



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK ENERJİ TAHMİNİ İÇİN BİNA ÇATI DÜZLEMİ  
ÇIKARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SELİN CEYLAN**

**Tez Danışmanı**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ EMİN ÖZGÜR AVŞAR**

**ÇANAKKALE – 2022**





T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK ENERJİ TAHMİNİ İÇİN BİNA ÇATI DÜZLEMİ ÇIKARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

DR. ÖĞR. ÜYESİ EMİN ÖZGÜR AVŞAR

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: FYL-2021-3597

ÇANAKKALE – 2022



T.C.  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Selin CEYLAN tarafından Dr. Öğr. Üyesi Emin Özgür AVŞAR yönetiminde hazırlanan ve **23/08/2022** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Fotovoltaik Enerji Tahmini için Bina Çatı Düzlemi Çıkarımı**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**İmza**

Dr. Öğr. Üyesi Emin Özgür AVŞAR

.....

(Danışman)

Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER

.....

Dr. Öğr. Üyesi Umut AYDAR

.....

Tez No : 10491413

Tez Savunma Tarihi : 23/08/2022

.....

Doç. Dr. Yener PAZARCIK

Enstitü Müdürü

.././2022



## ETİK BEYAN

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

Selin CEYLAN

23/08/2022

## TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Emin Özgür AVŞAR'a, çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen canım annem Birsen GÖKHAN'a, yardımlarını esirgemeyen canım arkadaşlarıma ve yüksek lisans eğitimim boyunca aynı yolda beraber ilerlediğimiz arkadaşım Cansu NEHTEPAROV'a ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Selin CEYLAN  
anakkale, Ağustos 2022

## ÖZET

### FOTOVOLTAİK ENERJİ TAHMİNİ İÇİN BİNA ÇATI DÜZLEMİ ÇIKARIMI

Selin CEYLAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emin Özgür AVŞAR

23/08/2022, 67

Dünya nüfusunun her geçen gün çoğalması ile beraber enerji ihtiyacı açığa çıkmış, buna bağlı olarak da çevre kirliliği ve ekolojik zarar artmıştır. Bu kapsamda; doğa ve insan ilişkisinin sürdürülebilirliği açısından yenilenebilir enerji kaynakları en iyi çözümdür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden olan güneş enerjisi, diğer kaynaklara kıyasla ucuz, temiz ve daha uzun ömürlü bir kaynaktır. Şehirlerdeki yerleşim yoğunluğu sebebiyle güneş enerjisi kurulumu için en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi çatılara yerleştirilen güneş fotovoltaik (PV) sistemlerin kullanımınıdır. PV sistem, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürmekte ve ekstra yeni alana gerek duyulmadan binaların yüzeylerine, çatılara, teraslara kurularak elektrik enerjisi üretebilme imkânı vermektedir. Ülkemizde bulunan yenilenebilir enerji potansiyeline karşı, çatı PV gelişim hızı beklenenden azdır. Bu yüzden çatıdaki güneş PV sistemlerinin sağlayacağı potansiyel enerjinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada Edirne ili Keşan ilçesinde belirlenen birden fazla çalışma bölgesinde insansız hava aracı görüntülerinden yararlanılarak ortofotolar üretilmiş, nesne tabanlı sınıflandırma yardımıyla bina çatı düzlemleri çıkarılmıştır. Çıkarılan çatı düzlemleri ve nSYM yardımıyla çatıların özellikleri belirlenmiş, çatılara PV enerji sistemi kurulumu için uygun alan tahmini yapılmıştır. Belirlenen PV alanları, gelecekte güneş enerji politikasının oluşturulması ve sürdürülebilir enerji için önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Sınıflandırma, Güneş Enerjisi, Ortofoto, Bina Çıkarımı, Fotovoltaik Sistem

## ABSTRACT

### ROOF PLANE IDENTIFICATION FOR PHOTOVOLTAIC ENERGY ESTIMATION

Selin CEYLAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Surveying Engineering

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Emin Özgür AVŞAR

23/08/2022, 67

As the world population increases over years, energy need has also increased in parallel, which causes environmental pollution and ecological damage. In this context, renewable energy resources are the best option to achieve more sustainable nature-human interactions. Solar power is one of the most important renewable energy resource, and has some advantages such as lower costs and longer life span over the other options. Among a variety of installation options for solar systems, rooftop photovoltaic (PV) systems is the best option due to crowded building density in big cities. PV systems convert solar power directly to electricity without the need of a specialized place except for a rooftop area. In spite of the vast potential of our country for rooftop PV systems, the new developments are slower than expected. Thus, it is important to determine the potential energy resources coming from rooftop PV systems. In this study, orthophotos were produced using unmanned aerial vehicle images in more than one study area determined in Keşan district of Edirne province, and building roof planes were extracted with the help of object-based classification. With the help of the extracted roof planes and nDEM, the characteristics of the roofs were determined, and the appropriate area for the installation of PV energy system on the roofs was estimated. Identified PV areas are important for future solar policy formation and sustainable energy.

**Keywords:** Classification, Solar Energy, Ortophoto, Building Identification, Photovoltaic systems

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

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

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

1

1.1. Giriş.....	1
-----------------	---

## İKİNCİ BÖLÜM

### KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3

2.1. Geçmiş Çalışmalar.....	3
2.1.1. Uzaktan Algılama Verilerinden Bina Çıkarımı.....	3
Yüksek Çözünürlüklü Görüntüler Kullanılarak Yapılan Çalışmalar.....	3
LİDAR Nokta Bulutu Verisi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar.....	5
Yüksek Çözünürlüklü Görüntüler ve LİDAR Nokta Bulutu Verisi Birlikte Kullanılarak Yapılan Çalışmalar.....	6
2.2. Fotovoltaik Potansiyel Tahmini.....	7

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM

11

3.1. Çalışma Bölgeleri .....	11
3.1.1. Çalışma Bölgesi 1 .....	12

3.1.2. Çalışma Bölgesi 2 .....	13
3.1.3. Çalışma Bölgesi 3 .....	13
3.2. Yazılım ve Donanım Özellikleri .....	15
3.3. Yöntem .....	15
3.3.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	17
3.3.2. Fotogrametri.....	20
Ortofoto.....	20
3.3.3. SYM, SAM, nSYM oluşturma.....	21
3.3.4. Sınıflandırma.....	24
3.3.5. Güneş Enerjisi.....	27
Fotovoltaik Paneller.....	28
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM</b>	
<b>ARAŞTIRMA BULGULARI</b>	
4.1. Sınıflandırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	30
4.2. Fotovoltaik (PV) Uygun Alanı Bulma.....	32
4.2.1. Eğim Haritası.....	32
4.2.2. Yön (Bakı) Haritası.....	34
4.2.3. Güney Yönlerinin Belirlenmesi.....	36
4.2.4. Uygun Alanların Belirlenmesi.....	37
4.2.5. Sınır Temizliği.....	39
4.3. Sonuç Haritalarının Değerlendirilmesi.....	43
4.3.1. Çalışma Bölgesi 1.....	44
4.3.2. Çalışma Bölgesi 2.....	46
4.3.3. Çalışma Bölgesi 3(a).....	48
4.3.4. Çalışma Bölgesi 3(b).....	52
4.3.5. Çalışma Bölgesi 3(c).....	55
<b>BEŞİNCİ BÖLÜM</b>	
<b>SONUÇ ve ÖNERİLER</b>	
KAYNAKÇA .....	63

## SİMGELER VE KISALTMALAR

KW	Kilowatt
GW	Gigawatt
MW	Megawatt
TL	Türk Lirası
LİDAR	Light Detection and Ranging
ALS	Airborne Laser Scanning
%	Yüzde İşareti
°	Derece
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
nSYM	Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modeli
YÖA	Yer Örnekleme Aralığı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
RO	Rastgele Orman
DVM	Destek Vektör Makineleri
İHA	İnsansız Hava Aracı
PV	Photovoltaics
GES	Güneş Enerji Santrali
m <sup>2</sup>	Metrekare
m	Metre
cm	Santimetre
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
VDVI	Visible Difference Vegetation Index
TIN	Triangulated Irregular Network
DoG	Difference of Gaussian
CIR	Yapay Renkli Görüntü
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
NREL	Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
TEİAŞ	Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo No</b>	<b>Tablo Adı</b>	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 1</b>	Kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri	15
<b>Tablo 2</b>	Çalışma bölgeleri için uygulanan segmentasyon parametreleri	26
<b>Tablo 3</b>	Çalışma bölgeleri için genel doğruluk ve kappa katsayısı	31
<b>Tablo 4</b>	Çalışma bölgesi 1 için hesaplamalar	45
<b>Tablo 5</b>	Çalışma bölgesi 2 için hesaplamalar	47
<b>Tablo 6</b>	Çalışma bölgesi 3(a) için hesaplamalar	50
<b>Tablo 7</b>	Çalışma bölgesi 3(b) için hesaplamalar	53
<b>Tablo 8</b>	Çalışma bölgesi 3(c) için hesaplamalar	56



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Çalışma bölgeleri 1	11
Şekil 2	Çalışma bölgesi 1 ortofoto	12
Şekil 3	Çalışma bölgesi 2 ortofoto	13
Şekil 4	Çalışma bölgesi 3	14
Şekil 5	Çalışma bölgesi alt bölgeleri (a, b, c)	14
Şekil 6	İş akış diyagramı	16
Şekil 7	Lokal fonksiyonun girdi ve çıktı görüntüsü	18
Şekil 8	Focal fonksiyonun girdi ve çıktı görüntüsü	18
Şekil 9	Zonal fonksiyon ikili girdi verisi ve çıktı görüntüsü	19
Şekil 10	SAM ve SYM gösterimi	21
Şekil 11	Çalışma bölgeleri SYM verileri	22
Şekil 12	Çalışma bölgeleri SAM verileri	23
Şekil 13	Çalışma bölgeleri nSYM verileri	24
Şekil 14	Çalışma bölgelerindeki binalar	26
Şekil 15	(a) Avrupa PV enerji potansiyeli (b) Türkiye PV enerji potansiyeli	27
Şekil 16	2010 ve 2020 Yılları İçin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye Kurulu Gücü	28
Şekil 17	Çalışma bölgeleri sınıflandırma sonuçları	30
Şekil 18	Eğim haritaları	32
Şekil 19	Ortalama eğim değerleri	33
Şekil 20	Eğim için uygun alanlar	34
Şekil 21	Yön haritası	35
Şekil 22	Mod değerleri	35

<b>Şekil 23</b>	Belirlenen yeni mod değerleri	37
<b>Şekil 24</b>	Standart sapmanın yarısına göre oluşturulmuş 1 ve 0 değerine sahip alanlar	38
<b>Şekil 25</b>	Fotovoltaik panel kurulumu için uygun çatı alanları	39
<b>Şekil 26</b>	Çalışma bölgesi 1 uygun alanlar	40
<b>Şekil 27</b>	Çalışma bölgesi 2 uygun alanlar	41
<b>Şekil 28</b>	Çalışma bölgesi 3(a) uygun alanlar	41
<b>Şekil 29</b>	Çalışma bölgesi 3(b) uygun alanlar	42
<b>Şekil 30</b>	Çalışma bölgesi 3(c) uygun alanlar	42
<b>Şekil 31</b>	Çalışma bölgesi 1 için ID numaraları	44
<b>Şekil 32</b>	Çalışma bölgesi 2 için ID numaraları	46
<b>Şekil 33</b>	Güneş enerji sistemi bulunduran bazı çatılar	48
<b>Şekil 34</b>	Çalışma bölgesi 3(a) için ID numaraları	49
<b>Şekil 35</b>	Çalışma bölgesi 3(a) ortofoto bozuklukları	51
<b>Şekil 36</b>	Çalışma bölgesi 3(a) birbirine karışan çatılar	51
<b>Şekil 37</b>	Çalışma bölgesi 3(b) için ID numaraları	52
<b>Şekil 38</b>	Çalışma bölgesi 3(b) ortofoto bozuklukları	54
<b>Şekil 39</b>	Ortofoto kenarlarındaki bozulmalar	54
<b>Şekil 40</b>	Çalışma bölgesi 3(c) için ID numaraları	55
<b>Şekil 41</b>	Çalışma bölgesi 3(c) ortofoto bozuklukları	58
<b>Şekil 42</b>	Ortofoto kenarlarındaki bozulmalar	58
<b>Şekil 43</b>	Çalışma bölgesi 3(c) için birbirine karışan çatılar	59

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

Nüfus artışı ile birlikte enerji ihtiyacı artmış, bu durum toplum için önemli bir sorun haline gelmiştir. Enerji ihtiyacı çoğunlukla fosil yakıtlar gibi sonlu ve küresel ısınmayı hızlandırarak çevreye zarar veren enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Dünya Enerji Formu'na göre önümüzdeki yüzyıl içerisinde enerji kaynakları tükenecek ve ortaya çıkan zehirli gazlar geri dönülemeyecek zararlar yaratacaktır (Cengiz ve Mamiş, 2016). Fosil yakıtların sonlu olmasının yanı sıra enerjide dışa bağımlılık ve kaynak fiyatlarının artışı, dünyada iklim değişikliklerine sebep olan küresel ısınma sorunları gibi problemler yenilenebilir enerjinin önemini artırmıştır (Koçaslan, 2014). Birden fazla ülkenin yenilenebilir enerji kaynakları için yatırımlar yapıp antlaşmalar imzalandığı görülmektedir (Koçaslan, 2014). 2015 yılında imzaladığı Paris Antlaşması'na göre Türkiye, 2030 yılında sera gazları emisyonunu %21 oranında azaltmayı öngörmüştür (Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022). Yine kabul edilen Paris Antlaşması'na göre güneş enerjisinden elektrik üretiminin 2030 yılında 10 GW kapasiteye ulaşacağını kabul etmiştir (Damar, 2016).

Bu hedef doğrultusunda kullanılacak yenilenebilir enerji kaynakları büyük önem taşımakta, güneş enerjisi temiz, uzun ömürlü ve düşük maliyeti sebebiyle en önemli kaynaklardan biri olarak görülmektedir. Ülkemizde güneş enerjisi genellikle sıcak su için kullanılmakta, elektrik üretimi için istenen yaygınlığa ulaşmamaktadır. Türkiye'de 9.1 milyon adet bina bulunmakta ve her yıl 100.000'den fazla yeni bina eklenmektedir (Keskin, 2019).

Güneş enerjisinin verimli kullanımı için en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi fotovoltaiik (PV) panellerdir (Green Solar Network, 2022). Şehirlerdeki alan sınırlılığı yüzünden paneller için en uygun alanlardan biri bina çatıları (Karthick vd., 2018) olarak göze çarpmakta ancak ülkemizin sahip olduğu yüksek potansiyele rağmen Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine bakıldığında çatı uygulamalı GES başvuruları konut için

hala istenen düzeye ulaşmamıştır. Bu yüzden çatı üstü fotovoltaik potansiyelin tahmin edilmesi ve belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Fotovoltaik panellerin (PV) kurulumunda dağıtımını modellemek için düzlem içi radyasyon ve PV enerji üretiminin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için en sık kullanılan ücretsiz araçlar PVGIS (Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi - Photovoltaic Geographical Information System) (PVGIS, 2022) ve PVWatt hesaplayıcıdır (PVWatts, 2022). Bu araçlardan sonuç almak için sisteme eğim ve azimut bilgilerinin girilmesi veya optimum değerlerin kullanılması gerekir. Türkiye gerekli bilgilerin sağlanabileceği ulusal bir veritabanına sahip değildir. Bu yüzden kullanılan yöntemde sadece girdi olarak Ortofoto, DEM ve DTM verileri yeterli olacaktır.

Bu tez çalışmasının amacı, insansız hava görüntüleri yardımıyla bina çatı çıkarımı yapılması ve çatıların eğim, yön, alan gibi parametrelere göre incelenerek binanın belli zaman dilimindeki fotovoltaik enerji potansiyelinin tahminini gerçekleştirmektir. Yapılan enerji tahmini yardımıyla binanın enerji verimliliği için yeterliliği test edilmiştir. Bu potansiyel tahmin ortalama olup çevresel faktörlerden dolayı oluşacak enerji kayıpları göz ardı edilmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen bölgelerin ülkemizdeki enerji verimliliği konusunda belirlenen stratejik amaçlar ve hedefler doğrultusunda, bölgedeki binaların enerji verimliliklerinin ne ölçüde artacağı, mali analizlerle günümüz koşullarında yapılabirlik oranı ve uzun vadede sağlayacağı potansiyel fayda gösterilmiştir. Hesaplanan tahmin sürdürülebilir enerji ve gelecekte güneş enerji politikası oluşturulması için referans olabilecek niteliktedir.

## **İKİNCİ BÖLÜM**

### **KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

#### **2.1. Geçmiş Çalışmalar**

Uzaktan algılama görüntüleri kullanılarak otomatik veya yarı otomatik bina çıkarımı için üç grup şeklinde veri kullanıldığı görülmüştür. Bunlar; sadece yüksek çözünürlüklü görüntü verisi, sadece LİDAR nokta bulutu verisi ve hem LİDAR nokta bulutu verisi hem de yüksek çözünürlüklü görüntü verisi kullanılarak yapılan çalışmalardır. Bu bölümde bina çatısı çıkarımı için yapılan çalışmalara ve çıkarılan binalar ile oluşturulmuş potansiyel fotovoltaik (PV) güneş enerjisi tahmini çalışmalarına değinilecektir.

##### **2.1.1. Uzaktan Algılama Verilerinden Bina Çıkarımı**

##### **Yüksek Çözünürlüklü Görüntü Kullanılarak Yapılan Çalışmalar**

Acar (2018) yaptığı çalışmada; yüksek çözünürlüklü görüntülerden üretilen 3B nokta bulutu içindeki verilerin otomatik sınıflandırılması amacıyla özgün bir algoritma üretmiştir. Görüntülerden nokta bulutu üretiminde SURE, LAStools programlarını kullanarak piksel tabanlı eşleştirme gerçekleştirmiştir. Nokta bulutu verisinden bitki örtüsü çıkarımı için NDVI ve VARI eşitliklerini, zemin çıkarımı için de TIN algoritmasını kullanmıştır. Kalan nokta bulutu verisinden düzlem oluşturan noktaların tespiti için Ransac algoritmasından yararlanmıştır. Belirlediği düzlemlerden sadece çatıları çıkarmak için Ransac algoritmasını geliştirerek düzlem alanı, kalınlığı, yoğunluğu, zenitle yaptığı açı vb. koşullar yardımıyla çatıları çıkartmıştır. Elde ettiği çatılarda bazı şekiller gerçeği yansıtmadığı için Awrangjeb (2016) tarafından geliştirilen yaklaşım kullanılmıştır. Çalışma sonucunda gölge, baca vb. bazı problemler göz ardı edilerek zemin, bina ve bitki örtüsü obje yüzeylerine ait noktalar ayrılarak özgün bir algoritma üretilmiştir.

Limandal (2019) çalışmasında; hava fotoğraflarını eşleştirip ürettiği nokta bulutu verisini kullanarak bina çıkarımı işlemi yapmıştır. Çalışma için iki farklı özellikte hava fotoğrafları kullanarak Pix4D ve Context Capture yazılımları yardımıyla nokta bulutu elde etmiştir. Nokta bulutu verisinden yer ve yer üstü noktaların ayırımı için belirli bir değerde eşikleme kullanmıştır. Bu eşikleme değerine göre minimum ve maksimum değerleri girerek muhtemel yer ve yer üstü noktaları ayırmıştır. Bina düzlemlerini belirlemek için Global Mapper yazılımıyla profil çizerek bina sınırlarını elde etmiştir. Bina şekillerine göre değişen kırık sayısına göre profil atılarak bina çizimi gerçekleştirilmiştir. Global Mapper yazılımında üretilen verinin üzerine Microstation yazılımı yardımıyla çizimi yapılan veri çakıştırılmıştır.

Tekir (2019) yaptığı çalışmada; farklı yer örnekleme aralığındaki İHA görüntülerini kullanarak Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Rastgele Orman (RO) algoritmalarını kullanarak bina çatıları çıkarılmıştır. Bunun için ilk olarak gerekli arazi çalışmaları yapılmış, elde edilen dijital görüntüler ile her bir yer örnekleme aralığı için Pix4D yardımıyla nokta bulutu, ortofoto, sayısal yüzey modeli üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı içindeki alanları sınıflandırmak için RO ve DVM algoritmaları yardımı ile kontrollü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma içerisinde çatı sınırlarının çıkarımı için ArcGIS yazılımında eğim analizi yöntemi yardımıyla uygun eşik değeri belirlenerek ikili görüntüler elde edilmiştir. Gerçekleştirilen kontrollü sınıflandırma ve eğim analizi yöntemleri ilişkilendirilerek 2 boyutlu bina çatı çıkarımı yapılmıştır. Nokta bulutu ve bina sınır verileri çakıştırılarak 3 boyutlu çatı modelleri çıkarılmıştır. 5 cm YÖA verinin DVM yöntemiyle alansal olarak başarılı olduğu, 3 cm YÖA verinin DVM yönteminde noktasal konum olarak başarılı olduğu görülmüştür.

