T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN ARAZİNİN GÜNEŞ YANSIMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ VE SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ ÜZERİNDEN EĞİK RADYASYON MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Mehmet Alper YILDIZ

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Alper YILDIZ tarafından hazırlanan "**Uydu Görüntülerinden Arazinin Güneş Yansıma Katsayılarının Belirlenmesi ve Sayısal Yükseklik Modeli Üzerinden Eğik Radyasyon Modelinin Oluşturulması**" adlı tez çalışması 06/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof.Dr. Yakup KARA (Konya Teknik Üniversitesi)	……..
Danışman Prof.Dr. Hakan KARABÖRK (Konya Teknik Üniversitesi)	……..
Üye Prof.Dr. Bülent YANIKTEPE (Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)	……..
Üye Doç.Dr. Mustafa YALÇIN (Afyon Kocatepe Üniversitesi)	……..
Üye Doç.Dr. Fatih SARI (Konya Teknik Üniversitesi)	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mehmet Alper YILDIZ

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN ARAZİNİN GÜNEŞ YANSIMA KATSAYILARININ BELİRLENMESİ VE SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ ÜZERİNDEN EĞİK RADYASYON MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Mehmet Alper YILDIZ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
2. Danışman: Prof. Dr. Selmin ENER RÜŞEN

2025, 152 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Yakup KARA
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE
Doç. Dr. Mustafa YALÇIN
Doç. Dr. Fatih SARI

Birçok güneş radyasyonu modelinde, gerçek değerlere yakın sonuçlar elde etmek için fiziksel ölçümler ve matematiksel modellerin bir kombinasyonu kullanılmaktadır. Ancak bu hesaplamalarda genellikle yatay bir yüzey kullandığından arazi yüzeyindeki engebelere ve gölgelere bağlı değişimler göz ardı edilmektedir. Tüm bunlara ek olarak albedo değeri, klasik güneş radyasyonu hesaplama formüllerinde göz ardı edildiğinden albedo etkili toplam güneş radyasyonu değeri ancak 3 boyutlu arazi modeli ve albedo etkisi göz önüne alınarak hesaplanabilmektedir. 2 boyutlu değerlendirmelerde toplam radyasyon doğrudan ve dağınık radyasyonun toplamı olarak tanımlanmaktadır. Çalışmalar, 3 boyutlu ortamda gerçekleştirildiğinde ayrıca yansıyan radyasyon değeri ortaya çıkmaktadır. Yansıyan radyasyonun hesaplanması için çalışılan pikselin albedo değerine ve eğim değerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada; uygun yer seçiminde göz önüne alınacak en önemli gösterge olan global güneş radyasyonu hesabının yapılması için klasik yatay düzlemde hesap yapan formüllere ve uygulamaların aksine bölgenin gerçek radyasyon ve güneşlenme süresini belirleyebilmek için 3 boyutlu sayısal yüzey modeli kullanmak amaçlanmıştır. Ayrıca; küresel güneş radyasyonu hesabına albedo değerleri vasıtasıyla yansıyan radyasyon etkilerinin de hesaplanarak toplam radyasyon değerine etkilerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, Karaman'ın güneyinde 1.600 km² büyüklüğünde bir alan test bölgesi olarak seçilmiştir. Bu bölge, yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olması, engebeli alanlar içermesi ve albedo değeri açısından çok farklı arazi yüzeyleri içermesinden dolayı seçilerek farklı bölgelerdeki sonuçların incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Google Earth Engine (GEE) platformu aracılığıyla yaz ve kış

mevsimleri için 10 metreye kadar mekânsal çözünürlüğe sahip SENTINEL 2A atmosfer etkileri düzeltilmiş uydu görüntüleri kullanılarak GEE platformu üzerinden yazılan kodlar yardımıyla albedo değerleri hesaplanmıştır. Karlı yüzeyler için kış döneminde albedo değeri 0,86 olarak, açık renkli binalar için ise yaz döneminde 0,36, kış döneminde ise 0,28 olarak hesaplanmıştır. Buradan referans değerlere yakın sonuçlar elde edilerek güneş gelme açısından dolayı yaz ve kış aylarında yüzeylerin farklı albedo değerleri alabileceği de irdelenmiştir. Piksellerin yaz ve kış dönemi için albedo değerleri hesaplandıktan sonra 5 metre çözünürlüklü sayısal yüzey modelleri yardımıyla yansıyan radyasyonun hesaplanabilmesi için piksellerin eğimleri hesaplanmıştır. Burada yansıyan radyasyon hesaplanırken gereken toplam radyasyon değerlerinde gölgelenme etiketlerini de hesaplanabilmesi için ArcGIS Area Solar Radiation modülünden yararlanılarak 3 boyutlu güneş haritaları oluşturulmuştur. Sonuç olarak, özellikle yüksek eğimli yamaçlarda yansıyan radyasyonun toplam radyasyona etkisinin %5 ila %7 oranında artış meydana getirebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Yansıma Katsayıları, Google Earth Engine Platformu, Güneş Panelleri, Güneş Radyasyonu

