroni, M. Scaioni, and P. Valgoi, “Geometric modelling of a large dam by terrestrial laser scanning,” in *Proc. of FIG Mondial Congress, Munich, Germany, Oct, 2006*, pp. 8–13.
- [131] C. Pipitone, A. Maltese, G. Dardanelli, M. Lo Brutto, and G. La Loggia,

- “Monitoring water surface and level of a reservoir using different remote sensing approaches and comparison with dam displacements evaluated via GNSS,” *Remote Sensing*, vol. 10, no. 1, pp. 1–24, 2018, doi: 10.3390/rs10010071.
- [132] M. Przyborski, B. Szczechowski, W. Szubiak, J. Szulwic, and T. Widerski, “Photogrammetric development of the threshold water at the dam on the Vistula River in Wloclawek from unmanned aerial vehicles (UAV),” in *SGEM2015 Conference Proceedings*, 2015, pp. 18–24.
- [133] G. Buffi, P. Manciola, S. Grassi, M. Barberini, and A. Gambi, “Survey of the Ridracoli Dam: UAV-based photogrammetry and traditional topographic techniques in the inspection of vertical structures,” *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 8, no. 2, pp. 1562–1579, Dec. 2017, doi: 10.1080/19475705.2017.1362039.
- [134] S. Canaz, F. Karsli, A. Guneroglu, and M. Dihkan, “Automatic boundary extraction of inland water bodies using LiDAR data,” *Ocean & Coastal Management*, vol. 118, pp. 158–166, 2015.
- [135] A. H. Incekara, S. Member, D. Z. Seker, and B. Bayram, “Qualifying the LIDAR-Derived Intensity Image as an Infrared Band in NDWI-Based Shoreline Extraction,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. PP, pp. 1–10, 2018, doi: 10.1109/JSTARS.2018.2875792.
- [136] F. Baselice and G. Ferraioli, “Unsupervised coastal line extraction from SAR images,” *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 10, no. 6, pp. 1350–1354, 2013, doi: 10.1109/LGRS.2013.2241013.
- [137] W. Huang *et al.*, “Automated extraction of surface water extent from Sentinel-1 data,” *Remote Sensing*, vol. 10, no. 5, pp. 1–18, 2018, doi: 10.3390/rs10050797.
- [138] A. Adediji and L. T. Ajibade, “The change detection of major dams in Osun State, Nigeria using remote sensing (RS) and GIS techniques,” *Journal of Geography*, vol. 1, no. 6, pp. 110–115, 2008.
- [139] M. Arekhi, C. Goksel, F. Balik Sanli, and G. Senel, “Comparative Evaluation of the Spectral and Spatial Consistency of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI Data for Igneada Longos Forest,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8,

- no. 2, p. 56, 2019, doi: 10.3390/ijgi8020056.
- [140] P. S. Frazier and K. J. Page, “Water body detection and delineation with Landsat TM data,” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 66, no. 12, pp. 1461–1467, 2000, doi: 0099-1112I00I6612-1461\$3.00/0.
 - [141] Y. Du, Y. Zhang, F. Ling, Q. Wang, W. Li, and X. Li, “Water bodies’ mapping from Sentinel-2 imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the swir band,” *Remote Sensing*, vol. 8, no. 4, 2016, doi: 10.3390/rs8040354.
 - [142] R. D’Andrimont and P. Defourny, “Monitoring African water bodies from twice-daily MODIS observation,” *GIScience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 1, pp. 130–153, 2018, doi: 10.1080/15481603.2017.1366677.
 - [143] M. Esmail, W. E. Mahmod, and H. Fath, “Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite images and statistics: Case study of Damietta coast, Egypt,” *Applied Ocean Research*, vol. 82, no. March 2018, pp. 274–282, 2019, doi: 10.1016/j.apor.2018.11.009.
 - [144] X. Yang, S. Zhao, X. Qin, N. Zhao, and L. Liang, “Mapping of urban surface water bodies from sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening,” *Remote Sensing*, vol. 9, no. 6, pp. 1–19, 2017, doi: 10.3390/rs9060596.
 - [145] N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore, “Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, pp. 18–27, 2017, doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
 - [146] A. K. Shackelford and C. H. Davis, “A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, no. 10 PART I, pp. 2354–2363, 2003, doi: 10.1109/TGRS.2003.815972.
 - [147] Q. Guo, R. Pu, J. Li, and J. Cheng, “A weighted normalized difference water index for water extraction using landsat imagery,” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 38, no. 19, pp. 5430–5445, 2017, doi:

10.1080/01431161.2017.1341667.