## **LiDAR Nokta Bulutu Verisi Kullanılarak Yapılan Çalışmalar**

Güler (2018) yaptığı çalışmada; 3B LİDAR nokta bulutu verisinden ilk olarak yer filtreleme işlemi yapmış, TIN yoğunlaştırılmış filtreleme yöntemini kullanarak yer ve yer üstü noktalarını yükseklik farkı yardımıyla ayırmıştır. Yer üstü noktalardan bölge büyüme bölütleme (Region Growing Segmentation) algoritması yardımıyla binaların her birinin nokta grupları ayrılmıştır. Bulunan bina noktalarından düzlemsel olarak çatı yüzeylerinin çıkarılması için RANSAC algoritması kullanılmıştır. Bina çatı düzlemlerinde oluşan gürültüleri belirlemek ve gidermek için DBSCAN (Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise) algoritması kullanılmıştır. Sınırlardaki kayıklıklar ve düzenleme için Douglas-Peucker algoritması kullanılmıştır. Aynı parametrelerin daha az sayıda bina üzerinde uygulandığı çalışma alanında gürültünün daha az olduğu ve RANSAC algoritmasının daha başarılı bir sonuç verdiği görülmüştür.

Polat (2018) yaptığı çalışmada; Light Detection and Ranging (LiDAR) sistemi ve insansız hava araçlarından (İHA) elde edilmiş hava fotoğrafları kullanılarak ürettiği nokta bulutu verileri ile bina çıkarımı yapmıştır. Çalışmada İstanbul test alanı ele alındığında yöntem olarak LİDAR verisi gürültülerden temizlenmiş, hava fotoğrafları Pix4D yazılımında işlenmiştir. LİDAR nokta bulutu verisi ile yer ve yer üstü objeler CSF algoritması yardımıyla ayrıştırılmıştır. En yakın komşuluk enterpolasyonu yardımıyla Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretilmiştir. SYM ve SAM farkından üretilen nSYM verisine aşınma operatörü uygulanarak bitkiler ile binalar ayrıştırılmıştır. Benzemezlik doku parametresi kullanılarak binaların izdüşümleri elde edilmiştir. Çalışmanın LİDAR verisi üzerinden genel doğruluğu %88 olarak belirlenmiştir. Çalışma benzemezlik doku parametresinin bina çatı çıkarımında birden fazla farklı veri setinde kullanılabileceğini gösterilmiştir.

## **Yüksek Çözünürlüklü Görüntü ve LiDAR Nokta Bulutu Verisi Birlikte Kullanılarak Yapılan Çalışmalar**

Uzar ve Yastıklı (2011) yaptıkları çalışmada; LİDAR ve sayısal hava fotoğrafı verileri ile bina çıkarımını araştırmışlardır. LİDAR verisinden sayısal yüzel modeli (SYM) üretmiştir. SYM, yapay renkli görüntü (CIR) ve dış yöneltme elemanları ile ortogörüntü üretmişlerdir. Otomatik bina çıkarımı için nesne tabanlı sınıflandırma kullanmışlar, farklı segmentasyon yöntemlerini denemişlerdir. Bina ve diğer nesnelere karıştığı durumlarda binayı ayırmak için eğim analizi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI), Hough dönüşümü ile yardımcı veri setleri kullanmışlardır.

Grigillo ve Kanjir (2012) yaptıkları çalışmada; ALS (Airborne Laser Scanner) verisi ve görüntülerden yararlanmışlardır. Binalara karışan bitki örtüsünü ayırmak için SAM ve SYM verisi üretilip nSYM verisi elde etmişlerdir. nSYM verisi için SAM verisinden SYM verisini çıkarmışlardır. Elimine edilmiş binaları iyileştirmek için morfolojik işlemler kullanmışlardır. Hough dönüşümü yardımıyla da binaları çıkarmışlardır. Bitki örtüsü için nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanmış burada ek bant olarak nSYM verisini eklemiştir. İlk olarak gölgesiz daha sonra gölgeli bölgeleri belirleyerek doğruluk oranı %90'a varan bir bina çıkarımı yapmışlardır.

Demir (2016) yaptığı çalışmada; LIDAR verisinden otomatik sınıflandırma yardımıyla çıkarılan binalara ait segmentasyon işlemi sonrası çatı düzlemlerinin otomatik tespit edilmesini amaçlamıştır. Test alanının eğimi az olduğu için yükseklik eşik değeri yardımıyla yer ve yer üstü nesnelere birbirinden ayırmıştır. Çatı düzlemi tespiti için ilk olarak genişletme işlemini uygulamış, her bir noktanın bir düzleme ait olduğunu varsayarak normal vektörleri hesaplamıştır. Düzlem tespiti için RANSAC algoritması kullanılmış, algoritma ile tespit edilen düzlemlerde üst ve alt bölütleme hatalarından dolayı bir iyileştirmeye ihtiyaç duyulmuştur. Noktalar en uygun düzleme atanmış, daha sonra bölge genişletme ile alt bölütleme hatalarının ortadan kaldırılmıştır. Oluşan düzlemlerin iç çatı çizgisi çıkarılmış ve çatı düzlem sınırları Alpha-Shapes Algoritması ile



modellenmiştir. Düzgün oluşmayan sınırlar için tekrar RANSAC algoritması kullanılmış ve sınırlar keskinleştirilmiştir.

Karakaş (2018) yaptığı çalışmada; otomatik bina sınırı çıkarımı için ortofoto ve LİDAR nokta bulutu verisinden yararlanmıştır. LİDAR verisinden gürültüler giderilmiş, yer ve yer üstü noktalar ayrılmış, SAM, SYM, nSYM bantları oluşturulmuştur. Mevcut ortofoto verisi kızılötesi bant içermediğinden yeşil ve mavi bantların kullanıldığı visible atmospherically resistant index (VARI) eşitliği kullanılmıştır. nSYM verisi ve VDVI eşitliği ile bitki alanları elimine edilmiş ve çeşitli morfolojik iyileştirmeler yapılarak bina alanları elde edilmiştir. Bina alanları bulunduktan sonra ortofotodan kenarlar DoG (Difference of Gaussian) filtresi ile çıkarılmıştır. Bina çizgileri Hough dönüşümü ile çıkarılmış ve geliştirilen algısal gruplama kuralları ile bu çizgi segmentlerinden bina sınırları çatılmıştır. Tohum bölge büyütme segmentasyonu kullanılarak binalar belirlenmiştir. Uygulanan nesne tabanlı doğruluk analizi sonuçları ile bina belirleme bütünlüğü %84 bina belirleme doğruluğu %100 olarak hesaplanmıştır.

## **2.2. Fotovoltaik (PV) Potansiyel Tahmini**

Jochem vd., (2009) yaptıkları çalışmada; LİDAR nokta bulutu verisi ve DTM (sayısal yükseklik modeli) kullanarak güneş potansiyeli değerlendirmesi yapmak için otomatik çatı düzlemi algılayan bir çalışma geliştirmişlerdir. Bina çatılarını nokta bulutundan ayırmak için yükseklik eşiği belirlemiş ve homojen alanlara bölünmüştür. Aynı düzlemsel bölgeye ait noktalar benzer normal vektöre sahip olduğu için noktaların normali alınarak çatı düzlemleri bulunmuştur. Segmentasyon işlemi için pürüzlülük değerleri incelenerek, tanımlanmış eşiğin altındaki noktalar bölge büyütme algoritması için potansiyel noktalar kabul edilmiştir. Çıkarılan bina çatıları nesne tabanlı bir doğruluk analiziyle değerlendirilmiş ve %88,4 doğruluk ile bina çatıları çıkarılmıştır. Tespit edilen her çatı düzlemi noktası için güneş potansiyel analizi yapılmıştır. Her çatı düzlemi için eğim, yön ve açı parametreleri hesaplanmıştır. Bu işlemler uygulanırken güneşin gölgeleme etkileri ve bulut etkileri dikkate alınmıştır. Sunulan yöntemle 3B nokta bulutu

kullanılarak her çatı düzlemi için doğrudan ve yayılmış radyasyonun yıllık toplamı üretilmiştir.

Höfle vd., (2009) yaptıkları çalışmada; LİDAR verileri kullanarak bina çatı düzlemlerini çıkarıp güneş potansiyel analizini incelemiştir. Bir aday bölge algılama algoritması kullanarak potansiyel bina alanları belirlenmiştir. Bunun için nokta bulutundaki her noktanın yüzey normali bulunmuş ve kontrol için yüzey pürüzlülüğü hesaplanmıştır. Belirlenen eşik değerinin altındaki noktalar potansiyel tohum noktaları kabul edilmiştir. Aday bölgelerin komşuluk ilişkileri göz önüne alınarak üç boyutlu çatı düzlemleri çıkarılmıştır. Her çatı düzlemi için açı ve eğim hesabı yapılmıştır. Çatı düzlemleri için hesap yapılırken binaların etrafındaki canlı ve cansız nesnelerin yarattığı gölgeleme etkileri dikkate alınmıştır. Bitki örtüsünün yansıma oranı farklılığı dikkate alınarak normalize edilmiş sayısal yüzey modeli (nSYM) kullanılmıştır. Böylece her bölüm için şeffaf gölge değerleri bulunmuştur. Güneş potansiyel analiz değerlendirmesi için çatı düzlemlerindeki eğim ve görünüşün tüm noktalarda eşit olmasına dayanarak gürültü giderilmiştir. Güneş radyasyon hesabı gün doğumundan batımına kadar yılın her günü her saati için hesaplanmıştır. Nokta gölgeli alan içindeyse doğrudan radyasyon karşılık gelen şeffaflık değeriyle çarpılmış, böylece her bir noktanın yıllık küresel güneş radyasyonu hesaplanmıştır.

Melius vd., (2013) yaptıkları çalışmada; PV çatı üstü uygunluğunu tahmin etme yöntemlerini Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'na (NREL - National Renewable Energy Laboratory) göre sabit değer yöntemi, manuel seçim yöntemi ve CBS tabanlı yöntemler olarak üçe ayırmıştır. Sabit değer yöntemi hızlı ve hesaplanması kolay bir yöntem olmakla birlikte sonuca ulaşırken çatı özelliklerini dikkate almamaktadır. Manuel seçim yöntemi belirli bir bölgeye ve ayrıntılara özgüdür ancak manuel olarak işlem yapıldığından vakit almaktadır. CBS tabanlı yöntemler ise ayrıntılara özgüdür ve birden fazla bölgede otomatik olarak tekrarlanabilmektedir.

Li vd., (2015) yaptıkları çalışmada; LİDAR verilerini kullanarak San Francisco şehrindeki binaları çıkararak fotovoltaik enerji potansiyelini tahmin eden bir yaklaşım

sunmuşlardır. Bu yaklaşımla LİDAR verisinden SYM ve SAM oluşturulmuş, nesne tabanlı sınıflandırma uygulanarak bina verisi vektörel olarak çıkarılmıştır. Bunun için ilk olarak çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi kullanılmıştır. Oluşan yapı segmentleri birleştirilerek binalar oluşturulmuştur. Çıkarılan binaların coğrafi PV potansiyelini hesaplamak için GRASS yerleşik güneş ışınlama modeli (r.sun) kullanılmıştır. Bina yüksekliği, eğim, bulanıklık faktörleri girdi olarak kullanılmıştır. Elde edilen PV potansiyel tahmin sonuçları 3 boyutlu model üzerinde gösterilmiştir. PV tahmin sonuçları aylık ve yıllık olarak incelenmiş, en yüksek verimin Temmuz ayında olduğu belirlenmiştir. Çalışmadaki belirsizlikler çoğunlukla çalışma alanı dışında kalan sınırdaki bulunan bina gölgelerinin çalışma alanındaki binalara etkisinden ve oluşturulan bina ayak izinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışma da sadece açık gökyüzü koşullarında yatay yüzeydeki güneş radyasyonu coğrafi PV potansiyelini ölçmek için tasarlanmıştır.

Yeşilmaden (2017) yaptığı çalışmada; belirlediği yöntemle PV kurulumu için çatıda bulunan en uygun alanları Çok Kriterli Karar Verme yöntemi (ÇKKV) kullanarak belirlemiştir. Bunun için nokta bulutu verisinden ve ortofoto üzerinden sayısallaştırılmış coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanmıştır. Veri olarak nokta bulutundan oluşturulmuş SYM verisi ve ortofotodan sayısallaştırılmış bina çatı taslağı vektör veri olarak kullanılmıştır. PV uygunluğu için çatı boyutu, eğimi, yönü ve güneş radyasyon parametrelerini kullanmıştır. Ağırlıklı çakıştırma yöntemi kullanarak her bir parametrenin sonuca etkisini belirleyerek tek bir veri elde etmiştir. Yüksek oranda uygun çıkan fotovoltaik panel kurulum alanlarının toplam uygun alanların %25'ini oluşturduğunu belirlemiştir.

Palmer vd., (2018) yaptıkları çalışmada; LİDAR verileri, Google Earth görüntüleri ve bina vektörel verisi kullanılarak CBS araçları ve yardımıyla eğim ve açığa dayalı bir yaklaşım geliştirmiştir. Belirtilen yöntem kullanılarak fotovoltaik panel kurulumu için minimum uygun alanların bulunabilirliğine bakılmıştır. Bunun için bir çatı haritası üretilmiş ve eğim, yön değerlerinden yola çıkarak gridleri gruplandırılmıştır. Yöntemde 15°–60° eğim aralığı PV kurulumu için uygun kabul edilmiştir. Yöntemin doğruluğunu kanıtlamak için iki teknik kullanılmıştır. İlk olarak Wollaton Park'ta bulunan çatıları

Google Earth görüntüleri ile karşılaştırmıştır. İkinci olarak benzer bir çalışmada kullanılan en büyük kurulum veri tabanı ile oluşturulmuş uygun çatılarla kıyaslanmıştır.

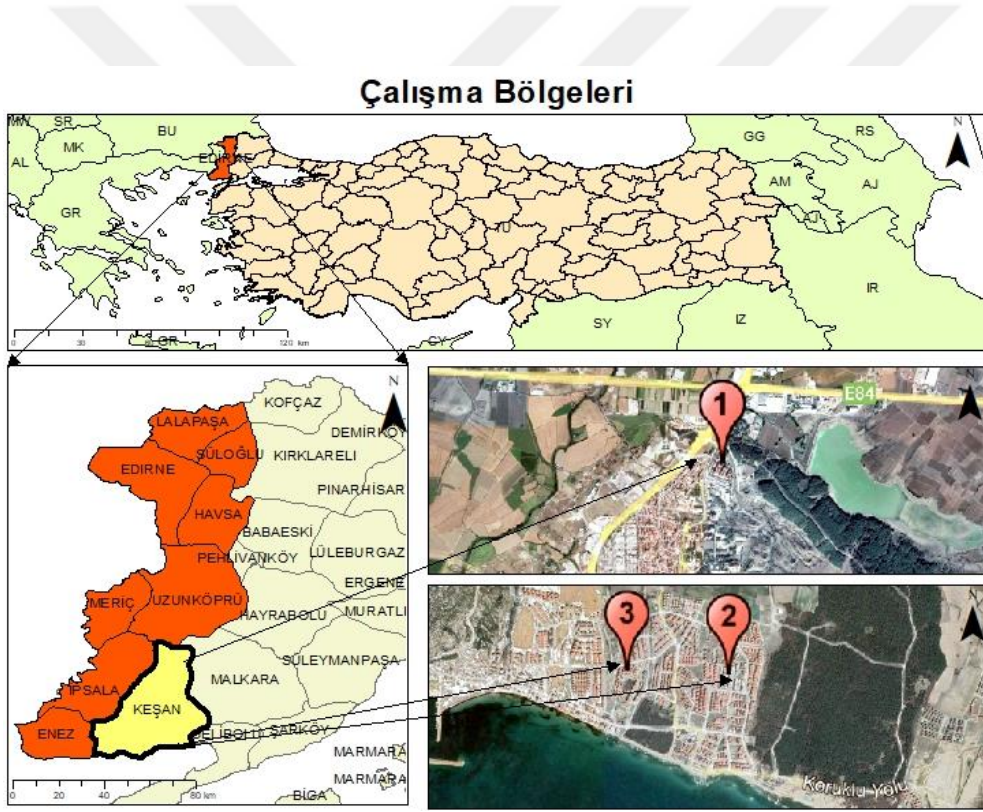
Song vd., (2018) yaptıkları çalışmada; uzaktan algılama görüntülerinden çatı özelliklerinin çıkarımına dayalı, çatılarda aylık ve yıllık güneş PV potansiyelini tahmin eden bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada SYM verisi ile uzaktan algılama görüntüleri kullanılarak çatı üstü özellikler çıkarılmıştır. Bunun için ilk olarak nesne tabanlı sınıflandırma kullanılarak iki boyutlu çatı ana hattı çıkarılmıştır. Segmentasyon işleminden sonra Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) kullanılarak bitkiler ve binalar birbirinden ayrılmıştır. Bina şekillerinin düzeltilmesi için Hough dönüşümü kullanılmış, Sayısal Yüzey Modeli (SYM) verisinden eğim ve yön bilgileri alınarak çatı özellik parametreleri (çatı tipi, çatı eğimi, çatı alanı) alınmıştır. PV potansiyelini değerlendirebilmek için çatılar özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Mevcut çatı, kurulum eğim açısı, kurulum yönü ve çatı alanı hesaplanarak fotovoltaik güneş enerji potansiyeli hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, bu çalışma tarafından önerilen yöntemin belirli çatıların PV güç üretimini etkili bir şekilde tahmin edebildiğini ve güneş enerjisi potansiyel değerlendirmesi için etkili olduğu gösterilmiştir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Çalışma Bölgeleri

Belirlenen uygulama için 3 adet çalışma bölgesi belirlenmiştir. Uygulama alanlarının seçiminde farklı sayıda konut içeren, farklı çatı tiplerine sahip, farklı büyüklükte, eğimde ve bakıda çatılar bulunmasına, binaların farklı enerji ihtiyacına ve performansına sahip olmasına dikkat edilmiştir. Belirlenen çalışma bölgeleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma bölgeleri

### 3.1.1. Çalışma Bölgesi 1

Çalışma bölgesi 1’de; genel olarak yüksek katlı konut amaçlı binalar ve alçak katlı diğer amaçlı binalar mevcuttur, çatı tipi olarak kırma çatı ve beşik çatı daha baskındır. Çalışma bölgesi 1 için hava fotoğrafları Phantom 3 Professional marka drone (insansız hava aracı) kullanılarak 70 m uçuş yüksekliğinde double grid yapılarak elde edilmiştir. Görüntü alımında yer örneklem aralığı (GSD) 3.07 cm olarak gerçekleşmiştir. Bindirme oranı % 60 kullanılarak 228 resim görüntü elde edilmiştir. Çalışma bölgesindeki ortalama bina yüksekliği 15 m, maksimum bina yüksekliği 16 m, minimum bina yüksekliği 6 m’dir. Çalışma bölgesi 1’in büyüklüğü 80.165 m<sup>2</sup>’dir. Çalışma bölgesi 1 için oluşturulan ortofoto görüntüsü Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışma bölgesi 1 ortofoto



### 3.1.2. Çalışma Bölgesi 2

Çalışma bölgesi 2’de; genel olarak alçak katlı konut amaçlı müstakil binalar ve bitki örtüsü alanları bulunur, çatı tipi olarak beşik çatı daha baskındır. Çalışma bölgesi 2 için hava fotoğrafları DJI mavic mini marka drone (insansız hava aracı) kullanılarak 20 m uçuş yüksekliğinde double grid yapılarak elde edilmiştir. Görüntü alımında yer örnekleme aralığı (GSD) 3.5 mm olarak gerçekleştirilmiştir. Bindirme oranı % 60 kullanılarak 704 resim görüntü elde edilmiştir. Çalışma bölgesindeki ortalama bina yüksekliği 10 m’dir. Çalışma bölgesi 2’nin büyüklüğü 8767 m<sup>2</sup>’dir. Çalışma bölgesi 2 için oluşturulan ortofoto görüntüsü Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışma bölgesi 2 ortofoto

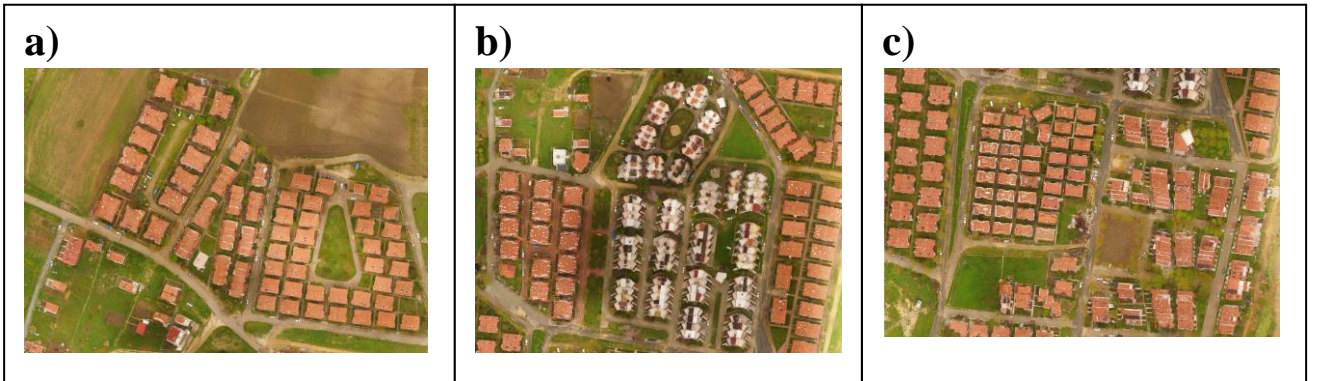
### 3.1.3. Çalışma Bölgesi 3

Çalışma bölgesi 3; daha alçak katlı binalara ve bitki örtüsü alanlarına sahiptir, çatı tipi olarak düz çatı, üçgen çatı, kırma çatı ve beşik çatı barınmaktadır. Çalışma bölgesi 3 için hava fotoğrafları Phantom 3 Professional marka drone (insansız hava aracı) kullanılarak 75 m uçuş yüksekliğinde double grid yapılarak elde edilmiştir. Yer örnekleme aralığı ve bindirme oranı çalışma bölgesi 1 için gerçekleştirilen uçuşla aynı seçilmiş ve 208 görüntü elde edilmiştir. Çalışma bölgesindeki ortalama bina yüksekliği 10 m, maksimum bina yüksekliği 14 m, minimum bina yüksekliği 7 m’dir. Çalışma bölgesi 3’ün büyüklüğü

237.364 m<sup>2</sup> olduğu için verilerin işleme süresini kısaltmak amacıyla Şekil 4'te verildiği üzere alt bölgelere (a, b, c) ayrılmıştır (Şekil 5).