ABSTRACT

PhD THESIS

DETERMINING THE SOLAR REFLECTANCE COEFFICIENTS OF TERRAIN FROM SATELLITE IMAGES AND CREATING A TILTED RADIATION MODEL BASED ON A DIGITAL ELEVATION MODEL

Mehmet Alper YILDIZ

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering

Advisor: Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Second Advisor: Prof. Dr. Selmin ENER RÜŞEN

2025, 152 Pages

Jury
Prof.Dr. Yakup KARA
Prof.Dr. Hakan KARABÖRK
Prof.Dr. Bülent YANIKTEPE
Assoc.Prof. Dr. Mustafa YALÇIN
Assoc.Prof. Dr. Fatih SARI

In many solar radiation models, a combination of physical measurements and mathematical models is used to achieve results close to actual values. However, since these calculations are typically based on a horizontal surface, terrain irregularities and shading effects are often overlooked. Additionally, total solar radiation can only be calculated considering three dimensional (3D) terrain model and albedo effect since albedo effect is ignored in classical solar radiation calculation formulas. In two-dimensional (2D) evaluations, total radiation is generally defined as the sum of direct and stray radiation. Moreover, reflected radiation appears when the studies are conducted in three dimensional (3D) model. To compute reflected radiation, the albedo value of the corresponding pixel and slope must be taken into account.

This study aims to improve global solar radiation calculations—one of the most critical indicators in site selection—by utilizing a 3D Digital Surface Model (DSM) which can instead of traditional formulas that operate on a horizontal plane. It is desired to obtain real radiation and sunshine duration thanks to this approach. Additionally, the study seeks to analyze the impact of reflected radiation on total radiation by incorporating albedo values into the global solar radiation computation. As a case study, a 1.600 km² test area located south of Karaman was selected due to its high solar energy potential, varied topography, and diverse land surface types with different albedo values. Using the Google Earth Engine (GEE) platform, albedo values were calculated for summer and winter seasons based on atmospherically corrected SENTINEL-2A satellite imagery with a spatial resolution of up to 10 meters. The results showed that the albedo value for snow-covered surfaces in winter was 0,86, while for light-colored

buildings, it was 0,36 in summer and 0,28 in winter. These findings, which closely align with reference values, it is examined that the albedo value for the surfaces may change due to angle of incidence in summer and winter by obtaining closely aligned results to the reference values. The slopes of pixels were determined using 5-meter resolution digital surface models to compute reflected radiation after calculating pixel-based albedo values for both seasons. 3D solar radiation maps were generated using the ArcGIS Area Solar Radiation Module to calculate shading effects in required total radiation while reflected radiation is calculated. As a result, it was determined that reflected radiation can contribute to an increase of approximately 5% to 7% in total radiation on especially steep sloped terrain.

Keywords: Solar Reflectance Coefficients, Google Earth Engine Platform, Solar Panels, Solar Radiation

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, tez çalışmam süresi boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Prof.Dr. Hakan KARABÖRK'e çalışmam boyunca ikinci danışmanım olarak benden desteğini esirgemeyen Prof.Dr. Selmin ENER RÜŞEN'e, tez sürecinde kendisinden çok destek aldığım Doç.Dr. Fatih SARI'ya, lisans eğitimimden itibaren desteklerini eksik etmeyen Prof.Dr. Ferruh YILDIZ'a ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eşim Nilay YILDIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Alper YILDIZ
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

ÖNSÖZ ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xi**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xiv**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **9**

3. METODOLOJİ VE MATERYAL **19**

3.1. Güneş Radyasyonu ve Çeşitleri 19
3.1.1. Direk güneş radyasyonu 19
3.1.2. Dağınık güneş radyasyonu 19
3.1.3. Yansıyan güneş radyasyonu 19
3.1.4. Küresel güneş radyasyonu 21
3.2. Fotovoltaik Güneş Sistemleri 22
3.3. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli 26
3.4. Yüzey Yansıma Katsayısı (Albedo) 28
3.5. Küresel Güneş Radyasyonu Tahmin Modelleri 33
3.5.1. HELIOSAT 33
3.5.2. NASA SSE (Surface meteorology and solar energy) 34
3.5.3. NREL (National renewable energy laboratory) solar prospector 35
3.5.4. WRF-Solar (Weather research and forecasting model - solar) 35
3.5.5. SOLIS (Solar irradiance information system) 36
3.5.6. Küresel güneş radyasyonu tahmin modelleri 36
3.5.6.1. Lineer modeller 36
3.5.6.2. Polinomal modeller 40
3.5.6.3. 3. Derece polinomal modeller 43
3.5.7. Area solar radiation eklentisi ile küresel güneş radyasyonu verilerinin oluşturulması 44
3.5.7.1. Yarı küresel görüş alanının hesaplanması 46
3.5.7.2. Yarı küresel görüş alanından gökyüzü sektörlerinin hesaplanması 47
3.5.7.3. Gökyüzü haritasının oluşturulması 48
3.5.7.4. Işınım haritasının oluşturulması 49
3.5.7.5. ArcGIS Pro 2.8 küresel güneş radyasyonu hesabı 49
3.6. Elektromanyetik Enerji ve Elektromanyetik Spektrum 52
3.7. Uydu Sistemleri 56
3.7.1. LANDSAT 57
3.7.2. SENTINEL 60
3.7.3. MODIS (The moderate resolution imaging spectroradiometer) 62