- [148] J. W. Kim, Z. Lu, J. W. Jones, C. K. Shum, H. Lee, and Y. Jia, “Monitoring Everglades freshwater marsh water level using L-band synthetic aperture radar backscatter,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 150, pp. 66–81, 2014, doi: 10.1016/j.rse.2014.03.031.
- [149] Y. Xiao, W. Zhao, and L. Zhu, “A study on information extraction of water body using Band1 and Band7 of TM imagery,” *Science of Surveying and Mapping*, vol. 5, 2010.
- [150] H. Xu, “Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery,” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, no. 14, pp. 3025–3033, 2006, doi: 10.1080/01431160600589179.
- [151] X. Yang, Q. Qin, P. Grussenmeyer, and M. Koehl, “Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2 MSI imagery,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 219, pp. 259–270, 2018, doi: 10.1016/j.rse.2018.09.016.
- [152] H. Hossen, M. G. Ibrahim, W. E. Mahmod, A. Negm, K. Nadaoka, and O. Saavedra, “Forecasting future changes in Manzala Lake surface area by considering variations in land use and land cover using remote sensing approach,” *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 11, no. 5, 2018, doi: 10.1007/s12517-018-3416-7.
- [153] J. R. Otukey and T. Blaschke, “Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms,” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 12, pp. S27–S31, 2010.
- [154] G. Kaplan and U. Avdan, “Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery,” *European Journal of Remote Sensing*, vol. 50, no. 1, pp. 137–143, 2017, doi: 10.1080/22797254.2017.1297540.
- [155] H. Xie, X. Luo, X. Xu, H. Pan, and X. Tong, “Automated subpixel surface water mapping from heterogeneous urban environments using Landsat 8 OLI imagery,” *Remote sensing*, vol. 8, no. 7, p. 584, 2016.

- [156] F. Sun, W. Sun, J. Chen, and P. Gong, "Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 33, no. 21, pp. 6854–6875, 2012, doi: 10.1080/01431161.2012.692829.
- [157] McFeeters, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, no. 7, pp. 1425–1432, May 1996, doi: 10.1080/01431169608948714.
- [158] C. Qiao, J. Luo, Y. Sheng, Z. Shen, Z. Zhu, and D. Ming, "An Adaptive Water Extraction Method from Remote Sensing Image Based on NDWI," *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 40, no. 3, pp. 421–433, 2012, doi: 10.1007/s12524-011-0162-7.
- [159] Y. D. Wang, Z. W. Li, C. Zeng, G. S. Xia, and H. F. Shen, "Extracting urban water by combining deep learning and Google Earth Engine," *arXiv preprint arXiv:1912.10726*, 2019.
- [160] Y. Lv, W. Gao, C. Yang, and Z. Fang, "A novel spatial–spectral extraction method for subpixel surface water," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 41, no. 7, pp. 2477–2499, 2020, doi: 10.1080/01431161.2019.1693073.
- [161] C. Liu, J. Shi, X. Liu, Z. Shi, and J. Zhu, "Subpixel mapping of surfacewater in the Tibetan Plateau with MODIS data," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 7, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/rs12071154.
- [162] S. Reis and H. M. Yilmaz, "Temporal monitoring of water level changes in Seyfe Lake using remote sensing," *Hydrological Processes*, vol. 22, no. 22, pp. 4448–4454, 2008, doi: 10.1002/hyp.7047.
- [163] S. Calmant, F. Seyler, and J. F. Cretaux, "Monitoring continental surface waters by satellite altimetry," *Surveys in Geophysics*, vol. 29, no. 4–5, pp. 247–269, 2008, doi: 10.1007/s10712-008-9051-1.
- [164] M. A. Bastawesy, F. I. Khalaf, and S. M. Arafat, "The use of remote sensing and GIS for the estimation of water loss from Tushka lakes, southwestern desert, Egypt," *Journal of African Earth Sciences*, vol. 52, no. 3, pp. 73–80, 2008, doi: 10.1016/j.jafrearsci.2008.03.006.