Şekil 4. Çalışma bölgesi 3



Şekil 5. Çalışma bölgesi alt bölgeleri (a, b, c)



### 3.2. Yazılım ve Donanım Özellikleri

Çalışmada verilerin hazırlanması ve işlenmesi için Agisoft Metashape yazılımının 1.7.4 sürümü kullanılmıştır. Sınıflandırma için Ecognition Developer 9 yazılımı kullanılmıştır. Fotovoltaik (PV) sistem uygunluğu için veriler ArcMap 10.8.1 yazılımında işlenmiştir. Donanım olarak Lenovo marka 700-15ISK dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayara ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1

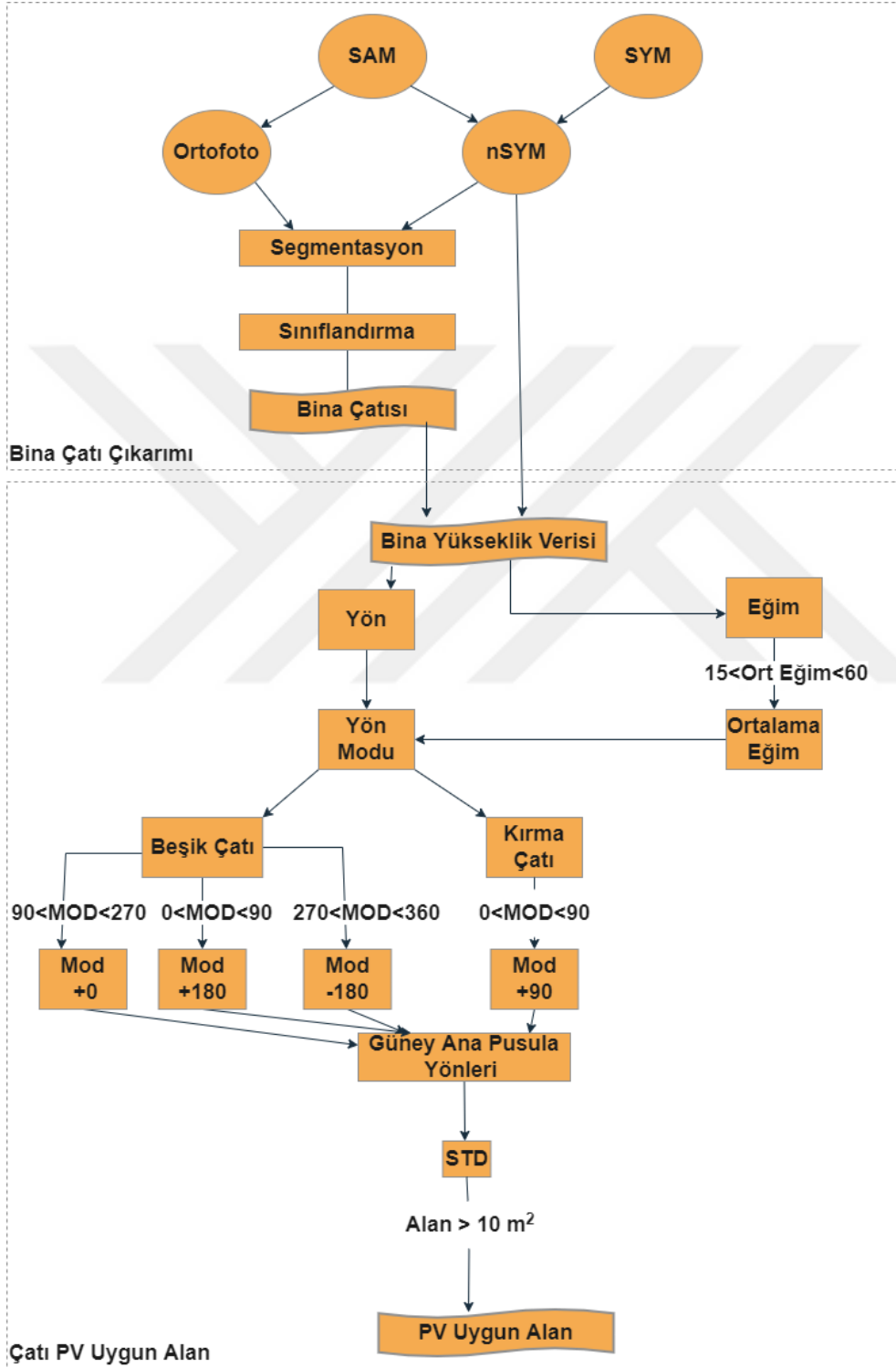
Kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri

İşletim Sistemi	İşlemci	RAM	Grafik Kartı	Depolama
Windows 10 (64 bit)	Intel ® Core™ i7-6700HQCPU @2.60 GHz	16 GB	1Xgtx950M	SSD

### 3.3. Yöntem

Yöntem, PV uygulaması için çalışma bölgesindeki çatıların mevcut ve kurulum için uygun alanlarını tahmin etmektedir. Bu analizde çatıların güneş enerji paneli uygunluğu için çatının eğimi, yönü ve alanı yöntemi etkileyen temel parametrelerdir. Yöntem için ilk olarak Agisoft Metashape 1.7.4 yazılımında İHA görüntüleri işlenmiş ve ortofoto, SYM, SAM verileri oluşturulmuştur. Arcmap 10.8.1 yazılımında raster calculator yardımıyla SYM görüntüsünden SAM görüntüsü çıkarılarak nSYM verisi elde edilmiştir. Daha sonra sınıflandırma aşaması için ilk olarak segmentasyon adımı uygulanmıştır. Segmentasyon aşamasında nSYM verisi var olan bantlara ek bant olarak kullanılmıştır. Böylece uygulanan sınıflandırma işleminde binaların insan yapımı olan ve olmayan objelerden ayrımı gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma sonucu oluşan veri vektör formatında dışarı aktarılmıştır. Elde edilen vektör veri yardımıyla nSYM verisi kırılmış sadece binaların yükseklik verisi kalmıştır. Eğim ve bakı haritası oluşturularak yapılan sorgulamalar sonucunda PV uygun alanları bulunmuştur. PV uygun alan için modül boyutu 2 m<sup>2</sup> olarak belirlenmiş ve NREL (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı) yöntemine göre belirlenen

en az 10 m<sup>2</sup> kurulum alan şartı kabul edilmiştir. Oluşturulan yöntemin iş akış diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. İş akış diyagramı

### 3.3.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri

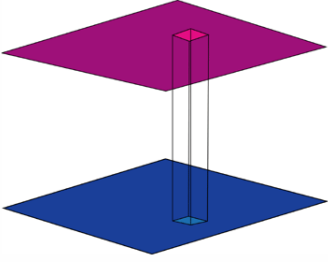
CBS; belirli bir amaç için konumsal verilerin toplanması, depolanması, sorgulanması ve görüntülenmesini yerine getiren bir bilgi sistemidir. CBS karmaşık konum bilgilerinin etkin bir şekilde denetlenebildiği bir yönetim tarzı ve coğrafi verilerin daha verimli kullanılmasına olanak sağlayan bir sistemdir (Burrough, 1986).

Coğrafi bilgi sistemleri bir coğrafi varlığın konumunu, şeklini, büyüklüğü ve özelliklerini ve diğer varlıklarla ilişkilerini bir bütün olarak inceleyebilmemize imkan verdiği için öncelikli bir bilgi sistemidir. Konuma bağlı analiz türleri; konumsal sorgulamalar, konumsal analizler, ağ analizleri, geometrik işlemler, sayısal yükseklik analizleri, grid analizleri, istatistiksel analizlerdir.

Grid, coğrafi veri setlerinin vektörel gösterimine bağlı raster tabanlı katmandır. Grid yapı içinde en küçük birim hücre (piksel) olarak adlandırılır. Hücre coğrafi bir detayı kısmen veya tamamen temsil eder. Hücrelerin bitişik ve aynı boyutta olması sürekliliği sağlar. Farklı katmanlardaki farklı birim değerlere sahip hücreler karşılaştırılarak her bir hücreye isabet eden birim değer hesaplanabilir. Farklı katmanlarındaki raster hücrelerin arasında her türlü matematiksel işlem (Log, Sin, Cos, Sqrt, and, or, not vb.) uygulanabilir. Uygulamalarda Lokal Fonksiyonlar, Merkezi Fonksiyonlar, Bölgesel Fonksiyonlar ve Global Fonksiyonlar olarak dört temel grid işlemi uygulanır (Yomralıoğlu, 2015).

#### a) Lokal Fonksiyonlar

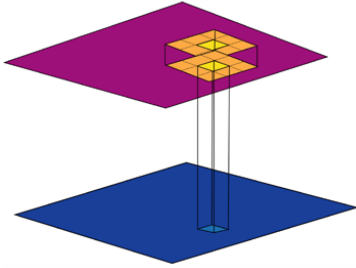
Tek bir hücre bazında gerçekleşen ve komşu hücrelerin etkilenmediği uygulamalardır. Lokal fonksiyonun girdi ve çıktı görüntüsü Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Lokal fonksiyonun girdi ve çıktı görüntüsü

### b) Merkezi (focal) Fonksiyonlar

Hücre değeri merkez olarak kabul edilir ve komşu hücreleri dikkate alınarak merkezi hücreye değer atanır. Komşu hücre dağılımının şekli dikdörtgen veya daire olabilir. Temel istatistik fonksiyonları (ortalama, standart sapma, maksimum değer, minimum değer vb.) hesaplanabilir. Merkezi fonksiyonun girdi ve çıktı görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir.

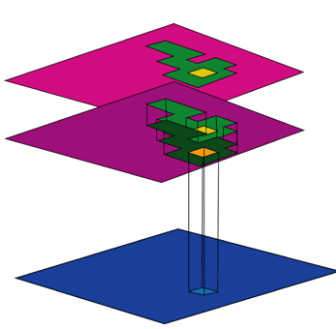


Şekil 8. Focal fonksiyonun girdi ve çıktı görüntüsü

### c) Bölgesel Zonal Fonksiyonlar

Aynı özelliğe sahip bölgesel hücrelerin, aynı değerlere sahip hücrelerle çakıştırılmasıyla oluşturulur. İki kategori şeklinde girdi verisi uygulanır. Aynı özelliğe

sahip hücrelerin konum dağılımını gösteren bölge gridi ve yeni çıktı verisine uygulanacak değerleri taşıyan değer gridi olarak ayrılır. Temel istatistik fonksiyonları hesaplanabilir.



Şekil 9. Zonal fonksiyon ikili girdi verisi ve çıktı görüntüsü

#### d) Global Fonksiyonlar

Oluşacak hücre değeri tüm grid katmanının fonksiyonu şeklinde olur. İki ana grubu vardır; Öklid mesafesi ve ağırlıklı mesafe.

CBS’de veri toplama işlemi zaman ve maliyet olarak yorucu süreçlerdir. Veri toplama işlemi değişik veri kaynaklarından farklı uygulamalarla gerçekleştirilebilir. Konumsal olarak en çok kullanılan veri toplama çeşitleri;

- Yersel ölçme yöntemleri
- Fotogrametrik yöntem
- Uzaktan algılama tekniği
- GPS Tekniği
- Mevcut haritaların manuel sayısallaştırılması
- Otomatik sayısallaştırma
- Hazır veri tabanlarının transferi

olarak bilinir.

### 3.3.2. Fotogrametri

Fotogrametri; resimler üzerinden ölçüler ve bilgiler elde etme sanatıdır (Kocaman, 1988). Fotogrametrik ölçme ve değerlendirme sonucu objelerin koordinatları belirlenir, topoğrafik harita ve planlar yapılır, fotoğraflardan harita üretilir. Fotogrametrik olarak elde edilen veriler temas etmeksizin belirlenir.

Fotogrametrik değerlendirme aletleri plançete, analog, analitik ve dijital fotogrametrik olarak dört gruba ayrılmıştır. Plançete fotogrametrisinde yersel ölçü aletleri ve kamera birlikte kullanılmıştır. Analog fotogrametri, analog kameralarla çekilen ve optik mekanik aletlerde değerlendirmelere devam edilen uygulamalardır. Analog görüntülerin kullanıldığı ve bilgisayar destekli optik mekanik aletler yardımıyla çoğu değerlendirmenin bilgisayar ortamında elde edildiği çeşidine analitik fotogrametri denir. Analog görüntülerin yerini dijital fotoğraflara bıraktığı bütün ölçme işlemlerinin bilgisayar ortamında dijital olarak gerçekleşmesine dijital fotogrametri denilmektedir (Krause, 2004).

### Ortofoto

Ortofoto farklı optik sensörler yardımıyla elde edilmiş görüntülerin kamera eğiklik, dönüklük ve arazi yükseklik farklarından kaynaklanan hatalarının giderilmesi fotogrametrik işlemleri sonucunda elde edilen düzeltilmiş görüntülerdir. Ortofoto üretimi için görüntüler yöneltilir, sayısal arazi modeli ile yeniden değerlendirilir ve mozaiklenerek sonuca varılır (Barazzetti vd., 2014). Ortofoto haritalar, çizgisel ya da grafik haritalara kıyasla arazi üzerindeki bütün bilgileri içerir. Ortofoto haritalar, görüntünün yükseklik farkından ve eğikliğinden kaynaklanan hataların giderildiği ölçeğin her noktada sabit olduğu haritalardır (Kraus, 2007).

### 3.3.3. SYM, SAM, nSYM Oluşturma

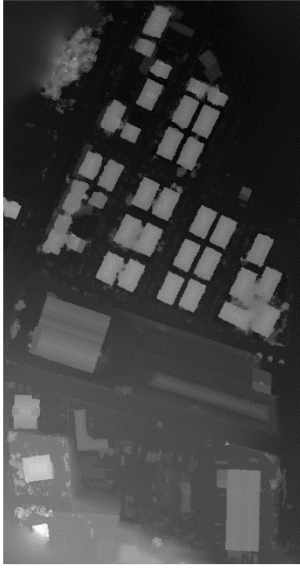

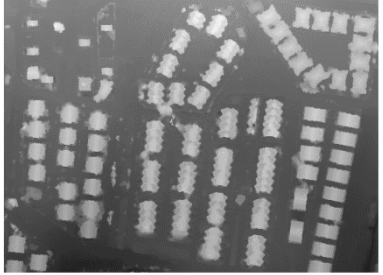
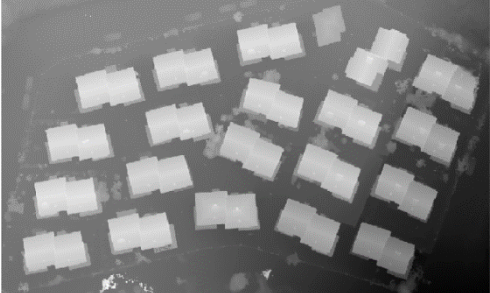
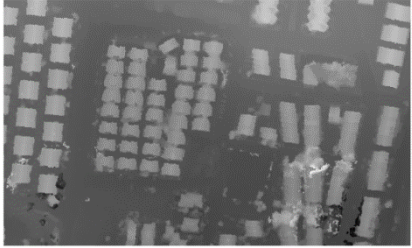
Fotogrametrinin temel fonksiyonlarından biri Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) retilmesidir. X, Y, Z koordinatları bilinen birden çok noktayla yüzeyin temsil edilmesine denir (El-Sheimy vd., 2005). Sayısal yükseklik modelleri içinde barındırdıkları yzeyelele göre farklı isimlerde adlandırılırlar. SYM, arazi yüzeyi, bitki örtüsü, insan yapımı objeleri barındıran bir model iken Sayısal Arazi Modeli (SAM) sadece arazi yüzeyini temsil eden matematiksel bir modeldir. Konum ve yükseklik verilerinden elde edilen SYM verisinden SAM çıkarılmasıyla normalize edilmiş sayısal yüzey modeli (nSYM) verisi oluşmuştur. nSYM verisi sadece bitki örtüsü ve insan yapımı objeleri barındıran matematiksel bir yüzeydir. Böylece nSYM verisi SYM verisine göre daha kontrast ve belirgindir (Chen vd., 2022).



şekil 10. SAM ve SYM gösterimi

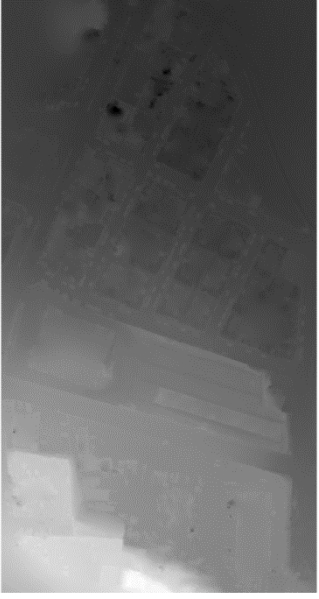


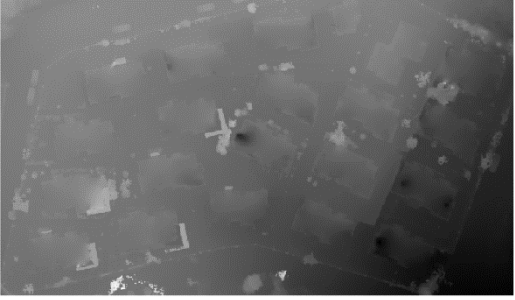

(Kaynak: San, 2009)

alışma bölgeleri iin retilen SYM, SAM, nSYM verileri sırasıyla aşağıda şekil 11 , şekil 12 ve şekil 13'te verilmektedir.