3.7.4 ASTER GDEM 64
3.8. Google Earth Engine Platformu 66

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 70

4.1. Çalışma Alanı Seçimi 70
4.1.1 Çalışma alanının büyüklüğü 70
4.1.2. Yaz ve kış ayları için istenilen çözünürlükte uydu görüntülerinin bulunması 70
4.1.3. Yükseklik farkları fazla olan bir bölgenin seçilmesi 72
4.2. Google Earth Engine Platformunun Hazırlanması 74
4.3. Çalışma Alanı Sınırlarının Tanımlanması 74
4.4. Kullanılan Görüntülerin Filtrelenmesi 75
4.5. Görüntülerden Albedo Değerlerinin Hesaplanması 77
4.6. Bozuk Albedo Piksellerinin Düzenlenmesi 82
4.7. Area Solar Radiation(ASR) Eklentisi ile Radyasyon Haritalarının Üretilmesi ... 96
4.8. Çalışma Alanının Albedo Etkisi Hesaplanmış Yansıyan Radyasyon Değerleri ile Küresel Güneş Radyasyonunun Belirlenmesi 117
4.9. Toplam Güneş Radyasyonu Değerleri ile Yansıyan Radyasyon Değerleri Eklenmiş Toplam Küresel Güneş Radyasyonu Değerlerinin Karşılaştırılması 129

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 136

5.1 Sonuçlar 136
5.2. Öneriler 139

KAYNAKLAR 141

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Güneş ışınımının yansıtılması (URL 1)..... 20
Şekil 3.2. Albedo değerlerinin yansıma ile ilişkisi (URL 2) 21
Şekil 3.3. Fotovoltaik güneş paneli yapısı (URL 3) 23
Şekil 3.4. Güneş paneli ile elektrik üretim süreci (URL 5) 24
Şekil 3.5. Güneş paneli içerisindeki elektrik üretim süreci ve katmanları (URL 5)..... 25
Şekil 3.6. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) (URL6)..... 26
Şekil 3.7. Gökyüzünün yönlerini tasvir eden küresel fotoğraf (URL 7) 45
Şekil 3.8. Gökyüzü yönlerinin şekil üzerinde gösterilmesi (URL 7) 46
Şekil 3.9. Güneş haritası ve sektörleri (URL 7) 47
Şekil 3.10. Güneş zenit ve azimut açıları ve sektörleri (URL 7)..... 48
Şekil 3.11. Işınım haritasının tasviri (URL 7) 49
Şekil 3.12. Elektromanyetik dalganın özellikleri (URL 8)..... 53
Şekil 3.13. Elektromanyetik spektrum çizelgesi (URL 9)..... 54
Şekil 3.14. Görünür bölge dalga boyları (URL 10)..... 54
Şekil 3.15. LANDSAT uydu görüntüsü 58
Şekil 3.16. SENTINEL uydu görüntüsü (URL 12) 61
Şekil 3.17. ASTER GDEM yükseklik verisi (URL 13) 65
Şekil 3.18. Google Earth Engine platformu ara yüzü (URL 14) 67

Şekil 4.1. 2017 Şubat ve Temmuz ayları Ermenek bölgesi Google Earth görüntüsü 71
Şekil 4.2. Yükseklik profili düzenli olan bölge..... 72
Şekil 4.3. Yükseklik profili düzensiz olan bölge..... 73
Şekil 4.4. Çalışma alanı..... 73
Şekil 4.5. GEE konumsal veri setleri kataloğu (URL 15) 75
Şekil 4.6. GEE platformunda elde edilen yaz ve kış SENTINEL uydu görüntüleri 77
Şekil 4.7. Hesaplanan yaz dönemi albedo değerleri..... 80
Şekil 4.8. Hesaplanan kış dönemi albedo değerleri..... 81
Şekil 4.9. Hesaplanan albedo raster verilerinin albedo değeri dağılım histogramı 83
Şekil 4.10. Kış dönemi albedo haritasından alınan bazı piksel albedo değerleri 84
Şekil 4.11. Örnek bir 5x5 kernel penceresi 84
Şekil 4.12. Düzeltilmiş albedo raster verilerinin sınıf değerleri dağılım grafiği..... 85
Şekil 4.13. 1 üzeri albedo değerleri düzeltilmiş yaz dönemi albedo haritası 86
Şekil 4.14. 1 üzeri albedo değerleri düzeltilmiş kış dönemi albedo haritası 87
Şekil 4.15. Farklı kontrasta değerlerine sahip yaz dönemi haritası çalışma bölgeleri.... 88
Şekil 4.16. Yaz dönemi 1. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı..... 89
Şekil 4.17. Yaz dönemi 2. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı..... 90
Şekil 4.18. Yaz dönemi 3. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı..... 91
Şekil 4.19. Farklı kontrasta değerlerine sahip kış dönemi haritası çalışma bölgeleri 92
Şekil 4.20. Kış dönemi 1. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı 93
Şekil 4.21. Kış dönemi 2. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı 94
Şekil 4.22. Kış dönemi 3. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı 95
Şekil 4.23. ASR parametreleri uygulama 1 100
Şekil 4.24. ASR parametreleri uygulama 2 100
Şekil 4.25. ASR parametreleri uygulama 3 101
Şekil 4.26. ASR parametreleri uygulama 4 101
Şekil 4.27. ASR parametreleri uygulama 5 102
Şekil 4.28. ASR parametreleri uygulama 6 102