- [165] E. A. El Gammal, S. M. Salem, and A. E. A. El Gammal, "Change detection studies on the world's biggest artificial lake (Lake Nasser, Egypt)," *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, vol. 13, no. 2, pp. 89–99, 2010, doi: 10.1016/j.ejrs.2010.08.001.
- [166] S. Sima and M. Tajrishy, "Using satellite data to extract volume-area-elevation relationships for Urmia Lake, Iran," *Journal of Great Lakes Research*, vol. 39, no. 1, pp. 90–99, 2013, doi: 10.1016/j.jglr.2012.12.013.
- [167] I. Klein, A. J. Dietz, U. Gessner, A. Galayeva, A. Myrzakhmetov, and C. Kuenzer, "Evaluation of seasonal water body extents in Central Asia over the past 27 years derived from medium-resolution remote sensing data," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 26, no. 1, pp. 335–349, 2014, doi: 10.1016/j.jag.2013.08.004.
- [168] F. Temiz and S. S. Durduran, "Monitoring Coastline Change Using Remote Sensing and GIS Technology: A case study of Acigöl Lake, Turkey," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 44, no. 4, 2016, doi: 10.1088/1755-1315/44/4/042033.
- [169] Y. Du, G. Lan, Y. Hua, J. Chen, D. Fan, and Z. Pan, "Evolution Analysis of Watercourse and Shoals of The Xunjiang River in Wuzhou Based on Time-Series Remote Sensing Data," in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2020, vol. 42, pp. 699–704, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-699-2020.
- [170] H. A. Zurqani, C. J. Post, E. A. Mikhailova, and J. S. Allen, "Mapping Urbanization Trends in a Forested Landscape Using Google Earth Engine," *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, vol. 2, no. 4, pp. 173–182, 2019.
- [171] N. N. Patel *et al.*, "Multitemporal settlement and population mapping from landsat using google earth engine," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 35, no. PB, pp. 199–208, 2015, doi: 10.1016/j.jag.2014.09.005.
- [172] J. Xiong *et al.*, "Nominal 30-m cropland extent map of continental Africa by integrating pixel-based and object-based algorithms using Sentinel-2 and Landsat-

- 8 data on Google Earth Engine,” *Remote Sensing*, vol. 9, no. 10, p. 1065, 2017.
- [173] J.-F. Pekel *et al.*, “A Global Scale 30m Water Surface Detection Optimized and Validated for Landsat 8,” 2014.
- [174] J. F. Pekel, A. Cottam, N. Gorelick, and A. S. Belward, “High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes,” *Nature*, vol. 540, no. 7633, pp. 418–422, 2016, doi: 10.1038/nature20584.
- [175] X. Yang and L. Chen, “Evaluation of automated urban surface water extraction from Sentinel-2A imagery using different water indices,” *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 11, no. 2, pp. 1–11, May 2017, doi: 10.1117/1.JRS.11.026016.
- [176] C. Wang, M. Jia, N. Chen, and W. Wang, “Long-term surface water dynamics analysis based on landsat imagery and the Google Earth Engine Platform: A case study in the middle Yangtze River Basin,” *Remote Sensing*, vol. 10, no. 10, p. 1635, 2018, doi: 10.3390/rs10101635.
- [177] X. Wang, F. Ling, H. Yao, Y. Liu, and S. Xu, “Unsupervised Sub-pixel water body mapping with sentinel-3 OLCI image,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 3, p. 327, 2019, doi: 10.3390/rs11030327.
- [178] Y. Deng, W. Jiang, Z. Tang, Z. Ling, and Z. Wu, “Long-term changes of open-surfacewater bodies in the Yangtze River Basin based on the google earth engine cloud platform,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 19, p. 2213, 2019, doi: 10.3390/rs11192213.
- [179] U. N. T. Nguyen, L. T. H. Pham, and T. D. Dang, “An automatic water detection approach using Landsat 8 OLI and Google Earth Engine cloud computing to map lakes and reservoirs in New Zealand,” *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 191, no. 4, pp. 1–12, 2019, doi: 10.1007/s10661-019-7355-x.
- [180] R. Jena, B. Pradhan, H. Jung, A. K. Rai, and H. M. Rizeei, “Seasonal water change assessment at Mahanadi River, India using multi-temporal data in Google earth engine,” *Korean Journal of Remote Sensing*, vol. 36, no. 1, pp. 1–13, 2020.
- [181] L. Bi, B. L. Fu, P. Q. Lou, and T. Y. Tang, “Delineation water of pearl river basin using Landsat images from Google Earth Engine,” *International Archives of the*

- Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, vol. 42, no. 3/W10, pp. 5–10, 2020, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-5-2020.
- [182] J. Song and Y. Choi, “Analysis of the Potential for Use of Floating Photovoltaic Systems on Mine Pit Lakes: Case Study at the Ssangyong Open-Pit Limestone Mine in Korea,” *Energies*, vol. 9, no. 2, p. 102, Feb. 2016, doi: 10.3390/en9020102.
- [183] E. H. Falklev, “Mapping of Solar Energy Potential on Tromsøya Using Solar Analyst in ArcGIS,” 2017.
- [184] J. Teves, E. F. Sola, B. H. Pintor, and M. R. C. Ang, “Assessing the urban solar energy resource potential of Davao City, Philippines, using LiDAR digital surface model (DSM) and GRASS GIS,” in *Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments*, 2016, vol. 10008, p. 1000809.
- [185] J. Hofierka and M. Suri, “The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications,” in *Proceedings of the Open source GIS-GRASS users conference*, 2002, vol. 2002, pp. 51–70.
- [186] D. R. Myers, *Solar radiation: Practical modeling for renewable energy applications*. 2017.
- [187] J. A. Duffie and W. A. Beckman, “Solar engineering of thermal processes,” *Design Studies*, vol. 3, no. 3, p. 160, 1982, doi: 10.1016/0142-694x(82)90016-3.
- [188] E. B. Babatunde, *Solar radiation*. Croatia: Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, 2021.
- [189] Z. Şen, *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques*. 2015.
- [190] A. Labouret and M. Villoz, *Solar photovoltaic energy*. 2010.
- [191] J. A. Richards, *Remote sensing digital image analysis*, 5th ed., vol. 3. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [192] K. R. Lang, *Sun, Earth and Sky*, Second Edi. Springer USA, 2006.
- [193] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering*. 2009.
- [194] K. M. Aksungur, M. Kurban, and Ü. B. Filik, “Türkiye’nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi,” *Enerji Verimliliği ve*

Kalitesi Sempozyumu, pp. 3–6, 2009.

- [195] F. Çanka Kılıç, “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri,” *Muhendis ve Makina*, vol. 56, no. 671, pp. 28–40, 2015.
- [196] F. Dinçer, “Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme,” *KSU Mühendislik Dergisi*, vol. 14, no. 1, 2011.
- [197] M. H. Girgin, “Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5MW’lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi,” 2011.
- [198] M. A. Green, E. D. Dunlop, J. Hohl-Ebinger, M. Yoshita, N. Kopidakis, and X. Hao, “Solar cell efficiency tables (version 56),” *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 28, no. NREL/JA-5900-77544, 2020.
- [199] E. Pulli, E. Rozzi, and F. Bella, “Transparent photovoltaic technologies: Current trends towards upscaling,” *Energy Conversion and Management*, vol. 219, p. 112982, 2020.
- [200] F. Bella *et al.*, “A water-based and metal-free dye solar cell exceeding 7% efficiency using a cationic poly (3, 4-ethylenedioxythiophene) derivative,” *Chemical Science*, vol. 11, no. 6, pp. 1485–1493, 2020.
- [201] A. M. Ateş, O. S. Yılmaz, and F. Gulgen, “Using remote sensing to calculate floating photovoltaic technical potential of a dam’s surface,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 41, no. 100799, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1016/j.seta.2020.100799.
- [202] A. Ghafoor and A. Munir, “Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42. Elsevier, pp. 496–502, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.10.012.
- [203] A. Reinders, P. Verlinden, W. van Sark, and A. Freundlich, *Photovoltaic solar energy*. 2017.
- [204] F. Kantaroğlu, “Fotovoltaik Sistemler,” *TTMD*, 2010.
- [205] K. Stefan, “Solar electric power generation-photovoltaic energy systems, modeling

of optical and thermal performance, electrical yield, energy balance, effect on reduction of greenhouse gas emissions.” Berlin: Springer, 2006.

- [206] A. Goetzberger and V. U. Hoffmann, *Photovoltaic solar energy generation*, vol. 112. Springer Science & Business Media, 2005.
- [207] R. A. Messenger and A. Abtahi, *Photovoltaic systems engineering*. CRC press, 2017.
- [208] G. Agugiaro, F. Nex, F. Remondino, R. De Filippi, S. Droghetti, and C. Furlanello, “Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadastre,” in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2012, vol. 1, pp. 177–182, doi: 10.5194/isprsannals-I-2-177-2012.
- [209] Ö. Çelik, A. Teke, and H. B. Yildirim, “Survey of Photovoltaic (PV) Technologies , PV Module Characteristics , Connection Forms and Standards,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 30, no. 2, pp. 137–150, 2015.
- [210] E. İşen and Ö. Koçhan, “Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Modellenmesi,” *Mühendislik Bilimleri ve Araştırma Dergisi*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [211] M. A. Kokpinar, S. Y. Kumcu, A. B. Altan-Sakarya, and M. Gogus, “Reservoir sedimentation in the Demirköprü Dam, Turkey,” in *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow*, 2010, pp. 1125–1130.
- [212] L. Breiman, “Random Forests,” *Machine Learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001, doi: 10.1023/A:1010933404324.
- [213] A. Liaw and M. Wiener, “Classification and regression by randomForest,” *R news*, vol. 2, no. 3, pp. 18–22, 2002.
- [214] G. Biau and E. Scornet, “A random forest guided tour,” *Test*, vol. 25, no. 2, pp. 197–227, 2016, doi: 10.1007/s11749-016-0481-7.
- [215] J. D. Paola and R. A. Schowengerdt, “A detailed comparison of backpropagation neural network and maximum-likelihood classifiers for urban land use classification,” *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, vol. 33, no. 4, pp. 981–996, 1995.