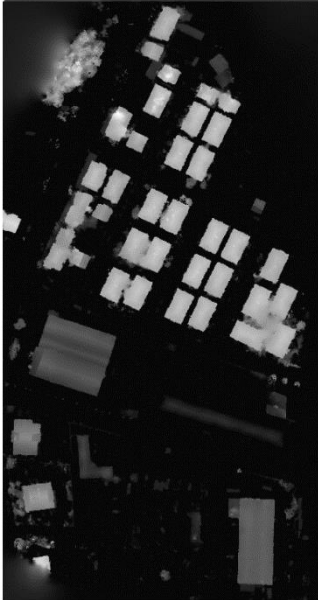
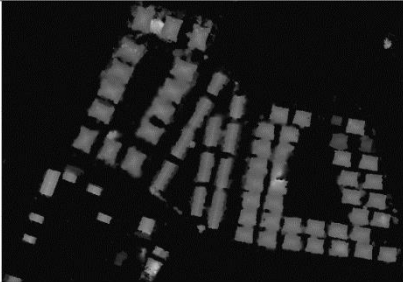
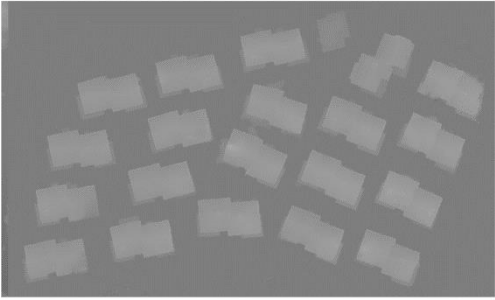
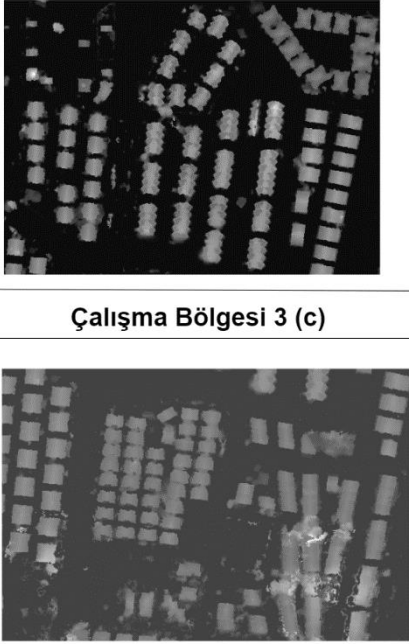
<b>Çalışma Bölgesi 1</b>	<b>Çalışma Bölgesi 3 (a)</b>
	
	<b>Çalışma Bölgesi 3 (b)</b>
	
<b>Çalışma Bölgesi 2</b>	<b>Çalışma Bölgesi 3 (c)</b>
	

Şekil 11. Çalışma bölgeleri SYM verileri



<b>Çalışma Bölgesi 1</b>	<b>Çalışma Bölgesi 3 (a)</b>
	
	<b>Çalışma Bölgesi 3 (b)</b>
	
<b>Çalışma Bölgesi 2</b>	<b>Çalışma Bölgesi 3 (c)</b>
	

Şekil 12. Çalışma bölgeleri SAM verileri

<p style="text-align: center;"><b>Çalışma Bölgesi 1</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Çalışma Bölgesi 3 (a)</b></p> 
	<p style="text-align: center;"><b>Çalışma Bölgesi 3 (b)</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Çalışma Bölgesi 2</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Çalışma Bölgesi 3 (c)</b></p> 

Şekil 13. Çalışma bölgeleri nSYM verileri

### 3.3.4. Sınıflandırma

Sınıflandırma işleminin temel amacı görüntüden bilgi çıkarımı yapabilmektir. Dijital görüntüler farklı spektral yansıma değerlerine sahiptir. Bu farklılıklardan faydalanarak aynı spektral özelliği taşıyan benzer objelerin belirli bir kural içinde gruplandırılmasıdır (Ridd vd., 2006). Sınıflandırma piksel tabanlı sınıflandırma ve nesne tabanlı sınıflandırma olarak ikiye ayrılır. Görüntüde bulunan temel yapı piksellerdir ancak sonuç verinin gerçek dünya nesneleriyle bağlantılı olması nedeniyle nesne tabanlı sınıflandırma avantajlı hale gelmiştir. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi insanın görüntü işlemesi kopya edilerek oluşturulmuş doğal bir yöntemdir (Navulur, 2007).

Bu tez çalışmasında sonuç verisi bina çatı şekilleri olduğu için nesne tabanlı sınıflandırmadan yararlanılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma için ilk olarak çalışma bölgesinde anlamlı bölgeler oluşturulmalıdır bu aşamaya segmentasyon aşaması denir. Segmentasyon aşamasında ölçek çözünürlüğe ve sonuç görüntüde olması düşünülen detayların ölçeğine göre belirlenmelidir (Baatz, 2004).

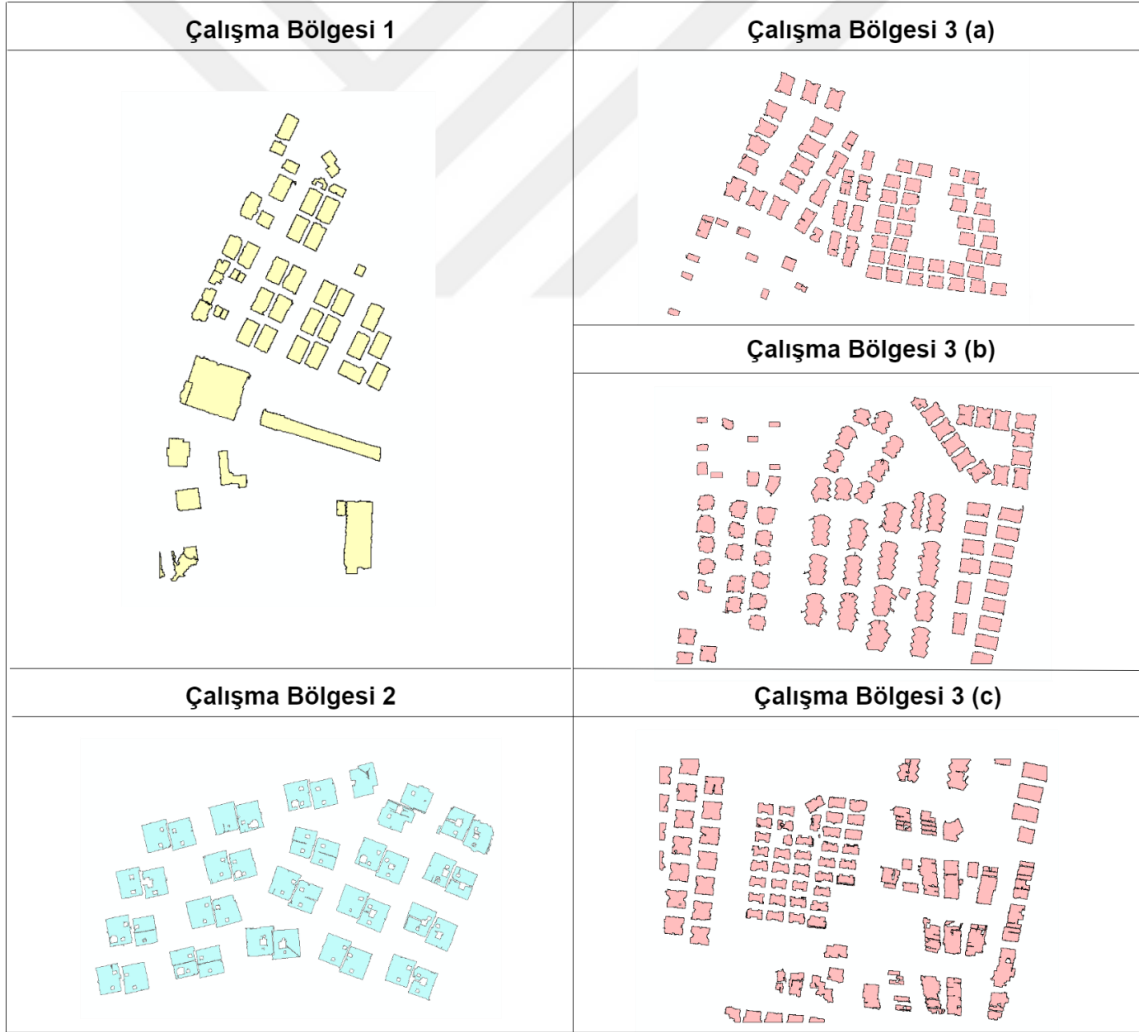
Segmentasyon aşamasında çoklu-çözünürlük (multi resolutions) segmentasyon algoritması kullanılmıştır. Çoklu çözünürlüklü segmentasyon nesnelere homojenliğini artıran bir optimizasyon işlemidir (Dorninger ve Pfeifer, 2008). Segmentasyon için ilk olarak görüntü nesnelere belirlenir, ikinci adım olarak görüntü nesnelere heterojenliği azaltılır (Baatz, 2000). Segmentasyon aşamasında ölçek, şekil, bütünlük parametreleri olmak üzere üç farklı parametre üzerinden işlem yapılır. Parametreler kullanılarak belirlenen segmentlere göre uygun fonksiyonlar kullanılarak sınıflandırma aşaması oluşturulmaktadır.

Çalışma bölgesinde çatı ana hatları çıkarımı için Ecognition Developer yazılımı yardımıyla nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırmanın ilk adımı olan segmentasyon aşaması için çoklu çözünürlüklü segmentasyon kullanılmıştır. Segmentasyon aşamasında nSYM verisi ek bant olarak eklenmiş ortofoto bantlarına 1, nSYM bandına 2 ağırlık katsayısı verilmiştir. Böylece sınıflandırmada bina çıkarımı kolaylaştırılmıştır. Segmentasyon aşamasında farklı parametreler denenmiş ve en uygun ölçek, şekil ve bütünlük parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler Tablo 2’de verilmektedir. Nesne tabanlı sınıflandırma sonucu binalarla ilgili düzeltmelerde ilk olarak bina çatısı ile bitki örtüsü ayrımı sağlanmış daha sonra çatı segmentlerine karışan yol, toprak alan, bina gibi segmentlerin ayrımı için kural setleri oluşturulmuştur. Katman değerleri için nSYM, parlaklık, standart sapma, maksimum fark kuralları ile eşikleme yapılmıştır. Geometrik olarak ise şekil indeksi ve alan değerlerine bakılarak eşik parametresi uygulanmıştır. Sınıflandırma sonucu oluşan bina çatı ana hatları bütün çalışma bölgeleri için vektör veri olarak dışarı aktarılmış ve Şekil 14’te gösterilmiştir.

Tablo 2

Çalışma bölgeleri için uygulanan segmentasyon parametreleri

	Ölçek	Şekil	Bütünlük
Çalışma Bölgesi 1	200	0.5	0.5
Çalışma Bölgesi 2	100	0.1	0.5
Çalışma Bölgesi 3(a)	200	0.3	0.7
Çalışma Bölgesi 3(b)	200	0.3	0.7
Çalışma Bölgesi 3(c)	200	0.3	0.7

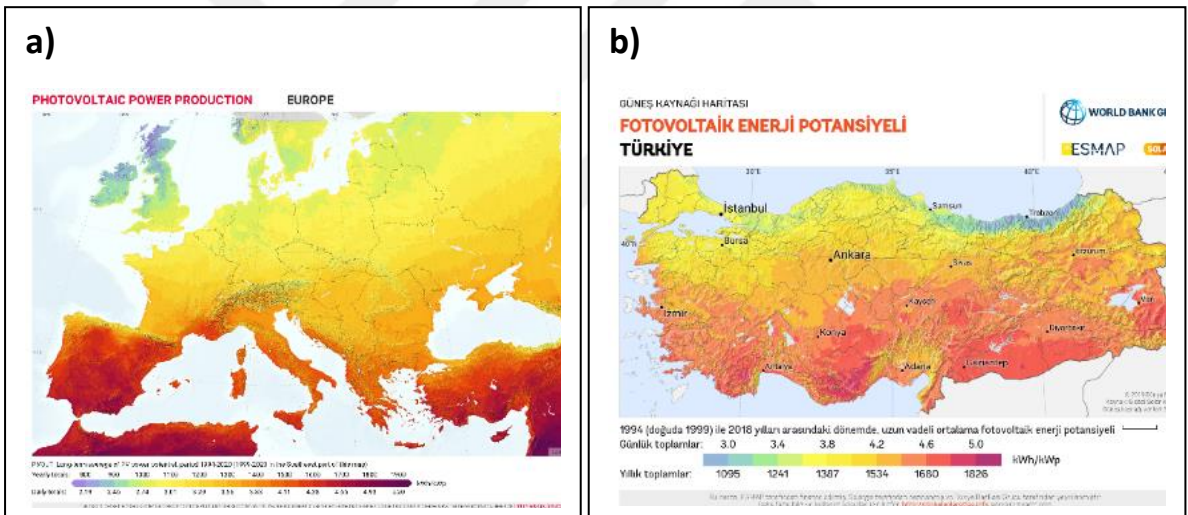


Şekil 14. Çalışma bölgelerindeki binalar

### 3.3.5. Güneş Enerjisi

Sürdürülebilir yaşam için yenilenebilir enerji kaynakları büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji doğal bir kaynaktan elde edilebilen ve kendi kendini yenileyebilen, tükenmeyen bir enerji kaynağıdır (Australian Renewable Energy Agency, 2022). Yenilenebilir enerji kaynaklarından yeryüzünde en yaygın bulunan enerji kaynağı güneştir.

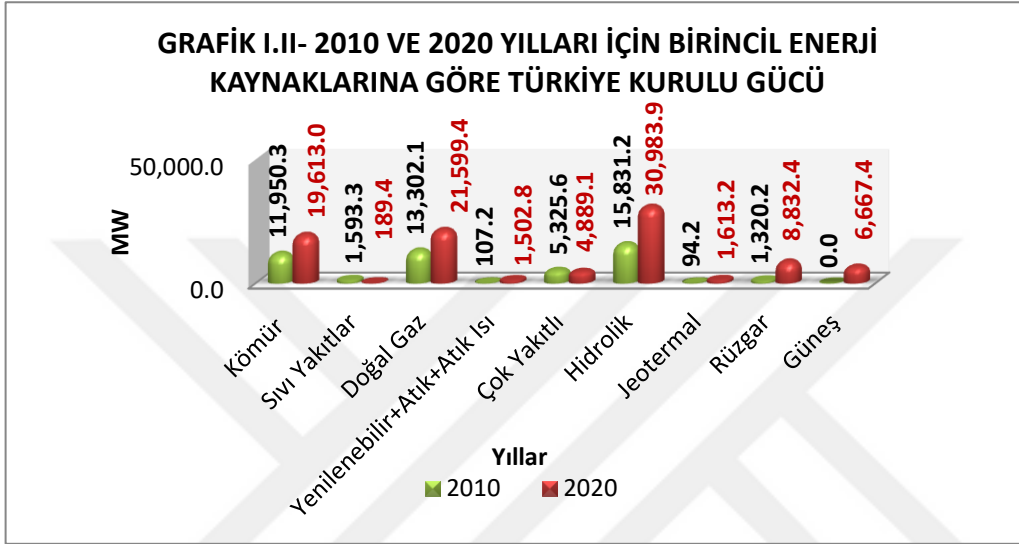
Güneş enerjisi; temiz ve yenilenebilir, enerji kaynağı olarak verimi yüksek, uzun vadede kullanıldığında ucuz olarak nitelendirilebilecek bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Cebeci, 2017). 2017 yılı itibariyle dünya güneş enerjisi santrali kurulu gücünün %43.7'si Avrupa'da bulunmaktadır (World Energy Council, 2018). Avrupa Bölgesinde fotovoltaik enerji potansiyeli en yüksek olan ülkelerden biri Türkiye'dir (Şekil 15. a, b).



Şekil 15. (a) Avrupa PV enerji potansiyeli, (b) Türkiye PV enerji potansiyeli

Güneş enerjisi genel anlamda elektrik üretimi ve ısı üretimi için kullanılır. Ülkemizde güneş enerjisi yoğunluk olarak sıcak su üretimi için kullanılmaktadır. Elektrik üretimi için ise genel anlamda en yoğun kömür ve doğalgaz kaynakları daha sonra barajlar ve hidroelektrik santraller kullanılmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). Türkiye'de güneş enerjisi santralleri devlet tarafından desteklenmeye başlamış, teşvikler sayesinde mevcut enerji santrallerinin gücü MW'lar seviyesine ulaşmıştır (Cebeci, 2017).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye’de bulunan ortalama 9.1 milyon adet binaya her yıl 100.000’den fazla yeni bina eklenmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). Sürekli artan bina potansiyeline karşı bina çatı PV gelişim hızı beklenenden düşüktür. 2010 ve 2020 yılları arasında güneş enerjisi potansiyelindeki artış sadece %6,95 olarak belirlenmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. 2010 ve 2020 Yılları İçin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye Kurulu Gücü

(Kaynak: Türkiye Elektrik Üretim İletim İstatistikleri, TEİAŞ, 2022)

### Fotovoltaik Paneller

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için fotovoltaik (PV) sistemler kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemler genel olarak akü, inverter, bataryalar ve şarj kontrol cihazından oluşur (Green Solar Network, 2022). Fotovoltaik (PV) ışık fotonundan elektrik üretimi anlamına gelir. Böylece sistem doğada var olan güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirerek kullanılabilir duruma getirir.

Güneş panelleri birden çok hücrenin bir araya gelmesiyle oluşur. Hücreler silisyumun üretim şekline göre monokristal veya polikristal olarak ayrılmaktadır. Tek bir silikon kristalinden oluşturulmuş hücrelere monokristal, birden çok silisyum maddesinin karışımından oluşmuş hücrelere polikristal hücre denir. Monokristal hücrelerin verimliliği polikristal hücrelere göre daha yüksektir (IRENA, 2012). Fotovoltaik paneller güneş ışığını

DC (doğru akım) elektrik enerjisi ürettiğinden çeviriciler yardımıyla AC (alternatif akım) güce çevirerek kullanılır duruma getirir (Cezim, 2013).

PV sistemler arazilere ve konutlara kurulabilmektedir. Nüfus artışı ile beraber şehirlerdeki alan sınırlılığı yüzünden paneller için en uygun alanlardan biri bina çatıları olarak öne çıkmaktadır. Fotovoltaik (PV) paneller, modüllerin yapısı nedeniyle binaların yüzeylerinde kullanılmak için de uygundur (Yeşilmeden, 2017).

Binalarda PV kurulumunun az olmasındaki sebeplerden biri de kurulum maliyetlerinin yüksek olması olduğundan maliyette düşüş yaşandığı zaman kurulumun artacağı düşünölmektedir (Frontini vd., 2013). Temiz enerjiye ulaşım için fotovoltaik sistemlerin kurulum maliyeti son yıllarda azalış göstermektedir. Son 10 yılda güneş fotovoltaik maliyetinin düşüşü %90 oranlarını bulmuştur (International Renewable Energy Agency, 2022). Maliyetlerin düşmesi kurulumu kolaylaştırmıştır. Bu yüzden PV kurulumu sürdürülebilir bir dünya için önemlidir.