Şekil 4.29. ASR parametreleri uygulama 7 103
Şekil 4.30. ASR parametreleri uygulama 8 103
Şekil 4.31. ASR eklentisi parametre giriş arayüzü 105
Şekil 4.32. Dağınık radyasyon yaz dönemi verisi 106
Şekil 4.33. Dağınık radyasyon kış dönemi verisi 107
Şekil 4.34. Piksellerin dağınık radyasyon yaz ve kış dönemi yıllık W/m^2 radyasyon değerleri 108
Şekil 4.35. Doğrudan radyasyon yaz dönemi verisi ve histogramı 109
Şekil 4.36. Doğrudan radyasyon kış dönemi verisi 110
Şekil 4.37. Piksellerin doğrudan radyasyon yaz ve kış dönemi yıllık radyasyon değerleri 111
Şekil 4.38. Doğrudan+dağınık radyasyon yaz dönemi verisi 112
Şekil 4.39. Doğrudan+dağınık radyasyon kış dönemi verisi 113
Şekil 4.40. Piksellerin doğrudan+dağınık radyasyon yaz ve kış dönemi yıllık radyasyon değerleri 114
Şekil 4.41. Doğrudan güneşlenme süresi yaz dönemi verisi 115
Şekil 4.42. Doğrudan güneşlenme süresi kış dönemi verisi 116
Şekil 4.43. Yaz ve kış dönemi yıllık toplam saatlik güneşlenme süreleri 117
Şekil 4.44. Albedo etkili yansıyan radyasyon yaz dönemi verisi 119
Şekil 4.45. Albedo etkili yansıyan radyasyon kış dönemi verisi 120
Şekil 4.46. Piksellerin hesaplanan yansıyan radyasyonu yaz ve kış dönemi yıllık değerleri 121
Şekil 4.47. Piksellerin Yaz Dönemi hesaplanan yansıyan radyasyonu çalışma alanı bölgeleri 122
Şekil 4.48. Yaz dönemi 1. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı 123
Şekil 4.49. Yaz dönemi 2. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı 124
Şekil 4.50. Yaz dönemi 3. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı 125
Şekil 4.51. Piksellerin Kış Dönemi hesaplanan yansıyan radyasyonu çalışma alanı bölgeleri 126
Şekil 4.52. Kış dönemi 1. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı 127
Şekil 4.53. Kış dönemi 2. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı 128
Şekil 4.54. Kış dönemi 3. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı 129
Şekil 4.55. Yaz dönemi 1. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması 130
Şekil 4.56. Yaz dönemi 2. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması 131
Şekil 4.57. Yaz dönemi 3. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması 132
Şekil 4.58. Kış dönemi 1. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması 133
Şekil 4.59. Kış dönemi 2. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması 134
Şekil 4.60. Kış dönemi 3. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması 135

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1. Türkiye geneli Güneş enerjisi istatistikleri 27
Çizelge 3.2. Bölgelerin Güneş enerjisi istatistikleri 27
Çizelge 3.3. Bazı arazi kullanım sınıflarının albedo değerleri 29
Çizelge 3.4. MODIS ve SENTINEL uydu görüntüleri arasındaki albedo dönüşüm matrisi 31
Çizelge 3.5. SENTINEL uydu görüntüsü albedo ağırlıkları 32
Çizelge 3.6. Ana spektrum aralıkları ve dalga boyları 55
Çizelge 3.7. Dalga boyları ve kullanım alanları 56
Çizelge 3.8. LANDSAT 8 ve LANDSAT 9 Operational Land Imager (OLI) bantları . 59
Çizelge 3.9. LANDSAT 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) bantları 59
Çizelge 3.10. LANDSAT 4-5 Thematic Mapper (TM) bantları 59
Çizelge 3.11. LANDSAT 1-5 Multispectral Scanner (MSS) bantları 59
Çizelge 3.12. SENTINEL 2A bantları 62
Çizelge 3.13. MODIS uydusu bant ve özellikleri-1 63
Çizelge 3.14. MODIS uydusu bant ve özellikleri-2 64

Çizelge 4.1. GEE çalışma sınırı tanımları 74
Çizelge 4.2. SENTINEL-2 Level-2A uyumlaştırılmış görüntülerini birleştirme ve kırpma işlemi 76
Çizelge 4.3. Görüntü detaylarının konsola yazdırılması 76
Çizelge 4.4. SENTINEL-2 Uydu görüntü özellikleri ve ağırlık katsayıları 78
Çizelge 4.5. Albedo hesaplama kodları 79
Çizelge 4.6. Hesaplanan albedo değerleri 95
Çizelge 4.7. ASR modülünde denenen parametre uygulamaları 104