- [216] Z. Lv, Y. Hu, H. Zhong, J. Wu, B. Li, and H. Zhao, "Parallel k-means clustering of remote sensing images based on mapreduce," in *International Conference on Web Information Systems and Mining*, 2010, pp. 162–170.
- [217] D. Al Bashish, M. Braik, and S. Bani-Ahmad, "Detection and classification of leaf diseases using K-means-based segmentation and Neural-networks-based Classification," *Information Technology Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 267–275, 2011.
- [218] A. Likas, N. Vlassis, and J. J. Verbeek, "The global k-means clustering algorithm," *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 2, pp. 451–461, 2003, doi: 10.1016/S0031-3203(02)00060-2.
- [219] L. Ji, L. Zhang, and B. Wylie, "Problems of Dynamic NDWI Threshold and Objectives of the Study The NDWI data derived from Landsat MSS, TM, and ETM (Jain et al)," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 75, no. 11, pp. 1307–1317, 2009, doi: 10.14358/PERS.75.11.1307.
- [220] U. Acar, O. S. Yilmaz, M. Çelen, A. M. Ateş, F. Gülgen, and F. B. Şanlı, "Determination of Mucilage in The Sea of Marmara Using Remote Sensing Techniques with Google Earth Engine Determination of Mucilage in The Sea of Marmara Using Remote Sensing Techniques with Google Earth Engine," *International Journal of Environment and Geoinformatics*, vol. 8, no. 4, pp. 423–434, 2021, doi: 10.30897/ijegeo.
- [221] H. Xu, "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, no. 14, pp. 3025–3033, Jul. 2006, doi: 10.1080/01431160600589179.
- [222] C. Rizos, "Alternatives to current GPS-RTK services and some implications for CORS infrastructure and operations," *GPS solutions*, vol. 11, no. 3, pp. 151–158, 2007.
- [223] K. Eren, T. Uzel, E. Gulal, O. Yildirim, and A. Cingoz, "Results from a comprehensive Global Navigation Satellite System test in the CORS-TR network: Case study," *Journal of Surveying Engineering*, vol. 135, no. 1, pp. 10–18, 2009.

- [224] A. Cioban, H. Criveanu, F. Matei, L. Pop, and A. Rotaru, "Aspects of Solar Radiation Analysis using ArcGis," *Bulletin UASVM Horticulture*, vol. 70, no. 2, pp. 437–440, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [225] P. Rich, R. C. Dubayah, W. Hetrick, and S. Saving, "Using viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers," in *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1994, pp. 524–529.
- [226] P. Fu and P. M. Rich, "The solar analyst 1.0 user manual," *Helios Environmental Modeling Institute*, vol. 1616, 2000.
- [227] P. Fu and P. M. Rich, "A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 37, no. 1–3, pp. 25–35, 2002.
- [228] P. Fu and P. M. Rich, "Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales," in *Proceedings of the nineteenth annual ESRI user conference*, 1999, vol. 1, pp. 1–31.
- [229] M. Díez-Mediavilla, M. I. Dieste-Velasco, M. C. Rodríguez-Amigo, T. García-Calderón, and C. Alonso-Tristán, "Performance of grid-tied PV facilities based on real data in Spain : Central inverter versus string system," *Energy Conversion and Management*, vol. 86, pp. 1128–1133, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.06.087.
- [230] D. L. Evans and L. W. Florschuetz, "Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration," *Solar Energy*, vol. 19, no. 3, pp. 255–262, 1977, doi: 10.1016/0038-092X(77)90068-8.
- [231] F. Calise, M. D. D'Accadia, and L. Vanoli, "Design and dynamic simulation of a novel solar trigeneration system based on hybrid photovoltaic/thermal collectors (PVT)," *Energy Conversion and Management*, vol. 60, pp. 214–225, 2012, doi: 10.1016/j.enconman.2012.01.025.
- [232] R. A. Messenger and J. Ventre, *Photovoltaic Systems Engeneering*, Second Edi. Florida, USA: CRC Pres, 2005.