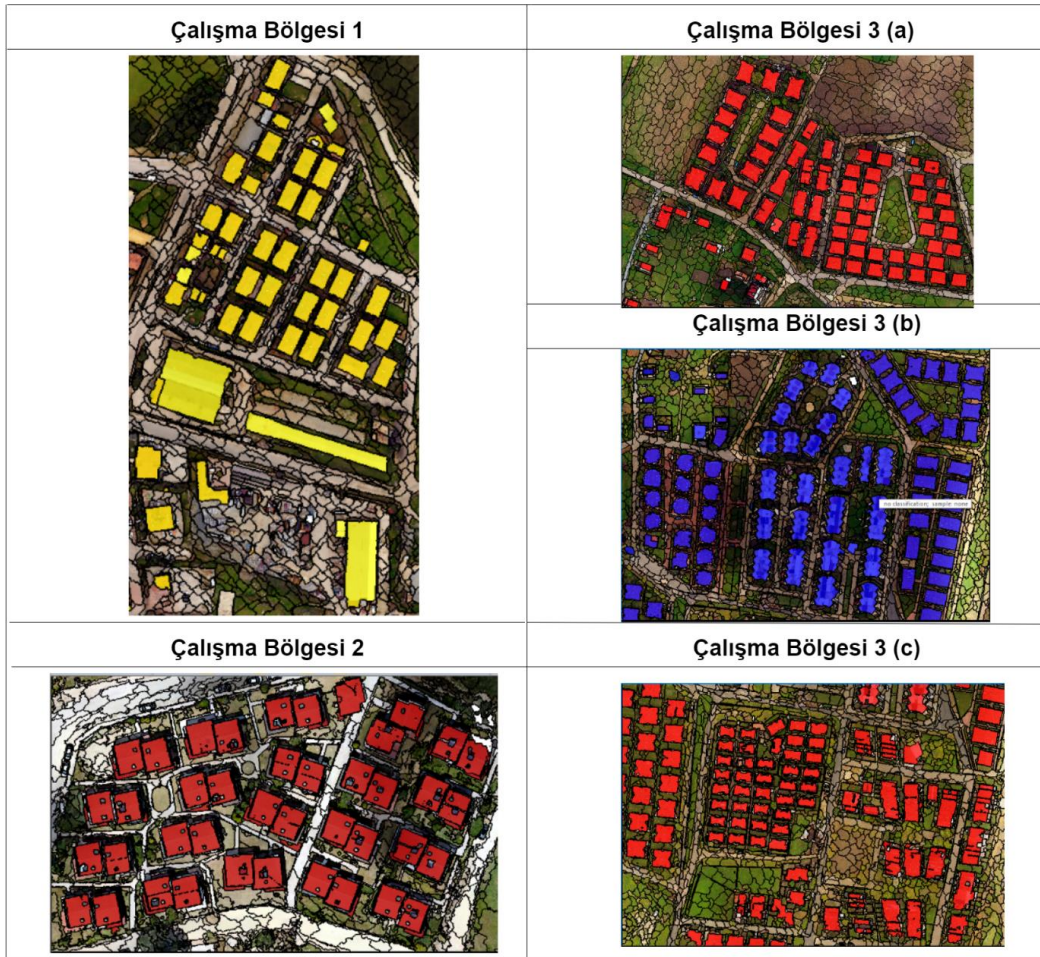


## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 4.1. Sınıflandırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma bölgesinde çatı ana hatları çıkarımı için Ecognition Developer yazılımı yardımıyla nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak görüntüler çoklu çözünürlüklü segmentasyon yardımıyla segmentlerine ayrılmış daha sonra birden fazla sınıf belirlenerek sınıflandırılmıştır. Elde edilen sınıflandırma sonuçlarından sadece bina çatılarının ayrılmış görüntüsü Şekil 17’de verilmektedir.



Şekil 17. Çalışma bölgeleri sınıflandırma sonuçları



Sınıflandırma sonuçları ile doğru olduğu varsayılmış verinin karşılaştırılması işlemine doğruluk analizi denir (Sabuncu ve Sunar, 2017). Çalışma bölgelerinde elde edilen sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizi için Ecognition Developer yazılımı kullanılmıştır. Bunun için seçilen eğitim alanları dışında her sınıf için en az 15 tane örnek segment olacak şekilde belirlenmiştir. Bu yöntemle belirlenen her sınıf için seçilen örnek eğitim alanları (segment) ile ortofotodaki sınıflandırmadan sonra elde ettiğimiz sonuç segmentlerin uyumu test edilmiştir. Doğruluk değerlendirilmesi için hata matrisi seçilmiş ve eğitim alanları için hata matrisleri hesaplanmıştır. Çalışma bölgeleri için oluşturulan hata matrisi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

Çalışma bölgeleri için genel doğruluk ve kappa katsayısı

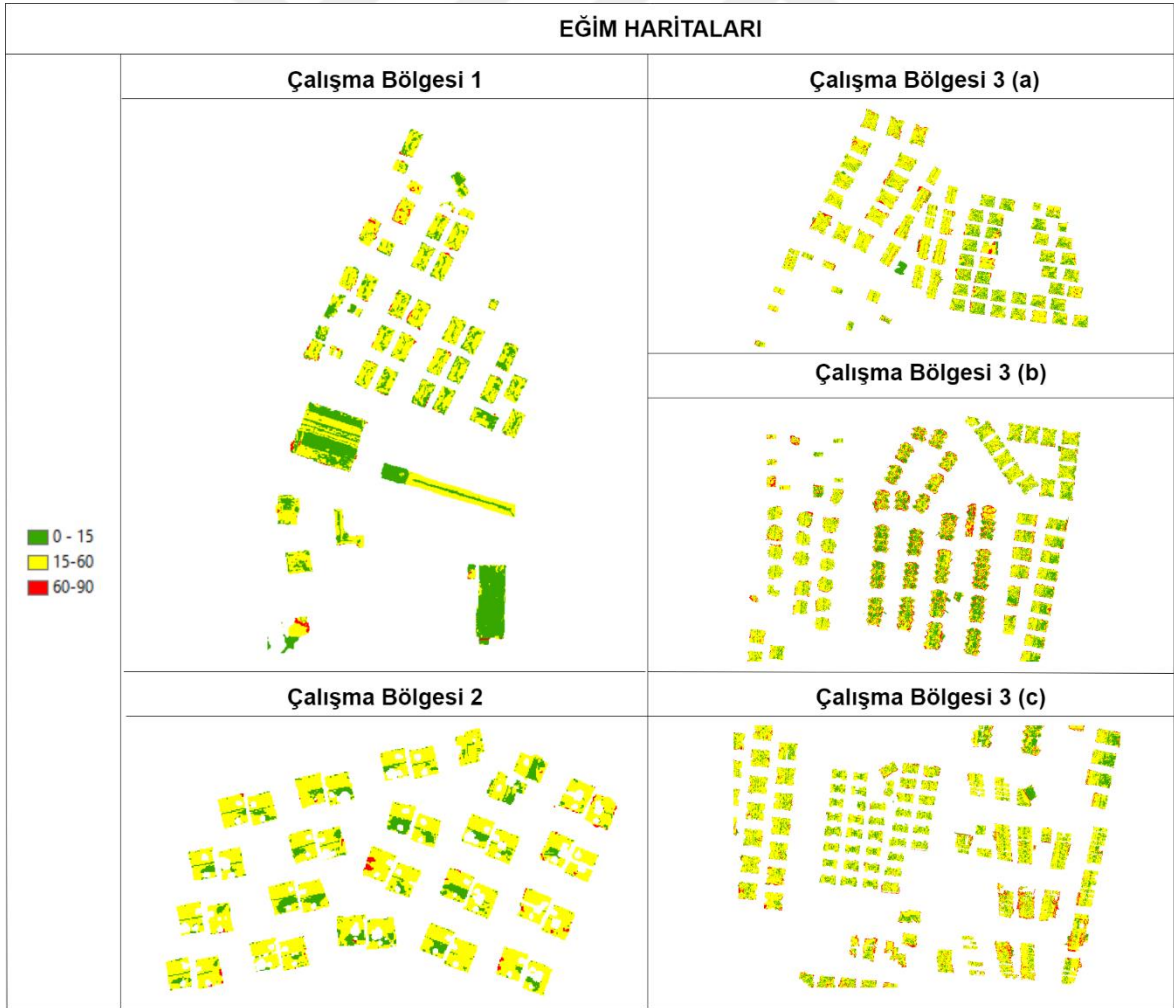
	<b>Genel Doğruluk (%)</b>	<b>Kappa</b>
<b>Çalışma Bölgesi 1</b>	0.89	0.86
<b>Çalışma Bölgesi 2</b>	0.93	0.91
<b>Çalışma Bölgesi 3(a)</b>	0.84	0.81
<b>Çalışma Bölgesi 3(b)</b>	0.83	0.80
<b>Çalışma Bölgesi 3(c)</b>	0.87	0.83

## 4.2. Fotovoltaik PV Uygun Alanı Bulma

Çalışma bölgelerinin fotovoltaik (PV) sistem uygunluğu için veriler ArcMap yazılımında işlenmiştir. Sınıflandırma sonucu elde edilen vektör veri kullanılarak oluşturulan normalleştirilmiş Sayısal Yükseklik Modeli (nSYM) sadece binalar kalacak şekilde kesilmiş böylece sadece binaların yükseklik verisi elde edilmiştir.

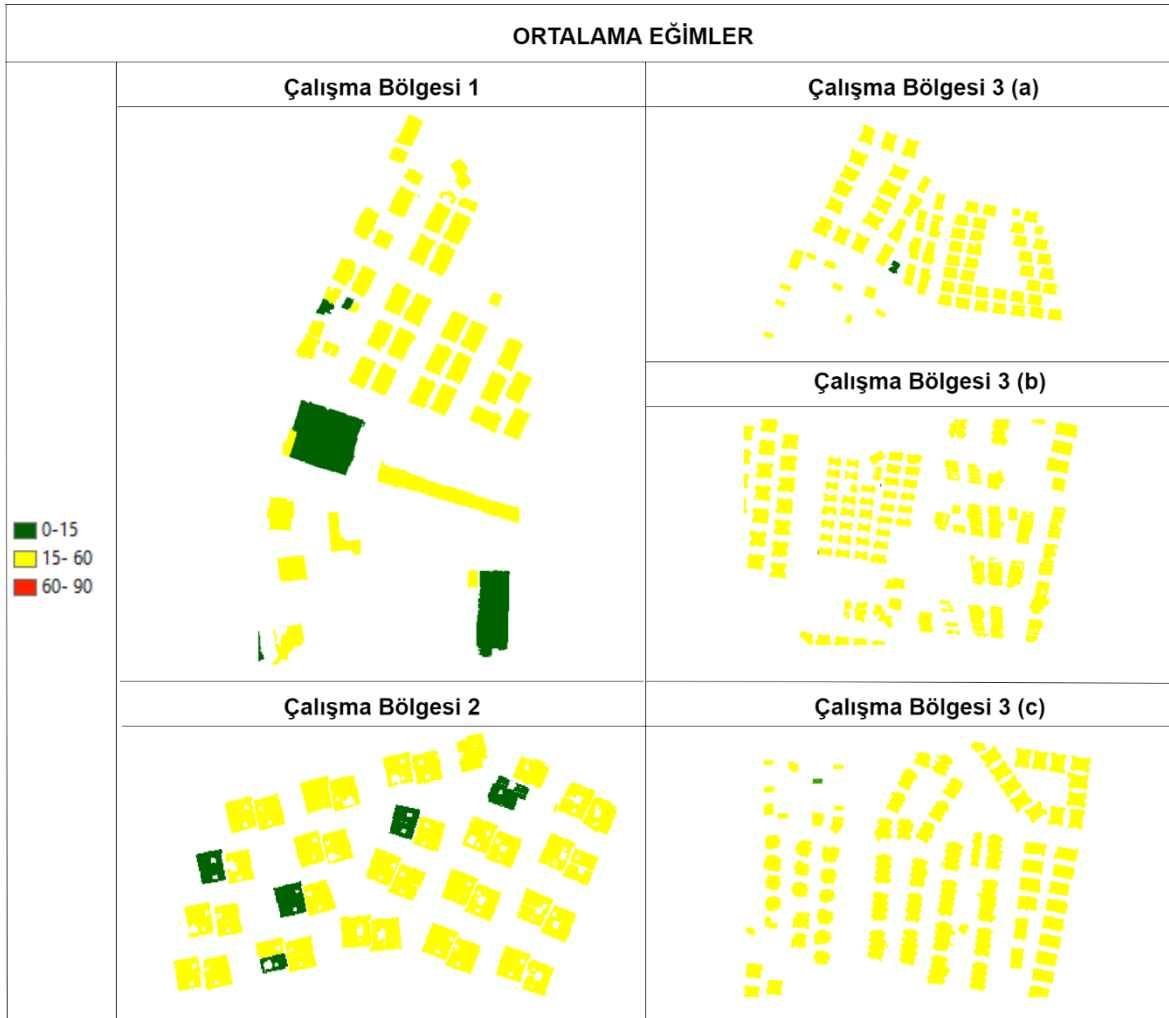
### 4.2.1. Eğim Haritası

Yöntem için ilk olarak elde ettiğimiz binaların yükseklik verisi üzerinden çatı piksellerinin eğimi hesaplanmıştır. Bunun için ArcMap yazılımında Slope aracı kullanılmıştır. Tüm bölgeler için oluşturulan eğim haritaları ve lejantları Şekil 18'de verilmektedir.

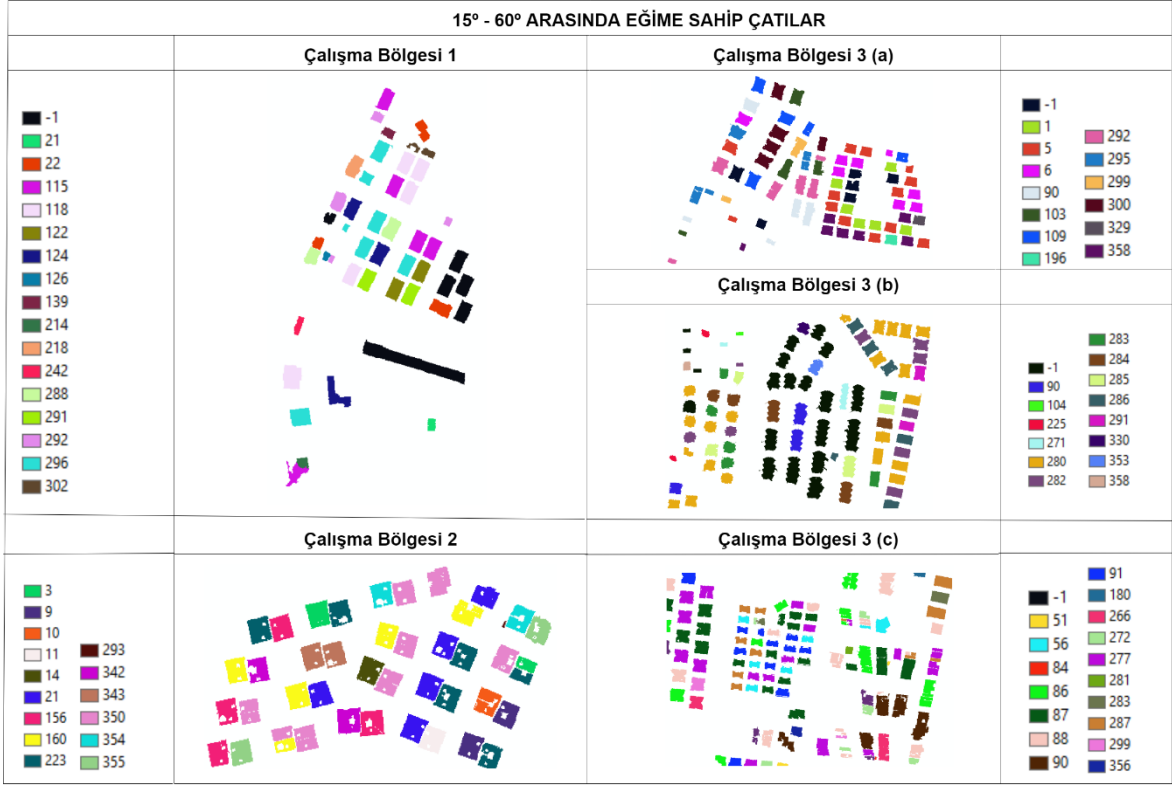


Şekil 18. Eğim haritaları

Daha sonra tüm çatının ortalama eğimi hesaplanarak tüm çatıya aynı eğim atanmış ve eğim olarak 15° az ve 60° fazla çatılar verilerden çıkarılmıştır. 15°'den az eğime sahip çatılar düz çatı olarak varsayılır ve bakı tahminleri için yeteri kadar dik değildir. 60°'den fazla eğime sahip çatılar NREL metoduna göre PV kurulumu için uygun kabul edilmediğinden (Melius vd., 2013) çalışmaya dâhil edilmemiştir. Tüm bölgeler için oluşturulan ortalama eğimler ve uygun eğime sahip çatılar sırasıyla Şekil 19'da ve Şekil 20'de verilmektedir.



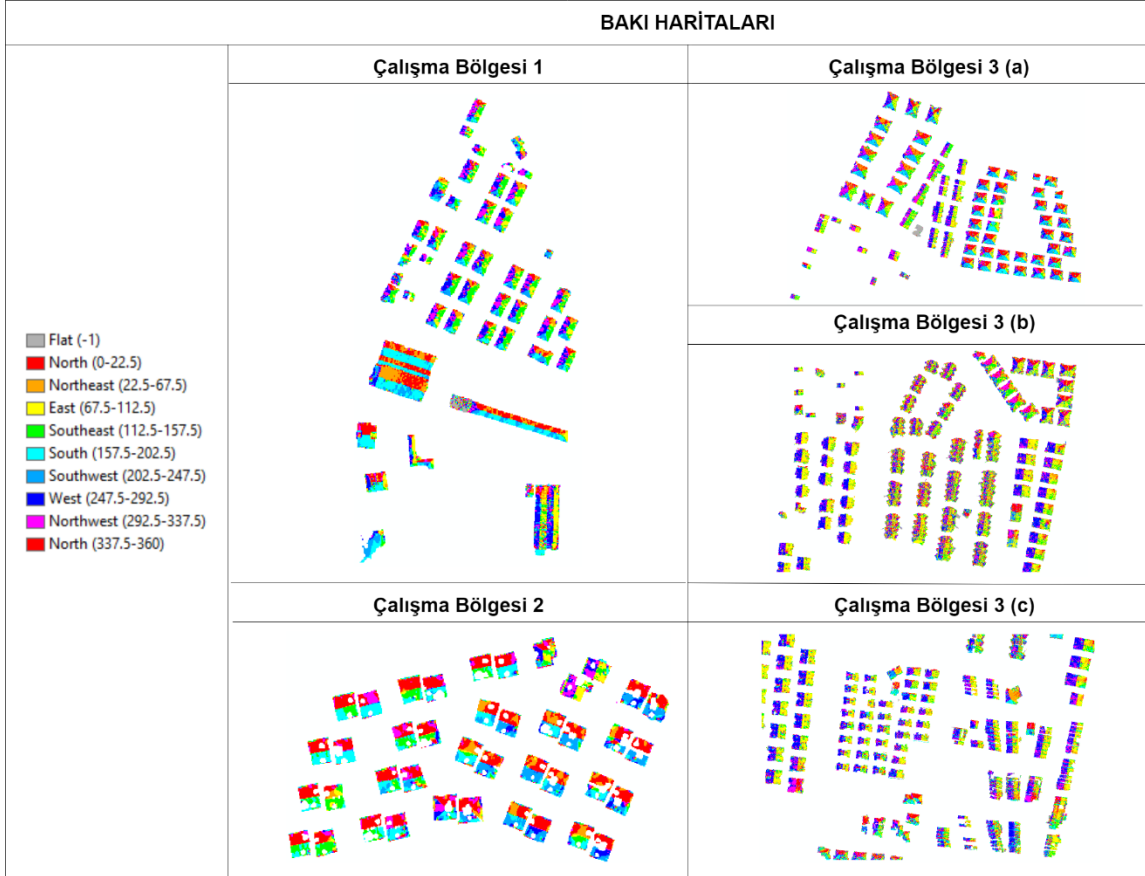
Şekil 19. Ortalama eğim değerleri



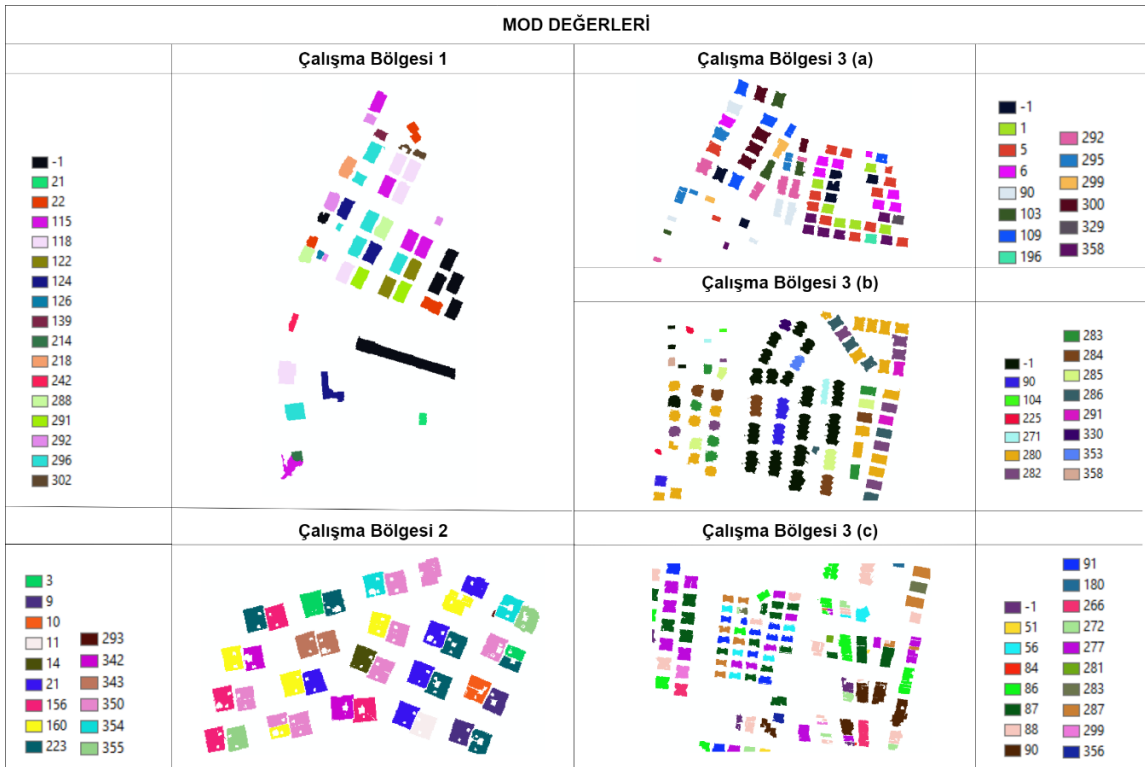
Şekil 20. Eğim için uygun alanlar

#### 4.2.2. Yön (Bakı) Haritası

Bina yükseklik verilerinden her çatıya ait piksellerin yön (aspect) değeri hesaplanmıştır. Bunun için ArcMap yazılımında Aspect aracı kullanılmıştır. Elde edilen bakı değerlerinin modu alınarak her çatı değerinin en çok tekrar eden değeri yeni değer olarak atanmıştır. Çatıların yön değerleri Şekil 21’de ve aspect için belirlenen mod değerleri Şekil 22’de gösterilmiştir.