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ABD: Amerika Birleşik Devletleri
AC: Alternatif Akım
API: Application Programming Interface
ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASR: Area Solar Radiation
AVHRR: Advanced Very-High-Resolution Radiometer
CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CFSv2: NCEP Climate Forecast System
DC: Doğru Akım
DEM: Digital Elevation Model
ESA: Avrupa Uzay Ajansı
ETM+ : Enhanced Thematic Mapper Plus
ERSDAC: Japonya Yeryüzü Uzaktan Algılama Veri Analiz Merkezi
GEE: Google Earth Engine
GEPA: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GDEM: Global Digital Elevation Model
GFS: Global Forecast System
GFSAD: Global Food Security-Support Analysis Data
GGİ: Güneş Gözlem İstasyonları
GHI: Global Horizaontal Irradiance
HELIOSAT: Meteorolojik Radar Uydusu
LST: Land Surface Temperature
LULC: Land Use-Land Cover
METI: Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı
MODIS: Moderate resolution Imaging Spectroradiometer
MSG: METEOSAT II.Nesil Uyduları
MSS: Multi Spektral Scanner
MW: Megavat
NAIP: ABD Ulusal Tarım Görüntüleme Programı
NASA: National Aeronautics and Space Administratio
NDVI: Normalised Difference Vegetation Index
NIR: Near-Infrared
NGA: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Coğrafi-İstihbarat Ajansı
NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
NREL: National Renewable Energy Laboratory
NSRDB: Ulusal Güneş Radyasyonu Veritabanı
PV: Photovoltaic
PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System
RMSE: Root Mean Square Error
SAM: Sayısal Arazi Modeli
SEVIRI: MSG Uydu Radyometresi
SOLIS : Solar Irradiance Information System
SSE: Surface Meteorology and Solar Energy
SWIR: Shortwave Nera-Infrared
SYM: Sayısal Yüzey Modeli

TIRS: Thermal Infrared
TM: Thematic Mapper
TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission
USGS: United States Geological Survey
WGS: World Geodetic System
WRF-Solar: Weather Research and Forecasting Model – Solar
VNIR: Visible and Near Infrared

1. GİRİŞ

Geleneksel enerji kaynakları, fosil yakıtlar ve gaz gibi, uzun yıllardır elektrik enerjisi üretiminde önemli bir rol oynamıştır. Ancak, bu kaynaklar dünyanın kirliliği ve küresel ısınmasının başlıca nedenleri olarak kabul edilmektedir ve bir gün yakın gelecekte tükenmeleri beklenmektedir (Başaran ve ark., 2015). Ayrıca, dünya nüfusunun artışı ve elektrik talebindeki artış, geleneksel enerji üretiminde sınırlamalara yol açabilmektedir. Bu nedenle, daha modern ve verimli yöntemler geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmış olmakla birlikte (Shaddel ve ark., 2016) fosil kaynaklar nedeniyle oluşan çevreye zararlı etkilerin azaltılabilmesi için yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Tarhan ve Sarı, 2005). Bu bağlamda, son yıllarda yenilenebilir enerji bu alanda ön plana çıkmaya başlamıştır. Çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi, erişilebilirliği, güvenliği, kirlilik yaratmaması, maliyet etkinliği ve çevre dostu olması nedeniyle büyük bir ilgi görmüştür (Khosravi ve ark., 2018).

Güneş enerjisi yalnızca elektrik enerjisi üretiminde kullanılmakla kalmaz, aynı zamanda güneş enerjili su ısıtma, tarım, odun kurutma, meteorolojik parametre tahmini ve uzay ekipmanları üretiminde de rol oynamaktadır (Premalatha ve Valan, 2016). Günümüzde, elektrik mühendisleri, geleneksel enerji ile yenilenebilir enerjinin büyük ölçüde bağlantılı şebekelerde entegre edilmesini veya yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarının izole bölgelerde kullanılmasını sağlamaya çalışmaktadır. Bu durumda, enerji üretimi ve tüketimi arasında bir denge sağlanarak, güç talebinin doğru ve kontrollü bir şekilde kullanılabilmesi gerekmektedir. Güneş enerjisinin kesintili doğası, elektrik yönetiminde bazı sorunlara yol açabilmektedir (Voyant ve ark., 2017). Bu nedenle, güneş enerjisinin en temel özelliği olan küresel güneş radyasyonunu doğru bir şekilde tahmin ederek bu dengeyi korumak için verimli yöntemler uygulanmalıdır. Bu, güneş panellerinin belirli hedeflere ulaşacak şekilde elektrik enerjisi üretmesini sağlamak için önemlidir (Besharat ve ark., 2013). Güneş enerjisinin gelecekte daha iyi bir vizyona sahip olduğunu doğrulamak için, yıllık radyasyonunun şu ana kadar bulunan tüm fosil yakıt enerjisinden 160 kat daha fazla olduğu kanıtlanmıştır (Teke ve ark., 2015).