- [233] R. Sharma and S. Goel, "Performance analysis of a 11.2 kWp roof top grid-connected PV system in Eastern India," *Energy Reports*, vol. 3, pp. 76–84, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.egy.2017.05.001.
- [234] L. F. Mulcué-Nieto and L. Mora-López, "A new model to predict the energy generated by a photovoltaic system connected to the grid in low latitude countries," *Solar Energy*, vol. 107, pp. 423–442, 2014, doi: 10.1016/j.solener.2014.04.030.
- [235] E. Kymakis, S. Kalykakis, and T. M. Papazoglou, "Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, no. 3, pp. 433–438, 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2008.12.009.
- [236] M. Mwanza and K. Ulgen, "GIS-Based Assessment of Solar Energy Harvesting Sites and Electricity Generation Potential in Zambia," 2021.
- [237] A. M. Ates and H. Singh, "Rooftop solar Photovoltaic (PV) plant–One year measured performance and simulations," *Journal of King Saud University-Science*, vol. 33, no. 3, p. 101361, 2021.
- [238] H. A. Kazem, T. Khatib, K. Sopian, and W. Elmenreich, "Performance and feasibility assessment of a 1.4 kW roof top grid-connected photovoltaic power system under desertic weather conditions," *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 123–129, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.06.048.
- [239] A. Gerbo, K. V. Suryabhagavan, and T. Kumar, "GIS-based approach for modeling grid-connected solar power potential sites : a case study of East Shewa Zone , Ethiopia," *Geology, Ecology, and Landscapes*, vol. 00, no. 00, pp. 1–15, 2020, doi: 10.1080/24749508.2020.1809059.
- [240] W. Abtew and A. Melesse, *Evaporation and evapotranspiration: measurements and estimations*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [241] J. R. Landis and G. G. Koch, "The measurement of observer agreement for categorical data," *biometrics*, pp. 159–174, 1977.
- [242] N. Yadav, M. Gupta, and K. Sudhakar, "Energy assessment of floating photovoltaic system," in *International Conference on Electrical Power and Energy Systems, ICEPES 2016*, 2016, pp. 264–269, doi:

10.1109/ICEPES.2016.7915941.

- [243] P. E. Campana, L. Wästhage, W. Nookuea, Y. Tan, and J. Yan, “Optimization and assessment of floating and floating-tracking PV systems integrated in on- and off-grid hybrid energy systems,” *Solar Energy*, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2018.11.045.
- [244] S. H. Kim, S. C. Baek, K. B. Choi, and S. J. Park, “Design and installation of 500-kW floating photovoltaic structures using high-durability steel,” *Energies*, vol. 13, no. 18, 2020, doi: 10.3390/en13194996.
- [245] Y. G. Lee, H. J. Joo, and S. J. Yoon, “Design and installation of floating type photovoltaic energy generation system using FRP members,” *Solar Energy*, vol. 108, pp. 13–27, 2014, doi: 10.1016/j.solener.2014.06.033.
- [246] M. R. Santafé, P. S. Ferrer Gisbert, F. J. Sánchez Romero, J. B. Torregrosa Soler, J. J. Ferrán Gozávez, and C. M. Ferrer Gisbert, “Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, pp. 568–570, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.006.
- [247] Y.-K. Choi, N.-H. Lee, A.-K. Lee, and K.-J. Kim, “A study on major design elements of tracking-type floating photovoltaic systems,” *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, vol. 3, no. 1, pp. 70–74, 2014, doi: 10.12720/sgce.3.1.70-74.
- [248] A. P. Sukarso and K. N. Kim, “Cooling effect on the floating solar PV: Performance and economic analysis on the case of west Java province in Indonesia,” *Energies*, vol. 13, no. 9, 2020, doi: 10.3390/en13092126.
- [249] S. D. Jawak and A. J. Luis, “A semiautomatic extraction of Antarctic lake features using WorldView-2 imagery,” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 80, no. 10, pp. 939–952, 2014.
- [250] T. D. Acharya, A. Subedi, I. T. Yang, and D. H. Lee, “Combining water indices for water and background threshold in Landsat image,” in *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2017, vol. 2, no. 3, p. 143.
- [251] X. Yang, Q. Qin, P. Grussenmeyer, and M. Koehl, “Urban surface water body detection with suppressed built-up noise based on water indices from Sentinel-2