Şekil 21. Yön haritası



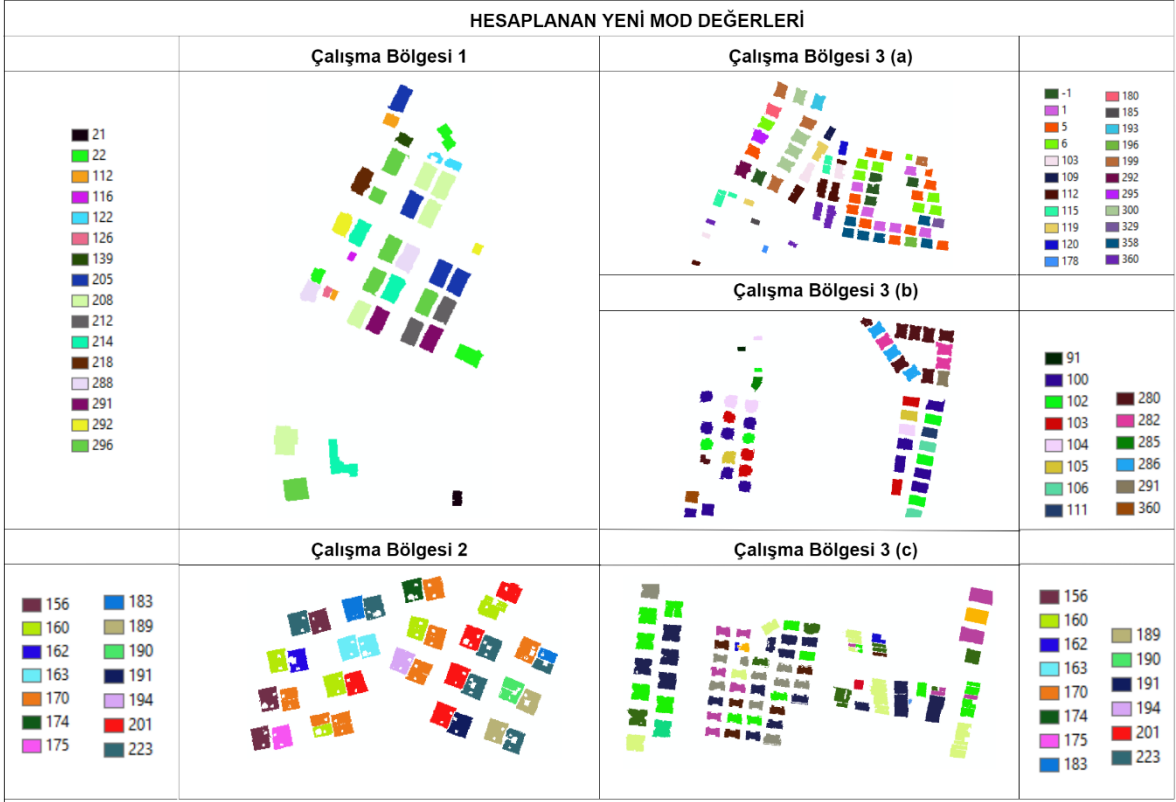
Şekil 22. Mod değerleri

### 4.2.3. Güney Yönlerinin Bulunması

Oluşturulan ortofoto görüntüsü üzerinden çatı tipleri incelenmiş beşik çatılar ve kare kırma çatılar tespit edilmiştir. Belirlenen çatı tipleri vektör veri üzerinden işaretlenerek, raster çatı tiplerine göre kırılmıştır. Böylece farklı çatı tiplerini farklı yön aralıklarında inceleme fırsatı elde edilmiştir. Güneş ışığından maksimum derecede faydalanmak için eğer güneşi izleyen sistemler kurulamıyorsa, kurulacak sistemin yönü güneye bakacak şekilde seçilmelidir (Home Power Magazine, 1997).

Bu bilgiden yola çıkarak; ilk olarak beşik çatılar kırılmıştır. Kuzeyin 0 olduğu varsayıldığında, beşik çatıların modu  $90^\circ$  ile  $270^\circ$  derece arasındaysa güney yönlerini verdiği için değerler aynı kabul edilir. Modu  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında olan çatılar için  $180^\circ$  eklenir, modu  $270^\circ$  ile  $360^\circ$  arasındaki değerlere sahip çatılar için  $180^\circ$  çıkarılır ve böylece güney yönünde pikseller elde edilmiş olur (Palmer vd., 2018). Bulunan aralık değerleri toplanarak beşik çatılar için bir fotovoltaik (PV) mod değeri belirlenmiştir.

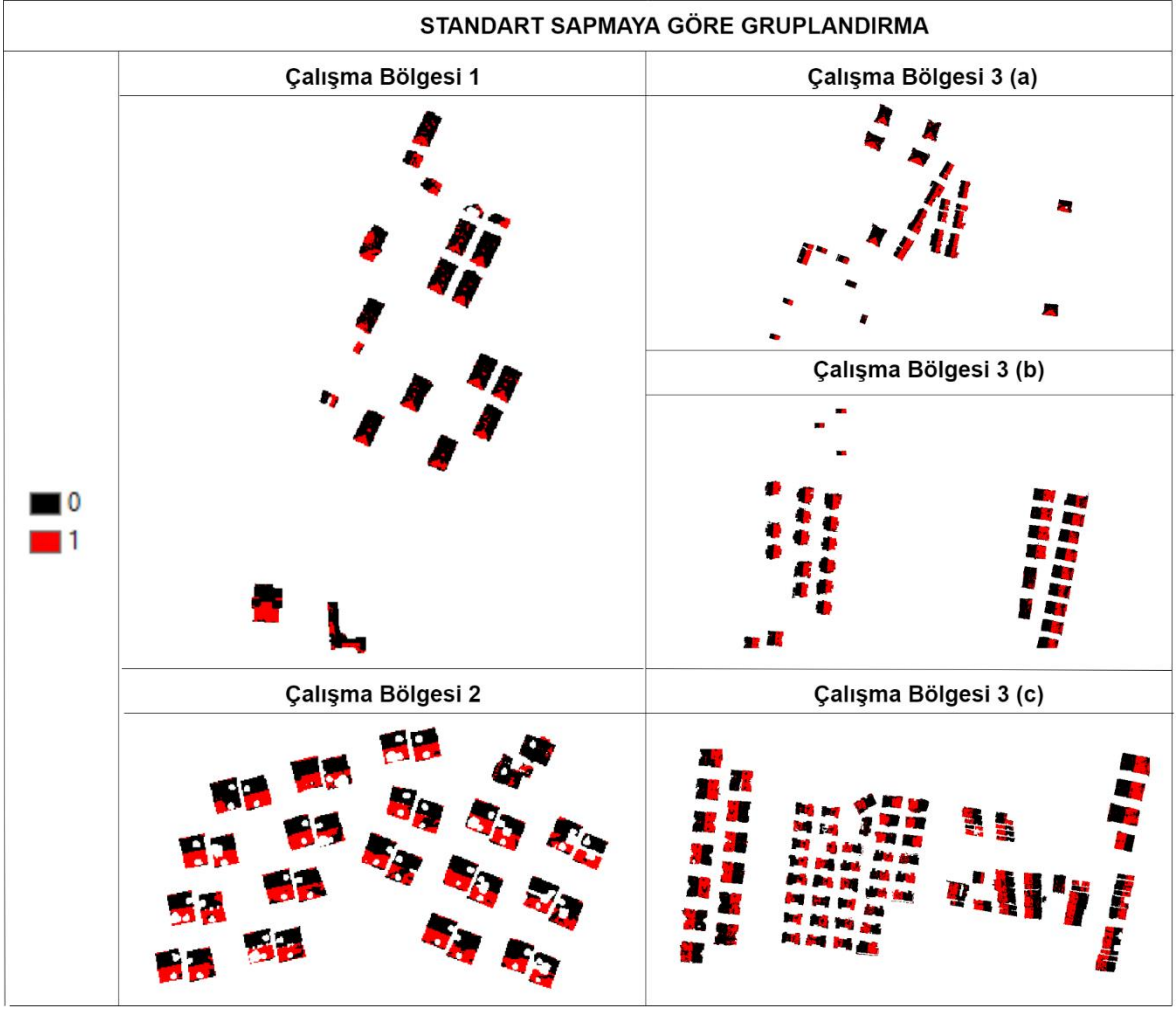
Çalışma bölgesinde bulunan kare kırma çatılar da vektör veri yardımıyla kırılmıştır. Kare kırma çatılarda batıya bakan piksellerin miktarı doğuya bakan piksellerden fazla olduğu durumlarda batıya bakanlar seçilmiştir. İki yöne de kurulum maliyet olarak zordur ve batı kısmı doğuya göre daha çok güneş alır. Bu yüzden modu  $90^\circ$  ile  $180^\circ$  arasında olan kare kırma çatılara  $90^\circ$  eklenmiş ve bu şekilde doğudan batıya geçiş yapılmıştır. Ayrı ayrı incelenen dörtgen ve beşik çatılar birleştirilerek toplam mod değerleri Şekil 23'te verilmiştir. Daha sonra elde edilen mod değerleri değerlendirilerek sadece güney ana pusula yönleri (güney, güney doğu, güney batı) seçilmiştir.



Şekil 23. Belirlenen yeni mod değerleri

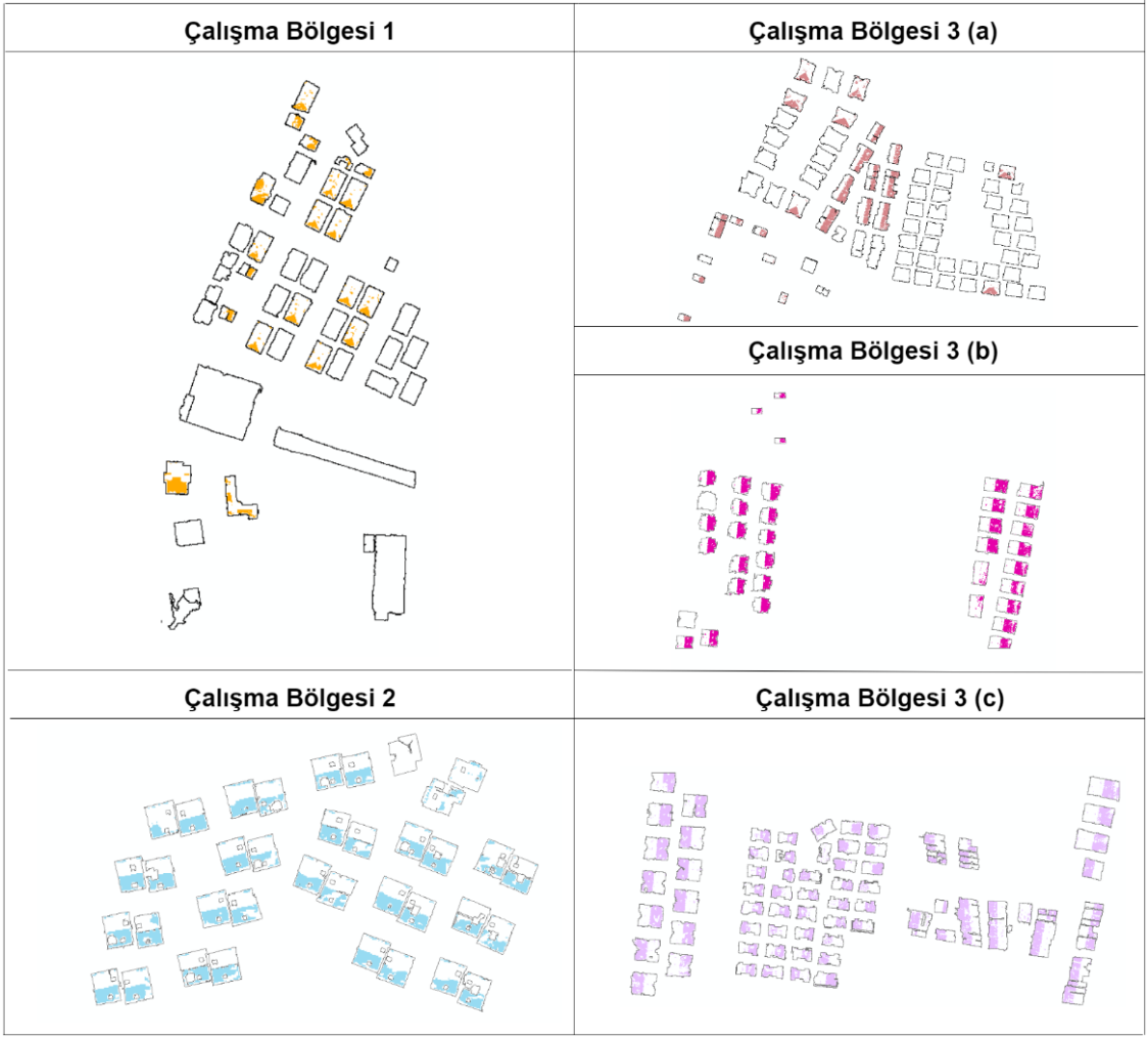
#### 4.2.4. Uygun Alanların Belirlenmesi

Daha sonra toplam mod değerlerinin standart sapması hesaplanmıştır. Standart sapma verisinin yarısına göre 1 ve 0 olarak piksellere değer ataması yapılmıştır (Şekil 24). 1 değerine sahip pikseller Şekil 25'te verilmiştir. Region Group aracı kullanılarak köşelerle bağlantılı çatı yamaları silinmiştir. Bölgeyi tanımlayan hücreler arasındaki bağlantı değerlendirilirken her giriş hücresinin en yakın dört komşusu için değerlendirilmiştir. Böylece en az bir tarafı paylaşan aynı değere sahip hücreler tek bir bölgeye katılacaktır.



Şekil 24. Standart sapmanın yarısına göre oluşturulmuş 1 ve 0 değerine sahip alanlar





Şekil 25. Fotovoltaik panel kurulumu için uygun çatı alanları

#### 4.2.5. Sınır Temizliği

Bölgesel gruptan sonra minimum 10 m<sup>2</sup> alanı sağlamayan PV alanları veri setinden çıkarılmıştır. Bunun için Reclassify komutu kullanılarak 10 m<sup>2</sup> altı ve üstündeki veriler sınıflandırılmış uygun olmayan grup silinmiştir. Belirlenen alanlardan Boundary Clean aracı yardımıyla sınır temizliği yapılarak uygun alanlar bulunmuştur. Elde edilen uygun alanlar sırasıyla oluşturulan ortofoto üzerinde çalışma bölgesi 1, 2, 3(a), 3(b), 3(c) için sırasıyla Şekil 26, Şekil 27, Şekil 28, Şekil 29 ve Şekil 30' da gösterilmiştir.



Şekil 26. Çalışma bölgesi 1 uygun alanlar



Şekil 27. Çalışma bölgesi 2 uygun alanlar



Şekil 28. Çalışma bölgesi 3 (a) uygun alanlar





Şekil 29. Çalışma bölgesi 3 (b) uygun alanlar



Şekil 30. Çalışma bölgesi 3 (c) uygun alanlar

### 4.3. Sonuç Haritalarının Değerlendirilmesi

Çalışma sonuçları; uygulama yapılan bütün çalışma bölgeleri için elde edilen PV uygun alan bilgisi, alana kurulacak panel sayısı, oluşacak sistemin kilowatt bilgisi, ortalama yıllık enerji üretimi ve enerji fazlalığı var ise dağıtım şirketlerine ortalama birim fiyattan satış yapılarak elde ettiğimiz kâr ve bu kâr oranıyla kurulum maliyetinin kaç yılda karşılanabileceği açılarından değerlendirilmiştir. Çalışma bölgelerinde hesaplanan tablolarda yüzde yüzden fazla enerji elde edilmeyen durumlarda maliyet hesabı yapılmamıştır.

Bu uygulamada ağaç, gölgeleme vs. etkisiyle oluşan PV kayıpları göz ardı edilerek çalışma bölgesinin Solar GIS haritası yardımıyla enerji üretim değeri hesaplanmıştır. Modül boyutu 2 m<sup>2</sup> olarak varsayılmış ve 10m<sup>2</sup> alan şartını sağlamayan bölgeler uygun kabul edilmemiştir. Kurulacak modülün gücü güncel paneller araştırılarak 455 watt monokristal güneş paneli kabul edilmiştir. Kurulum maliyetini hesaplamak için güncel panel fiyatları kıyaslanarak ortalama 4500 TL olarak kabul edilmiştir.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun 03/02/2022 tarihli kararında belirtildiği gibi enerji satış fiyatı tıpkı elektrik alış fiyatı gibi kademeli hale getirilmiştir (Kurul Kararları, 2022). Bu yüzden dağıtım şirketlerine elektrik satış fiyatı değişken olup bu tez çalışmasında ortalama birim fiyat 1.21 TL kabul edilerek yıllık kâr oranı hesaplanmıştır.

Üretilen enerji miktarının tüketimi karşılama oranı hesaplanırken; tüketim miktarı için 1 Mart 2022 tarihi itibarıyla elektrik tüketim değerindeki yeniden ücretlendirmeye tabii tutulan tarifede belirlenen sınır değer olan günlük 8 kWh, aylık 240 kWh kabul edilmiştir (Elektrik Faturalarında İndirim, 2022).

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi yapılarak yıllık olarak kaç ton CO<sub>2</sub> salınımının önüne geçilebileceği hesaplanırken CO<sub>2</sub> salınım katsayısı 0,492 ton kabul edilmiştir.

#### 4.3.1. Çalışma Bölgesi 1

Çalışma bölgesi 1 için belirlenen ID numaraları Şekil 31’de ve hesaplamalar Tablo 4’te verilmiştir. Yöntem doğrultusunda uygulama yapılan 40 binadan 20 tanesi kurulum için uygun olarak belirlenmiştir. Çalışma bölgesinde ortalama 9 yılda kurulum maliyeti geri kazanılabilmektedir. Bölgedeki PV üretimi ile yıllık olarak 31.173 ton CO<sub>2</sub> salınımının önüne geçilebilecektir. Çalışma bölgesinde 19 çatı numarasına sahip bina kamu alanı olup çatı alanı bölgedeki diğer çatılara kıyasla daha büyüktür. 5 ve 20 çatı numarasına sahip alanlarda birden fazla uygun alan çıktığı için 5-1, 5-2, 20-1, 20-2 olarak numaralandırılmıştır.