Küresel Güneş Radyasyonu, güneşten gelen ve yer yüzeyine çarpan fotonları oluşturan elektromanyetik güç spektrumudur ve birimi watt/m² olarak alınmaktadır. Bu radyasyon, yatay bir yüzeye çarpan radyasyonu ifade etmekte olup, doğrudan gelen ışınım (doğrudan güneş ışığının dağılmadan geldiği radyasyon) ile dağınık radyasyonun (güneş ışığının atmosferde dağılması sonucu yönünün değişmesiyle gelen radyasyon) toplamıdır (Duffie ve Beckman, 1994). Türkiye, 36-42° kuzey enlem ve 26-45° doğu boylam arasında yer almakta olup, bulunduğu konum nedeniyle diğer ülkelere nazaran güneş enerji potansiyeli oldukça yüksektir (Ülgen ve Hepbaşlı, 2004; Aras ve ark., 2006). İstatistiklere göre, küresel güneş radyasyonu ülkemizde en az Karadeniz Bölgesi'nde (1.120 kWh/m^2) ve en fazla Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde (1.460 kWh/m^2) yıllık ortalama değerlerine sahiptir. Güneşlenme süreleri yıllık olarak incelendiğinde ise 1971 ve 2993 saat arasında dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Ülgen ve Hepbaşlı, 2004; Sözen ve Arçaklıoğlu, 2005; Aras ve ark., 2006; Bayram, 2020).

Küresel Güneş Radyasyonu, güneş enerji sistemlerinde doğru bir şekilde bilinmesi gereken en temel parametredir. Dolayısıyla, her bölge için doğru güç tahmini, şirketlerin en uzun süre verimli çalışabilecek farklı güneş panelleri üretmeleri için önemlidir. Her bölgede güneş radyasyonu, boylam, enlem, irtifa, hava koşulları, güneş saati, güneş süresi gibi çeşitli parametrelere bağlıdır ve bu nedenle bölgede bölgeye değişmektedir. Bu yüzden, etkili güneş sistemleri tasarlamak için radyasyon değerinin doğru bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Gelişmiş bazı ülkelerde, Küresel Güneş Radyasyonu'nu anlık olarak kaydeden pyranometre ve pyrheliometre gibi elektronik cihazlar meteorolojik istasyonlarda ayarlanmıştır. Ancak, bu cihazların bazı bölgelerde, örneğin Türkiye'deki bazı şehirlerde işlevsizlik veya yokluğu nedeniyle bu değerleri tahmin etmek için diğer alternatif yöntemler geliştirilmiştir (Bayrakçı ve ark., 2018). Bu nedenle, fiziksel ampirik yöntemler, şu ana kadar bulut indeksleri, güneş açısı, güneş saati, enlem-boylam gibi meteorolojik ve coğrafi parametreler arasındaki ilişkiler için kullanılmaktadır (Teke ve ark., 2015). Ayrıca, ampirik modeller genellikle basit regresyon modelleri olarak kabul edilmekte olup uygulanması diğer modellere göre daha kolaydır (Pandey ve Soupir, 2012).

Ülkemizin sahip olduğu yüksek değerdeki güneş enerji potansiyelinin tam olarak değerlendirilebilmesi, Küresel Güneş Radyasyonu değerinin gerçeğe yakın değerler ile tahmin edilmesine bağlı olmaktadır. Bu veri, kapasite belirlenmesi, uygun bölgelerin tahmin edilmesi, yatırım yapılacak öncelikli alanların belirlenmesi, mevcut olanların verimlilik analizleri gibi birçok alanda rehberlik yapabilecek karakteristiktedir (Ertekin ve Yaldız, 1999; Aras ve ark., 2006). Son yıllarda güneş radyasyonu ve onu oluşturan bileşenlerini doğru tahmin edebilmek oldukça önemli hale gelmiştir. Doğru güneş radyasyonu verisini tahmin edebilmek, mevcut ve planlanan tüm güneş enerji sistemlerinin fizibilitesi açısından oldukça kritik öneme sahiptir (Valinejad ve ark., 2018; Ghasemi ve ark., 2019; Ener Rusen ve Konuralp, 2020).

Güneş'ten gelen enerji, Dünya sisteminin dinamik, kimyasal ve biyolojik süreçlerini beslemektedir (Stephens ve ark., 2015). Bu enerji, güneş aktivitesi ile ilişkili olarak kısmi döngüsel değişimlere uğrar (Sofia ve Li, 2001), ve bu değişimin iklim değişkenliği üzerindeki önemiyle ilgili spekülasyonlar yüzyıllardır süregelen bir tartışma konusudur (Köppen 1873; Labitzke ve van Loon, 1992; Haigh 1996; Gray ve ark., 2010). Dünya tarafından uzaya geri saçılan güneş enerjisinin yaklaşık %29'u (veya kesirli birimlerde 0,29), gezegenin albedosu olarak adlandırılmakta olup zaman içindeki değişimi hakkında genellikle çok az bilgiye erişilebilmektedir. Holosen'den (11.000-12.000 yıl önce günümüze kadar sürmekte olan jeolojik devre) bu yana Dünya'nın iklimi oldukça stabil olmuştur; küresel ortalama yüzey sıcaklığının yaklaşık olarak 1000 ^{o}C kadar değiştiği bilinmektedir (IPCC, 2001; Moberg ve ark., 2005). İklim geri beslemelerinin olmadığı ve bugünkü 0,29 değeri için, albedoda %5'lik bir değişiklik yaklaşık olarak küresel yüzey sıcaklığında 1.000 ^{O}C'lik bir değişime denk gelmektedir (North ve ark., 1981).