- MSI imagery,” *Remote sensing of environment*, vol. 219, pp. 259–270, 2018.
- [252] L. Ji, L. Zhang, and B. Wylie, “Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index,” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 75, no. 11, pp. 1307–1317, 2009, doi: 10.14358/PERS.75.11.1307.
- [253] Y. Wang, Z. Li, C. Zeng, G. Xia, and H. Shen, “Extracting urban water by combining deep learning and google earth engine,” *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*, vol. 13, pp. 769–782, 2019.
- [254] X. Yang *et al.*, “Monthly estimation of the surface water extent in France at a 10-m resolution using Sentinel-2 data,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 244, no. October 2019, p. 111803, 2020, doi: 10.1016/j.rse.2020.111803.
- [255] B. Sui, T. Jiang, Z. Zhang, X. Pan, and C. Liu, “A modeling method for automatic extraction of offshore aquaculture zones based on semantic segmentation,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 9, no. 3, 2020, doi: 10.3390/ijgi9030145.
- [256] X. Yang, Y. Chen, and J. Wang, “Combined use of Sentinel-2 and Landsat 8 to monitor water surface area dynamics using Google Earth Engine,” *Remote Sensing Letters*, vol. 11, no. 7, pp. 687–696, 2020, doi: 10.1080/2150704X.2020.1757780.
- [257] G. L. Feyisa, H. Meilby, R. Fensholt, and S. R. Proud, “Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 140, pp. 23–35, 2014, doi: 10.1016/j.rse.2013.08.029.
- [258] R. Medina-Carnicer, A. Carmona-Poyato, R. Muñoz-Salinas, and F. J. Madrid-Cuevas, “Determining hysteresis thresholds for edge detection by combining the advantages and disadvantages of thresholding methods,” *IEEE transactions on image processing*, vol. 19, no. 1, pp. 165–173, 2009.
- [259] O. Okun, *Supervised and Unsupervised ensemble methods and their applications*, vol. 126. Springer, 2008.
- [260] P. Singh, M. Diwakar, A. Shankar, R. Shree, and M. Kumar, “A Review on SAR Image and its Despeckling,” *Archives of Computational Methods in Engineering*,

pp. 1–21, 2021.

- [261] F. Cánovas-García, F. Alonso-Sarría, F. Gomariz-Castillo, and F. Oñate-Valdivieso, “Modification of the random forest algorithm to avoid statistical dependence problems when classifying remote sensing imagery,” *Computers & Geosciences*, vol. 103, pp. 1–11, 2017.
- [262] Y. Jin, X. Liu, Y. Chen, and X. Liang, “Land-cover mapping using Random Forest classification and incorporating NDVI time-series and texture: A case study of central Shandong,” *International journal of remote sensing*, vol. 39, no. 23, pp. 8703–8723, 2018.
- [263] L. C. Kelley, L. Pitcher, and C. Bacon, “Using Google Earth engine to map complex shade-grown coffee landscapes in Northern Nicaragua,” *Remote Sensing*, vol. 10, no. 6, p. 952, 2018.
- [264] A. E. Maxwell, M. P. Strager, T. A. Warner, C. A. Ramezan, A. N. Morgan, and C. E. Pauley, “Large-Area, High Spatial Resolution Land Cover Mapping Using Random Forests, GEOBIA, and NAIP Orthophotography: Findings and Recommendations,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 12, p. 1409, 2019.
- [265] K. Millard and M. Richardson, “On the importance of training data sample selection in random forest image classification: A case study in peatland ecosystem mapping,” *Remote sensing*, vol. 7, no. 7, pp. 8489–8515, 2015.
- [266] A. Shelestov, M. Lavreniuk, N. Kussul, A. Novikov, and S. Skakun, “Exploring Google earth engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping,” *frontiers in Earth Science*, vol. 5, p. 17, 2017.
- [267] M. Mahdianpari, B. Salehi, F. Mohammadimanesh, and M. Motagh, “Random forest wetland classification using ALOS-2 L-band, RADARSAT-2 C-band, and TerraSAR-X imagery,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 130, pp. 13–31, 2017.
- [268] J. Xia, N. Falco, J. A. Benediktsson, P. Du, and J. Chanussot, “Hyperspectral image classification with rotation random forest via KPCA,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 10, no. 4, pp.

1601–1609, 2017.

- [269] S. A. S. Brooke, M. D’Arcy, P. J. Mason, and A. C. Whittaker, “Rapid multispectral data sampling using Google Earth Engine,” *Computers & Geosciences*, vol. 135, p. 104366, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2019.104366>.
- [270] B. Chen *et al.*, “A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 131, pp. 104–120, 2017, doi: [10.1016/j.isprsjprs.2017.07.011](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.011).
- [271] K. Johansen, S. Phinn, and M. Taylor, “Mapping woody vegetation clearing in Queensland, Australia from Landsat imagery using the Google Earth Engine,” *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 1, pp. 36–49, 2015, doi: [10.1016/j.rsase.2015.06.002](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2015.06.002).
- [272] R. Goldblatt, W. You, G. Hanson, and A. K. Khandelwal, “Detecting the boundaries of urban areas in India: A dataset for pixel-based image classification in google earth engine,” *Remote Sensing*, vol. 8, no. 8, p. 634, 2016, doi: [10.3390/rs8080634](https://doi.org/10.3390/rs8080634).
- [273] J. Dong *et al.*, “Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 185, pp. 142–154, 2016, doi: [10.1016/j.rse.2016.02.016](https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.016).
- [274] H. Huang *et al.*, “Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, pp. 166–176, 2017.
- [275] C.-C. Liu, M.-C. Shieh, M.-S. Ke, and K.-H. Wang, “Flood prevention and emergency response system powered by google earth engine,” *Remote sensing*, vol. 10, no. 8, p. 1283, 2018.
- [276] L. Gibson, O. Wheeler, R. Cairns, R. Walls, and D. Rush, “Fire detection in informal settlements,” in *Remote sensing technologies and applications in urban environments III*, 2018, vol. 10793, p. 107930R.
- [277] O. S. Yılmaz, M. S. Oruç, A. M. Ateş, and F. Gülgen, “Orman Yangın Şiddetinin

- Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Analizi: Hatay-Belen Örneği,” *Journal of the Institute of Science and Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 1519–1532, 2021, doi: 10.21597/jist.817900.
- [278] B. A. Wong, C. Thomas, and P. Halpin, “Automating offshore infrastructure extractions using synthetic aperture radar & Google Earth Engine,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 233, no. November 2018, p. 111412, 2019, doi: 10.1016/j.rse.2019.111412.
- [279] M. Uyan, “GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region Konya/Turkey,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, pp. 11–17, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.07.042.
- [280] D. Kumar and S. Shekhar, “Modelling solar energy using geospatial technology,” in *International Conference on Geospatial Momentum for Society and Environment*, 2013, pp. 87–99.
- [281] M. Jahangiri, R. Ghaderi, A. Haghani, and O. Nematollahi, “Finding the best locations for establishment of solar-wind power stations in Middle-East using GIS: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66, pp. 38–52, 2016.
- [282] P. A. Trotter, R. Maconachie, and M. C. McManus, “Solar energy’s potential to mitigate political risks: The case of an optimised Africa-wide network,” *Energy Policy*, vol. 117, no. March, pp. 108–126, 2018, doi: 10.1016/j.enpol.2018.02.013.
- [283] S. Edalati, M. Ameri, M. Iranmanesh, H. Tarmahi, and M. Gholampour, “Technical and economic assessments of grid-connected photovoltaic power plants: Iran case study,” *Energy*, vol. 114, pp. 923–934, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.08.041.
- [284] N. Yadav, M. Gupta, and K. Sudhakar, “Energy assessment of floating photovoltaic system,” 2016, doi: 10.1109/ICEPES.2016.7915941.
- [285] W. Charles Lawrence Kamuyu, J. Lim, C. Won, and H. Ahn, “Prediction Model of Photovoltaic Module Temperature for Power Performance of Floating PVs,” *Energies*, vol. 11, no. 2, p. 447, Feb. 2018, doi: 10.3390/en11020447.
- [286] V. Suresh, S. Naviynkumar, and V. Kirubakaran, “Improved power output of PV system by low cost evaporative cooling technology,” in *Proceedings of the 2013*

International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy, ICGCE 2013, 2013, pp. 640–643, doi: 10.1109/ICGCE.2013.6823514.

- [287] R. Nagananthini and R. Nagavinothini, “Investigation on floating photovoltaic covering system in rural Indian reservoir to minimize evaporation loss,” *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 0, no. 0, pp. 1–25, 2021, doi: 10.1080/14786451.2020.1870975.
- [288] F. Bontempo Scavo, G. M. Tina, A. Gagliano, and S. Nižetić, “An assessment study of evaporation rate models on a water basin with floating photovoltaic plants,” *International Journal of Energy Research*, vol. 45, no. 1, pp. 167–188, 2021, doi: 10.1002/er.5170.
- [289] I. S. Rodrigues, G. L. B. Ramalho, and P. H. A. Medeiros, “Potential of floating photovoltaic plant in a tropical reservoir in Brazil,” *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 63, no. 13, pp. 2334–2356, Nov. 2020, doi: 10.1080/09640568.2020.1719824.
- [URL-1] <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/turkey> (Erişim tarihi: 01.06.2021).
- [URL-2] [WEB SERVICES - www.soda-pro.com](http://www.soda-pro.com) (Erişim tarihi: 01.02.2020)

Makale

- [1] A. M. Ateş, O. S. Yılmaz, and F. Gulgen, “Using remote sensing to calculate floating photovoltaic technical potential of a dam’s surface,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 41, no. 100799, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1016/j.seta.2020.100799.

Konferans Bildirileri

- [1] O. S. Yılmaz, F. Gülgen, F. B. Şanlı, and A. M. Ateş, “Demirköprü Barajının Su Yüzey Sınırlarının Belirlenmesinde Sentinel –2 (MSI) Görüntüleri Kullanılarak Farklı Algoritmalar ve Su Endeksleri Performanslarının Araştırılması”, Hezarfen Uluslararası Fen Matematik ve Mühendislik Kongresi, 2019, pp. 293–305.