Şekil 31. Çalışma bölgesi 1 için ID numaraları

Tablo 4

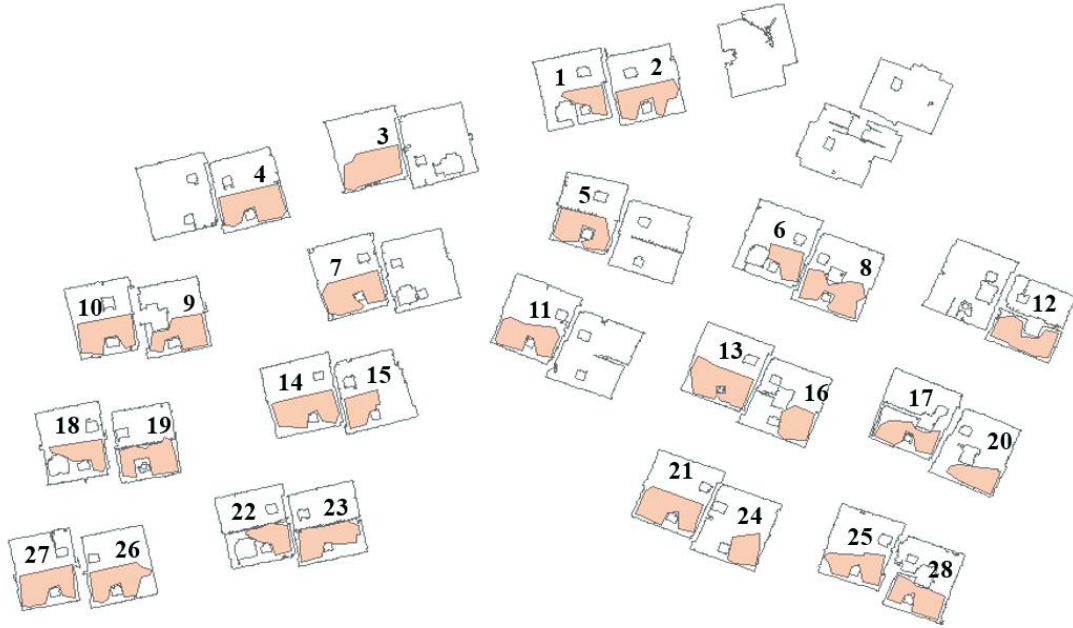
Çalışma bölgesi 1 için hesaplamalar

ID	Alan (m <sup>2</sup> )	Modül Sayısı (adet)	Sistem (kw)	Enerji Üretimi YILLIK (kwh)	Enerji Tüketimi YILLIK (kwh)	Üretim-Tüketim (kwh)	Artan Enerji Satış YILLIK (TL)	Kurulum maliyetini çıkarma süresi (YIL)
1	39.33	19	8	11,187	2880	8307	₺10,051.47	8.5
2	46.31	23	10	13,984	2880	11104	₺13,435.84	7.7
3	37.19	18	8	11,187	2880	8307	₺10,051.47	8.1
4	27.6	13	5	6,992	2880	4112	₺4,975.52	11.8
5-1	39.92	19	8	11,187	2880	8307	₺10,051.47	8.5
5-2	75.99	37	16	22,375	2880	19495	₺23,588.95	7.1
6	26.58	13	5	6,992	2880	4112	₺4,975.52	11.8
7	35.36	18	8	11,187	2880	8307	₺10,051.47	8.1
8	29.42	14	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	9.4
9	25.1	12	5	6,992	2880	4112	₺4,975.52	10.9
10	29.65	14	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	9.4
11	23.98	11	5	6,992	2880	4112	₺4,975.52	9.9
12	29.95	14	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	9.4
13	33.44	16	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	8.6
14	29.04	14	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	9.4
15	35.27	17	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	9.2
16	30.31	15	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	10.1
17	27.79	13	5	6,992	2880	4112	₺4,975.52	11.8
18	39.34	19	8	11,187	2880	8307	₺10,051.47	8.5
19	152.63	76	34	47,546	2880	44666	₺54,045.86	6.3
20-1	18.75	9	4	5,594	2880	2714	₺3,283.94	12.3
20-2	36.43	18	8	11,187	2880	8307	₺10,051.47	8.1



### 4.3.2. Çalışma Bölgesi 2

Çalışma bölgesi 2 için belirlenen ID numaraları Şekil 32’de ve hesaplamalar Tablo 5’te verilmiştir. Yöntem doğrultusunda uygulama yapılan 37 binadan 28 tanesi kurulum için uygun olarak belirlenmiştir. Çalışma bölgesinde ortalama 17 yılda kurulum maliyeti geri kazanılabilecektir. Hesaplama üretilen enerji ortalama tüketim enerjisini karşılamadığı durumlar için tabloda hesap yapılmamıştır. Bu çalışma bölgesinde diğer bölgelere göre kurulum alanının daha az sağlanabilmesinin sebebi çatı üstlerinde su ısıtmak amacıyla kurulmuş güneş enerji ısı sistemlerinin olması ve çoğu çatının birden fazla baca barındırmasıdır. Anlatılan duruma örnek bazı çatılar Şekil 33’te verilmiştir. Bölgedeki PV üretimi ile yıllık olarak 39.675 ton CO<sub>2</sub> salınımının önüne geçilebilecektir.



Şekil 32. Çalışma bölgesi 2 için ID numaraları



Tablo 5

Çalışma bölgesi 2 için hesaplamalar

ID	Alan (m <sup>2</sup> )	Modül Sayısı (adet)	Sistem (kw)	Enerji Üretimi YILLIK (kwh)	Enerji Tüketimi YILLIK (kwh)	Üretim-Tüketim (kwh)	Artan Enerji Satış YILLIK (TL)	Kurulum maliyetini çıkarma süresi (YIL)
1	9.19	4	1	1,393	2880	-	-	-
2	17.26	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
3	21.60	11	5	6,963	2880	4083	₺4,940.43	10.0
4	21.43	10	4	5,570	2880	2690	₺3,254.90	13.8
5	17.88	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
6	9.80	4	1	1,393	2880	-	-	-
7	21.49	11	5	6,963	2880	4083	₺4,940.43	10.0
8	19.55	9	4	5,570	2880	2690	₺3,254.90	12.4
9	15.80	7	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	20.1
10	18.69	9	4	5,570	2880	2690	₺3,254.90	12.4
11	17.83	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
12	16.66	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
13	22.57	11	5	6,963	2880	4083	₺4,940.43	10.0
14	20.27	10	4	5,570	2880	2690	₺3,254.90	13.8
15	10.56	5	2	2,785	2880	-	-	-
16	11.61	5	2	2,785	2880	-	-	-
17	13.64	6	2	2,785	2880	-	-	-
18	11.70	5	2	2,785	2880	-	-	-
19	17.46	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
20	11.20	5	2	2,785	2880	-	-	-
21	20.60	10	4	5,570	2880	2690	₺3,254.90	13.8
22	10.32	5	2	2,785	2880	-	-	-
23	17.67	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
24	10.37	5	2	2,785	2880	-	-	-
25	14.78	7	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	20.1
26	17.49	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
27	18.64	9	4	5,570	2880	2690	₺3,254.90	12.4
28	14.77	7	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	20.1



Şekil 33. Güneş enerji sistemi bulunduran bazı çatılar

#### 4.3.3. Çalışma Bölgesi 3(a)

Çalışma bölgesi 3(a) için belirlenen ID numaraları Şekil 34’te ve hesaplamalar Tablo 6’da verilmiştir. Yöntem doğrultusunda uygulama yapılan 72 binadan 27 tanesi kurulum için uygun olarak belirlenmiştir. Genel anlamda çalışma bölgesi 3(a), 3(b), 3(c) için yapılan sınıflandırma sonuçlarının doğruluğu azdır. Sınıflandırma için kullanılan ortofoto görüntülerinde kayıklık oranının fazla olması doğruluğun azalmasına ve sağlıklı sonuçlar alınamamasına neden olmuştur. Çalışma bölgesi 3(a) için bazı ortofoto bozuklukları Şekil 35’te verilmiştir. Bu nedenle elde edilen PV uygun alanlar beklenenden düşüktür. Çalışma

bölgesinde bulunan 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24 çatı numarasına sahip binalar sınıflandırma sonucu ve yapılan sorgulamalar sonucu bir bütün halinde algılanmış, hesap yapılırken bu şekilde kabul edilmiştir. Bu çatıların çoğu için %100'den fazla oranda enerji verimi elde edilmiştir. Bunun nedeni çatıların karışarak tek bir çatı olarak hesaplanmasıdır. Birbirine karışmış çatı bölgeleri için örnek alanlar Şekil 36'da gösterilmiştir.

Çalışma bölgesinde ortalama 10 yılda kurulum maliyeti geri kazanılabilecektir. Bölgedeki PV üretimi ile yıllık olarak 38.258 ton CO<sub>2</sub> salınımının önüne geçilebilecektir.



Şekil 34. Çalışma bölgesi 3(a) için ID numaraları

Tablo 6

Çalışma bölgesi 3(a) için hesaplamalar

ID	Alan (m <sup>2</sup> )	Modül Sayısı (adet)	Sistem (kw)	Enerji Üretimi YILLIK (kwh)	Enerji Tüketimi YILLIK (kwh)	Üretim-Tüketim (kwh)	Artan Enerji Satış YILLIK (TL)	Kurulum maliyetini çıkarma süresi (YIL)
1	34.07	17	7	9,647	2880	6767	₺8,188.07	9.3
2	36.53	18	8	11,025	2880	8145	₺9,855.45	8.2
3	53.09	26	11	15,160	2880	12280	₺14,858.80	7.9
4	49.64	24	10	13,782	2880	10902	₺13,191.42	8.2
5	38.33	19	8	11,025	2880	8145	₺9,855.45	8.7
6	15.43	7	3	4,134	2880	1254	₺1,517.34	20.8
7	56.23	28	12	16,538	2880	13658	₺16,526.18	7.6
8	19.15	9	4	5,513	2880	2633	₺3,185.93	12.7
9	97.81	48	21	28,941	2880	26061	₺31,533.81	6.8
10	15.03	7	3	4,134	2880	1254	₺1,517.34	20.8
11	31.91	15	6	8,269	2880	5389	₺6,520.69	10.4
12	35.76	17	7	9,647	2880	6767	₺8,188.07	9.3
13	37.04	18	8	11,025	2880	8145	₺9,855.45	8.2
14	45.80	22	10	13,782	2880	10902	₺13,191.42	7.5
15	71.84	35	15	20,672	2880	17792	₺21,528.32	7.3
16	58.26	29	13	17,916	2880	15036	₺18,193.56	7.2
17	35.60	17	7	9,647	2880	6767	₺8,188.07	9.3
18	20.64	10	4	5,513	2880	2633	₺3,185.93	14.1
19	79.32	39	17	23,479	2880	20599	₺24,924.79	7.0
20	18.12	9	4	5,513	2880	2633	₺3,185.93	12.7
21	95.24	47	21	28,941	2880	26061	₺31,533.81	6.7
22	123.37	61	27	37,210	2880	34330	₺41,539.30	6.6
23	24.23	12	5	6,891	2880	4011	₺4,853.31	11.1
24	70.25	35	15	20,672	2880	17792	₺21,528.32	7.3
25	19.45	9	4	5,513	2880	2633	₺3,185.93	12.7
26	43.01	21	9	12,403	2880	9523	₺11,522.83	8.2
27	20.58	10	4	5,513	2880	2633	₺3,185.93	14.1





Şekil 35. Çalışma Bölgesi 3(a) ortofoto bozuklukları

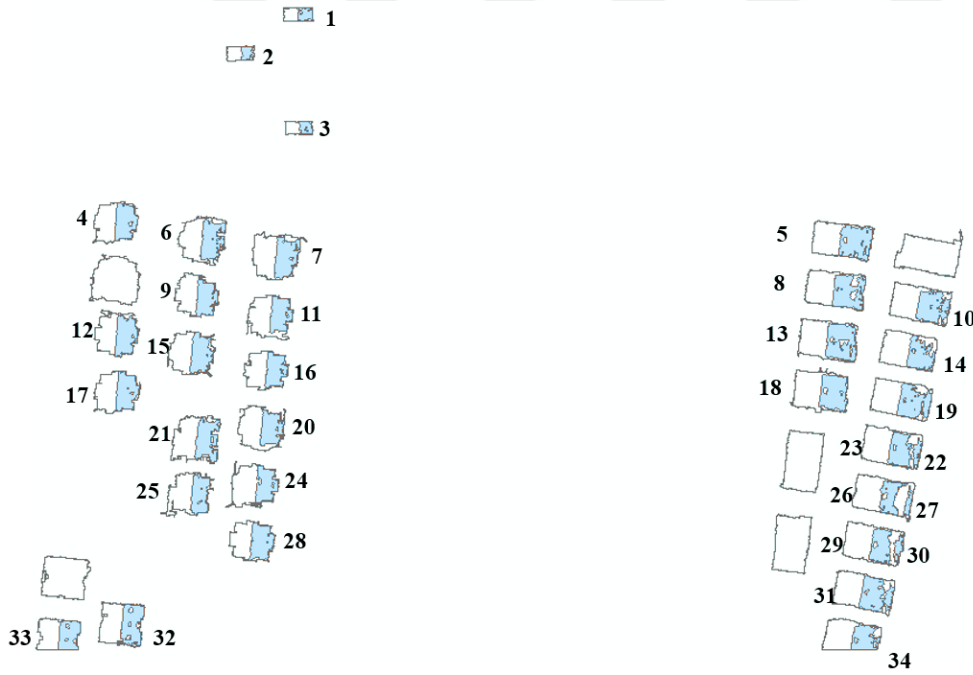


Şekil 36. Çalışma bölgesi 3(a) birbirine karışan çatılar

#### 4.3.4. Çalışma Bölgesi 3(b)

Çalışma bölgesi 3(b) için belirlenen ID numaraları Şekil 37’de ve hesaplamalar Tablo 7’de verilmiştir. Yöntem doğrultusunda uygulama yapılan 39 binadan 34 tanesi kurulum için uygun olarak belirlenmiştir. Genel anlamda çalışma bölgesi 3(a) için geçerli olan durumlar bu çalışma bölgesinde de geçerlidir. Çalışma bölgesi 3(b) için bazı ortofoto bozuklukları Şekil 38’de verilmiştir. Ortofoto köşelerinde bozukluklar genel anlamda çoğalmış ve daha kötü sonuçlar vermiştir (Şekil 39).

Çalışma bölgesinde ortalama 9 yılda kurulum maliyeti geri kazanılabilecektir. Hesaplama üretilen enerji ortalama tüketim enerjisini karşılamadığı durumlar için tabloda hesap yapılmamıştır. Bölgedeki PV üretimi ile yıllık olarak 48.177 ton CO<sub>2</sub> salınımının önüne geçilebilecektir.



Şekil 37. Çalışma bölgesi 3(b) için ID numaraları

Tablo 7

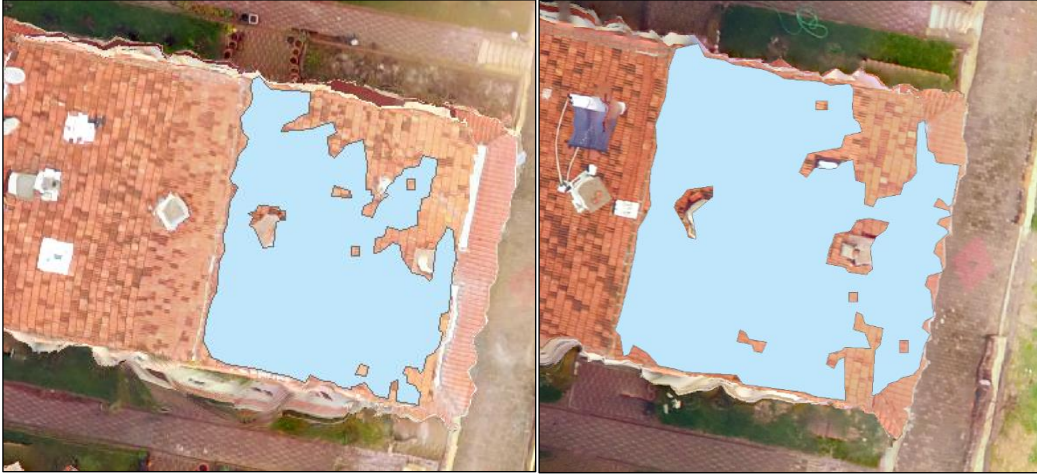
Çalışma bölgesi 3(b) için hesaplamalar

ID	Alan (m <sup>2</sup> )	Modül Sayısı (adet)	Sistem (kw)	Enerji Üretimi YILLIK (kwh)	Enerji Tüketimi YILLIK (kwh)	Üretim-Tüketim (kwh)	Artan Enerji Satış YILLIK (TL)	Kurulum maliyetini çıkarma süresi (YIL)
1	19.42	9	4	5,513	2880	2633	₺3,185.93	12.7
2	16.44	8	3	4,134	2880	1254	₺1,517.34	23.7
3	17.82	8	3	4,134	2880	1254	₺1,517.34	23.7
4	80.35	40	18	24,807	2880	21927	₺26,531.67	6.8
5	107.33	53	24	33,076	2880	30196	₺36,537.16	6.5
6	89.33	44	20	27,563	2880	24683	₺29,866.43	6.6
7	93.74	46	20	27,563	2880	24683	₺29,866.43	6.9
8	102.67	51	23	31,698	2880	28818	₺34,869.78	6.6
9	74.19	37	16	22,051	2880	19171	₺23,196.91	7.2
10	99.97	49	22	30,320	2880	27440	₺33,202.40	6.6
11	75.91	37	16	22,051	2880	19171	₺23,196.91	7.2
12	86.14	43	19	26,185	2880	23305	₺28,199.05	6.9
13	112.79	56	25	34,454	2880	31574	₺38,204.54	6.6
14	78.58	39	17	23,429	2880	20549	₺24,864.29	7.1
15	83.28	41	18	24,807	2880	21927	₺26,531.67	7.0
16	72.95	36	16	22,051	2880	19171	₺23,196.91	7.0
17	83.24	41	18	24,807	2880	21927	₺26,531.67	7.0
18	102.77	51	23	31,698	2880	28818	₺34,869.78	6.6
19	101.71	50	22	30,320	2880	27440	₺33,202.40	6.8
20	77.93	38	17	23,429	2880	20549	₺24,864.29	6.9
21	89.03	44	20	27,563	2880	24683	₺29,866.43	6.6
22	17.01	8	3	4,134	2880	1254	₺1,517.34	23.7
23	77.60	38	17	23,429	2880	20549	₺24,864.29	6.9
24	72.77	36	16	22,051	2880	19171	₺23,196.91	7.0
25	72.00	36	16	22,051	2880	19171	₺23,196.91	7.0
26	60.03	30	13	17,916	2880	15036	₺18,193.56	7.4
27	14.89	7	3	4,134	2880	1254	₺1,517.34	20.8
28	84.97	42	19	26,185	2880	23305	₺28,199.05	6.7
29	71.65	35	15	20,672	2880	17792	₺21,528.32	7.3
30	18.55	9	4	5,513	2880	2633	₺3,185.93	12.7
31	102.98	51	23	31,698	2880	28818	₺34,869.78	6.6
32	86.50	43	19	26,185	2880	23305	₺28,199.05	6.9
33	65.61	32	14	19,294	2880	16414	₺19,860.94	7.3
34	66.76	33	15	20,672	2880	17792	₺21,528.32	6.9





Şekil 38. Çalışma bölgesi 3 (b) içi ortofoto bozuklukları



Şekil 39. Ortofoto kenarlarındaki bozulmalar



#### 4.3.5. Çalışma Bölgesi 3(c)

Çalışma bölgesi 3(c) için belirlenen ID numaraları Şekil 40'ta ve hesaplamalar Tablo 8'de verilmiştir. Yöntem doğrultusunda uygulama yapılan 85 binadan 83 tanesi kurulum için uygun olarak belirlenmiştir. Çalışma bölgesi 3(a) ve çalışma bölgesi 3(b) için geçerli olan durumlar bu çalışma bölgesinde de geçerlidir. Çalışma bölgesi 3(b) için bazı ortofoto bozuklukları Şekil 41'de verilmiştir. Çalışma bölgesi 3 için elde edilen ortofoto normalde bütün olup verilerin işleme süresini kısaltmak amacıyla bölündüğünden ortofotonun kenar kısımlarına yakın bölgelerde kayıklıklar daha fazladır (Şekil 42). Çalışma bölgesi 3 (b)'de geçerli olan yan yana eğimli çatıların karışma durumu çalışma bölgesi 3 (c) için de geçerlidir (Şekil 43).

Çalışma bölgesinde ortalama 7 yılda kurulum maliyeti geri kazanılabilecektir. Hesaplama üretilen enerji ortalama tüketim enerjisini karşılamadığı durumlar için tabloda hesap yapılmamıştır. Bölgedeki PV üretimi ile yıllık olarak 116.191 ton CO<sub>2</sub> salınımının önüne geçilebilecektir.