Dünya'nın albedo değişkenliğini ve bunu tanımlayan faktörleri anlamanın önemli birkaç nedeni bulunmaktadır. Bunlar;

1- İklim sisteminin basit enerji denge modelleri, uzaya yansıtılan enerji miktarındaki küçük değişikliklere karşı oldukça hassastır. Yüzey sıcaklığını etkileyen albedo bu modellerde kritik bir rol oynar. Albedodaki küçük değişiklikler, gelen güneş enerjisi ile yansıtılan enerji arasındaki farkı (soğrulan güneş enerjisini) önemli ölçüde etkileyebilir. Bu durum, Dünya'nın

neredeyse tamamen buzsuz bir halden tamamen buzla kaplı bir hale dönüşmesine neden olabilecek kadar büyük bir değişim yaratabilir (Budyko, 1969; Cahalan ve North, 1979; Stephens ve ark., 2015).

2- Ayrıca albedo değişikliklerinin iklim sisteminin düzenlenmesinde potansiyel olarak önemli olduğu kurgulanmaktadır. Lovelock'un Gaia hipotezi (Lovelock, 1967), Watson ve Lovelock'un "Daisyworld" çalışmasında (1983) örneklendiği gibi, farklı albedolara (yansıma değerlerine) sahip biyota (flora) adaptasyonuyla sistem albedosunun düzenlenmesinin, iklim değişikliğine karşı tampon görevi görebileceğini öne sürmektedir (Stephens ve ark., 2015).

3- Bulutların güneş ışığını yansıtması, önemli bir iklim değişikliği geri bildirim mekanizması sağlamaktadır. Küresel ısınma simülasyonlarındaki azalan düşük bulut miktarına bağlı olarak yansıtılan güneş ışığında azalma (Clement ve ark., 2009), pozitif bir geri bildirim oluştururken, ısınmayla artan bulut su içeriği ise negatif bir geri bildirim şeklidir (Paltridge, 1980; Sommerville ve Remer, 1984). Bu geri bildirimleri belirsizlik olmaksızın nicelendirme konusundaki güçlükler, iklim değişikliği tahminlerindeki önemli engellerden biri olarak kabul edilmektedir (Bony ve Dufresne, 2005; Andrews ve ark., 2012; Vial ve ark., 2013; Stephens ve ark., 2015).

4- Daha yerel ölçekte, Dünya'nın albedosu, üzerinde etkisi olabilecek diğer içsel değişikliklere karşı dirençli görünmektedir. Örneğin, aerosollerin etkisiyle bulutlarda meydana gelen albedo değişiklikleri, telafi edici mekanizmalar sayesinde dengeleniyor gibi görünmektedir (Stevens ve Feingold, 2009). Bu durum, aerosol etkilerinin yerel albedo değişimlerini sınırlamasına neden olmaktadır (Christensen ve Stephens, 2011; Chen ve ark., 2012). Bu yerel dengeleme mekanizmaları, bulut albedosunu kullanarak iklim değişikliğini hafifletmeyi amaçlayan önerilerin etkisini daha karmaşık hale getirmektedir (Stephens ve ark., 2015).

5- Dünya'nın albedosunun dengelenmesi aynı zamanda kar/su yüzeyi albedo geri bildirimi ve bulut geri bildirimleri gibi diğer önemli iklim geri bildirimlerine de bağlıdır (Hall ve Qu, 2006). Örneğin, kar-albedo geri

bildiriminin büyüklüğünün, yüksek enlemlerde kar örtüsünün mevsimsel olarak geri çekilip ilerlemesiyle ilişkili yüzey albedo değişikliklerine bağlı olduğu öne sürülmüştür. Bu durum, Dünya'nın denge iklim hassasiyetini sınırlayan birkaç önemli model özelliğinden biri olarak kabul edilmektedir. (Caldwell ve ark., 2014; Stephens ve ark., 2015).

6- Düşük enlemlerden yüksek enlemlere enerji taşınımının, atmosfer ve okyanus sisteminin yapısı ve dinamiklerinden çok, güneş sabiti, Dünya'nın boyutu, eksen eğikliği ve yarım kürelerin ortalama albedosu gibi dışsal faktörlerle belirlendiği öne sürülmüştür (Stone, 1978; Enterton ve Marshall, 2010). Ekvator ile kutuplar arasındaki gezegen albedosundaki model farklılıkları nedeniyle, yıllık ortalama kuzey-güney ısı taşınımındaki maksimum değerin yaklaşık %20 oranında değiştiği gösterilmiştir (Stephens ve ark., 2015).