Şekil 40. Çalışma bölgesi 3(c) için ID numaraları

Tablo 8

Çalışma bölgesi 3(c) için hesaplamalar

ID	Alan (m <sup>2</sup> )	Modül Sayısı (adet)	Sistem (kw)	Enerji Üretimi YILLIK (kwh)	Enerji Tüketimi YILLIK (kwh)	Üretim-Tüketim (kwh)	Artan Enerji Satış YILLIK (TL)	Kurulum maliyetini çıkarma süresi (YIL)
1	70.43	35	15	20,672	2880	17792	₺21,528.32	7.3
2	99.41	49	22	30,320	2880	27440	₺33,202.40	6.6
3	81.33	40	18	24,807	2880	21927	₺26,531.67	6.8
4	91.20	45	20	27,563	2880	24683	₺29,866.43	6.8
5	90.63	45	20	27,563	2880	24683	₺29,866.43	6.8
6	40.66	20	9	12,403	2880	9523	₺11,522.83	7.8
7	27.34	13	5	6,963	2880	4083	₺4,940.43	11.8
8	41.00	20	9	12,403	2880	9523	₺11,522.83	7.8
9	35.90	17	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	9.2
10	27.94	13	5	6,963	2880	4083	₺4,940.43	11.8
11	37.48	18	8	11,187	2880	8307	₺10,051.47	8.1
12	85.77	42	19	26,185	2880	23305	₺28,199.05	6.7
13	14.06	7	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	20.1
14	13.31	6	2	2,785	2880	-	-	-
15	82.62	41	18	24,807	2880	21927	₺26,531.67	7.0
16	42.05	21	9	12,403	2880	9523	₺11,522.83	8.2
17	36.42	18	8	11,025	2880	8145	₺9,855.45	8.2
18	16.50	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
19	24.69	12	5	6,992	2880	4112	₺4,975.52	10.9
20	12.10	6	2	2,785	2880	-	-	-
21	84.98	42	19	26,185	2880	23305	₺28,199.05	6.7
22	17.70	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
23	18.00	9	4	5,594	2880	2714	₺3,283.94	12.3
24	32.05	16	7	9,647	2880	6767	₺8,188.07	8.8
25	10.06	5	2	2,785	2880	-	-	-
26	12.78	6	2	2,785	2880	-	-	-
27	42.01	21	9	12,403	2880	9523	₺11,522.83	8.2
28	42.08	21	9	12,403	2880	9523	₺11,522.83	8.2
29	65.46	32	14	19,294	2880	16414	₺19,860.94	7.3
30	28.13	14	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	9.4
31	82.51	41	18	24,807	2880	21927	₺26,531.67	7.0
32	34.99	17	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	9.2
33	32.02	16	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	8.6
34	33.15	16	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	8.6
35	77.21	38	17	23,429	2880	20549	₺24,864.29	6.9
36	31.20	15	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	10.1

Tablo 8' in devamı

37	37.78	18	8	11,025	2880	8145	₺9,855.45	8.2
38	30.07	15	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	10.1
39	16.33	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
40	33.35	16	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	8.6
41	87.71	43	19	26,185	2880	23305	₺28,199.05	6.9
42	37.75	18	8	11,025	2880	8145	₺9,855.45	8.2
43	15.17	7	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	20.1
44	28.87	14	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	9.4
45	10.49	5	2	2,785	2880	-	-	-
46	17.76	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
47	14.89	7	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	20.1
48	34.33	17	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	9.2
49	53.36	26	11	11,025	2880	8145	₺9,855.45	11.9
50	32.13	16	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	8.6
51	12.83	6	2	2,785	2880	-	-	-
52	15.93	7	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	20.1
53	87.20	43	19	26,185	2880	23305	₺28,199.05	6.9
54	30.07	15	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	10.1
55	60.92	30	13	17,916	2880	15036	₺18,193.56	7.4
56	33.04	16	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	8.6
57	30.38	15	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	10.1
58	16.78	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
59	18.77	9	4	5,570	2880	2690	₺3,254.90	12.4
60	31.39	15	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	10.1
61	38.28	19	8	11,025	2880	8145	₺9,855.45	8.7
62	13.11	6	2	2,785	2880	-	-	-
63	80.33	40	18	24,807	2880	21927	₺26,531.67	6.8
64	162.36	81	36	49,614	2880	46734	₺56,548.14	6.4
65	74.26	37	16	22,375	2880	19495	₺23,588.95	7.1
66	35.29	17	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	9.2
67	30.59	15	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	10.1
68	118.92	59	26	35,832	2880	32952	₺39,871.92	6.7
69	33.40	16	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	8.6
70	20.05	10	4	5,570	2880	2690	₺3,254.90	13.8
71	86.07	43	19	26,185	2880	23305	₺28,199.05	6.9
72	15.89	7	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	20.1
73	35.51	17	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	9.2
74	39.66	19	8	11,025	2880	8145	₺9,855.45	8.7
75	30.94	15	6	8,390	2880	5510	₺6,667.10	10.1
76	21.33	10	4	5,570	2880	2690	₺3,254.90	13.8
77	33.43	16	7	9,789	2880	6909	₺8,359.89	8.6
78	56.86	28	12	16,538	2880	13658	₺16,526.18	7.6
79	45.90	22	10	13,984	2880	11104	₺13,435.84	7.4
80	16.24	8	3	4,178	2880	1298	₺1,570.58	22.9
81	72.96	36	16	22,051	2880	19171	₺23,196.91	7.0
82	60.35	30	13	17,916	2880	15036	₺18,193.56	7.4



Şekil 41. Çalışma bölgesi 3 (c) için ortofoto bozuklukları



Şekil 42. Ortofoto kenarlarındaki bozulmalar





Şekil 43. Çalışma bölgesi 3(c) birbirine karışan çatılar

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile ülkemizdeki enerji verimliliği konusunda belirlenen stratejik amaçlar ve hedefler doğrultusunda, çalışma bölgelerindeki binaların enerji verimliliklerinin ne ölçüde artacağı, mali analizlerle günümüz koşullarında yapılabirlik oranı ortaya konmuştur. Belirlenen bölgelerdeki konut ve ticari bina sahiplerinin PV kurulumu ile binaların enerji ihtiyacını hangi oranda karşılayabileceği ve elde edecekleri kâr oranı değerlendirilmiştir. Fotovoltaik enerji üretim kapasitesinin elektrik tüketimini karşılama oranı hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplanan PV tahmini gelecekte ülkemizde güneş enerjisi politikasının oluşturulması ve sürdürülebilir enerji için önemlidir.

Bu çalışma iki ana başlık etrafında toplanmıştır. İlk adım görüntülerden binaların çıkarımı ikinci adım ise fotovoltaik enerji kurulumu için çatılarda uygun alan belirlenmesi aşamasından oluşmaktadır. Bina çatı çıkarımı için ilk olarak ortofoto, SAM, SYM, nSYM verileri oluşturulmuştur. Elde edilen nSYM verisi segmentasyon aşamasında ek bant olarak kullanılmış, sınıflandırma doğruluğu artırılmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma yardımıyla bina çatı şekilleri çıkarılmıştır. Fotovoltaik panel kurulumu için çatılarda uygun alan bulma kısmında nSYM verisi, sınıflandırma sonucu elde edilen bina verileri yardımıyla kırılmıştır. Bina verilerinin yükseklik modeli yardımıyla eğim ve yön haritaları üretilmiştir. Eğim haritaları değerlendirilerek ilk aşama için optimum çatılar belirlenmiştir. Belirlenen çatılar için yön haritasının modu bulunmuştur. Mod sonucu belirlenen değerler çatı tiplerine göre beşik ve kare çatı olarak sınıflandırılarak hesaplamalar yapılmıştır. Mod sonucu çatılar sadece güney ana pusula yönlerinde olacak şekilde seçilmiş, modun standart sapması alınarak uygun piksellere 1 değeri atanmıştır. Veriler yeniden sınıflandırılarak çatının en uygun PV alanları belirlenmiştir.

Uygulama yapılan çalışma bölgelerinde çalışma bölgesi 1 ve çalışma bölgesi 3 ilk uçuşun yapıldığı bölgelerdir. Çalışma bölgesi 3 için yapılan uçuşta sayı olarak az resimle büyük bir alan taranmıştır. Uçuş yüksekliğinin fazla olması, alanın büyük olması, görüntü miktarının fazla olması çatı ayrıntılarını kötü etkilemiş ortofotoda bozulmalar meydana

getirmiştir. 80.165 m<sup>2</sup>'den oluşan çalışma bölgesi 1'in alanı için yeterli fotoğraf sayısı bulunmamakta, sağlıklı bir ortofoto oluşturulamamaktadır. Buna rağmen Çalışma bölgesi 3 için taranan alan Çalışma bölgesi 1'in neredeyse 3 katıdır ancak uçuşta elde edilen görüntü sayısı ortalama aynıdır. Bu gibi nedenlerden dolayı Çalışma bölgesi 3 için elde edilen ortofotoda bozulmalar yüksek düzeydedir.

Çalışma bölgesi 2 en küçük alana sahip ve en çok görüntü elde edilmiş bölgedir. Bina köşelerinde bozulmalar en minimum düzeyde bulunmakta, sınıflandırma doğruluğu arttırılmaktadır. Çalışma bölgesi 2 için elde edilen ortofoto yardımıyla sınıflandırma aşamasında bina çatılarından bacalar, güneş enerjileri (su ısıtıcı) kolaylıkla ayrılabilmiştir. Bina çatılarına en çok karışan pergole çatıları dahil nSYM verisi yardımıyla ayrılmıştır. Çalışma bölgesi 2 için belirlenen bölgede su ısıtmak amacıyla çoğu çatıda aktif olarak güneş enerji sistemleri bulunduğundan çatıların fotovoltaik kurulum için uygun alan büyüklüğü diğer çalışma bölgelerine göre daha düşük bulunmuştur.

Genel olarak tez kapsamında büyük alanlar ve az miktarda görüntüyle elde edilmiş ortofotoların bina çatı çıkarımı için sağlıklı sonuçlar vermediği, bu şekilde yapılan sınıflandırma ve uygun alan bulma aşamalarında sağlıklı sonuçlar elde edilemediği görülmüştür.

Uygulanan yöntem sonucu fotovoltaik sistemler için uygun alanlar belirlenerek elde edilen veriler doğrultusunda güneş paneli kurulumunun uzun vadede sağlayacağı potansiyel fayda ve yenilenemeyen enerji sonucu oluşan çevre kirliliğinin hangi miktarda azaltılabileceği hesaplanmıştır. Bütün bölgelerdeki PV üretimi ile yıllık olarak 273.747 ton CO<sub>2</sub> salınımının önüne geçilebilecektir. Böylece fosil yakıt kullanımından elde edilen enerji üretimi de düşeceği için çevreye verilen zarar azalacaktır. Ayrıca üretimde merkezi olmak yerine yerel enerji üretimi ile dağıtım kayıplarının önlenmesi sağlanacaktır.

Gelecek çalışmaların geliştirilmesi adına daha lokal ve minimal alanlar için daha ayrıntılı bir uçuş ile verilerin elde edilmesi önerilmektedir. Böylece sınıflandırma doğruluğu yükseltilecek yöntemin sonuçları birden fazla bölge için kıyaslanabilecektir.

Çatılardaki fotovoltaik alan uygunluğu kısmında elde edilen sonuçlar değerlendirilirken aylık ve yıllık olarak güneşlenme süreleri dikkate alınarak en yüksek verimin alındığı ay belirlenebilecektir. Bina çatılarında gölgeleme vs. etkisiyle oluşan enerji kayıpları göz ardı edilmeyerek çeşitli sorgulamalar yardımıyla sonuçlar geliştirilebilecektir. Ayrıca çalışma kapsamında incelenen otomatik bina çatı çıkarımı aşamasında yüksek çözünürlüklü görüntülerden çatı çıkarımı için uygulanan yöntem değerlendirilerek, gelecek çalışmalara altlık olabilecektir.





## KAYNAKÇA

- Acar, H. (2018). Bina Çatı Noktalarının Yüksek Çözünürlüklü Görüntülerden Üretilen 3B Nokta Bulutu Verileri İle Otomatik Tespit Edilmesi ve Gerçek Ortofoto Üretimi. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Australian Renewable Energy Agency (2022). Erişim: 18 Haziran 2022, <https://arena.gov.au/what-is-renewable-energy/>
- Awrangjeb, M. (2016). "Using point cloud data to identify, trace, and regularize the outlines of buildings". *International Journal of Remote Sensing*, 37(3), 551-579.
- Baatz, M. (2000). "Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation". In *Beurage zum AGIT-Symposium*. Salzburg, Heidelberg, 2000 (pp. 12-23).
- Baatz, M. B. (2004). eCognition Professional: User Guide 5. Munich.
- Barazzetti, L. Brumana, R., Oreni, D., Previtali, M., and Roncoroni, F. (2014). "True-orthophoto generation from UAV images: Implementation of a combined photogrammetric and computer vision approach". *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(5).
- Burrough, P. (1986). "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment". Oxford, 32(85), 76-77.
- Cebeci, S. (2017). Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi. Planlama Uzmanlığı Tezi, TC Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, 185s.
- Cengiz, M. S. ve Mamiş, M. S. (2016). "Termal Güneş Enerjisi Kullanımı ve CSP Sistemlerin Verimlilik Analizi". *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (1).
- Cezim, C. (2013). Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası. Erişim: 23 Temmuz 2022, <http://www.solar-academy.com/menus/Fotovoltaik-Sistemler-ve-Uygulamalari.122101.pdf>

- Chen, L., Zhao, S., Han, W. and Li, Y. (2022). "Building detection in an urban area using lidar data and QuickBird imagery". *International Journal of Remote Sensing*, 33(16), 5135-5148.
- Damar, N. B. (2016). "Paris İklim Değişikliği Antlaşması COP 21 ve Türkiye". *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 456, 69-72.
- Demir, N. (2016.). "Lidar Verisinden Çatı Düzlemlerinin Otomatik Çıkarılması". 6. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu*, 2016, 5-7.
- Dorninger, P. and Pfeifer, N. (2008). "A comprehensive automated 3D approach for building extraction, reconstruction from air borne laser scanning point cloud and regularization from air borne". *Sensors*, 8(11), 7323-7343.
- El-Sheimy, N., Valeo, C., and Habib, A. (2005). *Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation and Applications*. Artech House: Norwood
- Elektrik faturalarında indirim. (2020, 22 Nisan). *Milliyet Gazetesi*, Erişim adresi: <https://www.milliyet.com.tr/gundem/elektrik-faturalarinda-indirim>
- Frontini, F., Scognamiglio, A., Graditi, G., López, C. P., Pellegrino, M. and ENEA, U. F. (2013). "From BIPV to building component". *European Photovoltaic Solar Energy. In 28th Eur. Photovolt. Sol. Energy Conf. Exhib.* 2013, Paris, France. Pages: 3757-3761
- Green Solar Network (2022). Erişim: 6 Haziran 2022, <https://www.greensolarnetwork.org/>
- Grigillo, D. and Kanjir, U. (2012). "Urban object extraction from digital surface model and digital aerial images". *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3, 215-220.
- Güneş, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2022). Erişim: 6 Haziran 2022, <https://enerji.gov.tr>
- Green Solar Network (2022). Erişim: 6 Haziran 2022, <https://www.greensolarnetwork.org/>
- Güler, M. (2018). Lidar Verisinden Bina Çatı Düzlemlerinin Otomatik Çıkarımı ve Modellemesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Home Power Magazine. (1997). february-march, 37.

International Renewable Energy Agency IRENA (2022). Erişim: 15 Haziran 2022, <https://www.irena.org/costs>

International Renewable Energy Agency IRENA. (2012). Solar Photovoltaics Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series, *Volume I: Power Sector Issue*

Jochem, A , Höfle, B., Hollaus, M. , and Rutzinger, M. (2009). “Object detection in airborne LIDAR data for improved solar radiation modeling in urban areas”. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Paris, 38(3)*.

Jochem, A., Höfle, B., Rutzinger, M. and Pfeifer, N. (2009). “Automatic Roof Plane Detection and Analysis in Airborne Lidar Point Clouds for Solar Potential Assessment”. *Sensors, 9(7)*, 5241-5262.

Ridd, M. K., Bjorgo, E., Camp, L. E., Card, D. H., Chung, J. M., Dudley-Murphy, E. A., Gillies, R. R., Hipple, J. D., Hernandez, M. W., Hofmann, P., Jurgens, C., Lam, N. N. S.-N., Massasati, A. S., Merola, J. A., Mesev, V., Nash, G. D., Quattrochi, D. A. and Wheeler, D. J. (2006). Documenting dynamics of human settlements. *Remote sensing of human settlements. Manual of remote sensing, 3 (5)*, paper: 521–670

Karakaş, G. (2018). Lidar nokta bulutu verisi ve yüksek çözünürlüklü ortofotolar kullanılarak bina çıkarımı için bir yaklaşım. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Karthick , A., Kalidasa, K., Kalaivani, L., ve Saravana , U. (2018). “Performans Study of Building İntegrated Photovoltaic Modules”. *Advances in Building Energy Research, 12(2)*. 178-194.

Keskin, T. (2019). Enerji Politikalarının İklim Değişikliği İle Mücadeledeki Yeri. Ankara: İklim Değişikliği Modülleri Serisi 6.

Kocaman, E. (1988). Yersel Fotogrametride Normal Durumda Yer Kontrol Noktalarının Dağılışının İncelenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fotogrametri Anabilim Dalı, Trabzon.

- Koçaslan, G. (2014). “Türkiye’nin Enerji Verimliliği Mevzuatı, Avrupa Birliğindeki Düzenlemeler ve Uluslararası-Ulusal Öneriler”. C.Ü. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. 15(2), 117-133.
- Krause, K. (2004). *Photogrammetry; Geometry from Image sand Laser Scans*, New York.
- Kraus K. (2007). *Fotogrametri Fotoğraflardan ve Lazer Tarama Verilerinden Geometrik Bilgiler (Cilt 1)*. (S. K. O. Altan, Çev.). Nobel Yayın: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Li, Z., Zhang, Z. and Davey, K. (2015). “Estimating Geographical PV Potential Using LiDAR Data for Buildings in Downtown San Francisco”. *Transactions in GIS*, 19(6), 930-963.
- Limandal, Y. (2019). Dijital Hava Görüntülerinden Üretilen Nokta Buluru İle Yarı Otomatik Bina Detay Çıkarımı. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Melius, J., Margolis, R. and Ong, S. (2013). “*Estimating Rooftop Suitability for PV: A Review of Methods Patents, and Validation Techniques*”, United States.
- Navulur, K. (2007). *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm*. CRC Press: USA.
- Palmer D, Koumpli E, Cole I, Gottschalg R and Betts T. (2018). “A GIS-Based Method for Identification of Wide Area Rooftop Suitability for Minimum Size PV Systems Using LiDAR Data and Photogrammetry”. *Energies*, 11(12), 3506.
- Polat, N. (2018). 3B nokta bulutlarından bina tespiti. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.
- PVGIS (2022). Erişim: 1 Temmuz 2022, [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)
- PVWatts (2022). Erişim: 1 Temmuz 2022, <https://pvwatts.nrel.gov/>
- Kurul Kararları (2022). Resmi Gazete, 31740, 4 Şubat 2022

- San, K, D. (2009). Approaches For Automatic Urban Building Extraction And Updating From High Resolution Satellite Imagery. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Orto Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Sabuncu, A. ve Sunar, F. (2017). “Ortofotolar ile nesne tabanlı görüntü sınıflandırma uygulaması: Van- Erciş Depremi örneği”. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1),1-8.
- Song, X., Huang, Y., Zhao, C., Liu, Y., Lu, Y., Chang, Y. and Yang, J. (2018). “An Approach for Estimating Solar Photovoltaic Potential Based on Rooftop Retrieval from Remote Sensing Images”. *Energies* , 11, 3172.
- TEİAŞ (2022). Erişim: 15 Haziran 2022, <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
- Tekir, F. (2019). İnsansız Hava Aracı Görüntülerinden Bina Çatılarının Üç Boyutlu Çıkartılması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Harita Mühendisliği Anabilim Dalı. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Türkiye Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). Erişim: 15 Haziran 2022, <https://iklim.csb.gov.tr/parisanlasmasi-i-98587>
- Uzar, M., ve Yastıklı, N. (2011). “Lidar ve Hava Fotoğraflarının Füzyonu İle Otomatik Bina Çıkarımı”. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. Ankara.
- World Energy Council (2018). Energy Resources (Solar), Erişim: 1 Temmuz 2018, <https://www.worldenergy.org>
- Yeşilmaden, H. M. (2017). Finding the best locations for photovoltaic panel installation in urbanized areas. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yomralıoğlu T. (2015). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar* (6. Baskı). Akademi Kitabevi: Trabzon.