Küresel güneş radyasyonunu belirlemede veya tahmin etmede kullanılan modeller, istatistiki, fiziki ve makine öğrenmesi(hibrit) olarak 3 kategoride sınıflandırılmaktadır. İstatistiki modeller genellikle zaman serilerini kullanarak mevcut verileri göz önüne alarak bir tahmin oluşturmaktadır. Fiziki ölçümler ise gerçek ölçümlere dayanmakta olup küresel radyasyonun kesin olarak belirlenmesinde kullanılırlar. Fiziki ölçümler gerçek andaki tüm etmenler (bulutluluk, atmosferik koşullar, vb.) değerlendirilebilirken, istatistiki yöntemlerde bu etmenler genel kabuller kullanılarak göz önüne alınmaktadır. Makine öğrenmesi modelleri ise belirli bir öğrenme sürecinden ve veriler arasındaki korelasyon-regresyon gibi bağımlılık ölçütlerini göz önüne alarak öğrenme gerçekleştirdiğinden fiziki ölçümlere çok daha yakın sonuçlar verebilmektedir. Dolayısıyla çok fazla eğitim verisine sahip olunması durumunda makine öğrenme algoritmaları radyasyon tahmininde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir (Olcan, 2015; Demirgül vd., 2023).

Güneş radyasyonu hesaplamalarında önemli bir etken de yüzey albedosudur. Albedo, Latincede beyazlık anlamına gelmekte olup, bir yüzeyin albedosu, yüzeyin yansıttığı güneş ışığını oranıdır. Yansıtılmayan radyasyon, yüzey tarafından emilir. Emilen enerji yüzey sıcaklığını artırır, kar ve buzu eritir ve suyu buharlaştırır. Bu nedenler yer yüzeyinin ısınmasına neden olur. Yansıyan güneş ışığının spektral ve

açısal yönü, yüzey özellikleri, örneğin bitki örtüsünün özellikleri ve doğası hakkında bilgi çıkarmak için kullanılır. Ayrıca, atmosfer bileşenlerini belirlerken (örneğin, sis parçacıklarının miktarı, boyutu ve optik özellikleri gibi) albedo göz önünde bulundurulmalıdır. Karasal alanlarda, bulutsuz koşullarda yansıyan güneş ışığının en büyük bileşeni yüzey tarafından yapılan yansımadan kaynaklanır. Bu nedenle, atmosfer bileşenlerinin yansıyan güneş ışığından belirlenmesi, yansıtan yüzeyin katkısının doğru bir şekilde bilinmesini gerektirmektedir. Farklı yüzeylerin farklı albedoları vardır. Okyanuslar, göller ve ormanlar, gelen güneş ışığının nispeten küçük bir kısmını yansıtarak düşük albedolara sahipken; kar, deniz buzu ve çöller, gelen güneş ışığının nispeten büyük bir kısmını yansıtarak yüksek albedo değerlerine sahip olmaktadırlar. Ancak albedonun, yüzeyin içsel bir özelliği olmadığını anlamak önemlidir. Bunun yerine, herhangi bir yüzey için albedo, gelen ışığın spektral ve açısal dağılımlarına bağlıdır; bu dağılımlar ise atmosfer bileşimi ve güneşten gelen ışık ışınının yönü tarafından belirlenmektedir (Coakley, 2003; Stephens ve ark., 2015; Dobos, 2020).

İdeal olarak, yüzeyler bileşenlere ayrılarak her bileşen, ışığın dalga boyu ve açısal yansıma bağımlılığı için kendi içsel optik kurallarına göre ışığı yansıtabilmektedir. Ancak pratikte, uzaydan gözlemlenen birkaç metre ile birkaç kilometre çözünürlükte yüzeyler, bileşenlerin ve geometrik yapıların karmaşık karışımlarını sergilemektedir. Bu ölçeklerde yüzeyler, toprak, bitki örtüsü, dallar, taşlar, kar, buz, su vb. herhangi bir karışımdan oluşabilmektedir. Manzara mekânsal olarak homojen olsa bile, bireysel yüzey elemanlarının, örneğin bir çöldeki kum tanelerinin veya bir kar birikintisindeki kar taneciklerinin yansıması, optik ilkeler doğrultusunda ele alınması o kadar zor olabilir ki, yansıma tahminleri tamamen imkansız hale gelebilmektedir. Ayrıca, topoğrafya ve buna bağlı gölgelenme daha fazla karmaşıklık oluşturmaktadır. Bu nedenle, pratik uygulamalarda yüzeyler genellikle birkaç bileşene, hatta sadece bir veya iki bileşene indirgenerek ve bireysel bileşenler için yansıma spektral ve açısal dağılımları büyük ölçüde basitleştirilmektedir (Coakley, 2003; Stephens ve ark., 2015).

Yüzey yansımasının spektral bağımlılığının basitleştirilmesi genellikle yüzeyin yansıma özelliklerinin makul bir şekilde sabit kaldığı dalga boyu aralıkları kullanılarak yapılmaktadır. Yüzey yansımasının açısal bağımlılığının basitleştirilmesi ise genellikle gelen ışığın iki bileşene ayrılması yoluyla yapılmaktadır. İlk bileşen atmosferde

emilmeden veya dağılmadan doğrudan gelen ışık ışını, ikinci bileşen ise doğrudan ışınla belirgin şekilde farklı yönlere dağılmış güneş ışığıdır. Bu basitleştirmeler, yüzey türlerinin küresel envanteri ile birlikte kullanılarak küresel yüzey albedo haritaları üretmek için kullanılmaktadır. Ancak bu haritalar yalnızca temel tahminler sunduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Daha önce belirtilen karmaşıklıklar nedeniyle, uydu gözlemlerinden küresel yüzey albedo haritalarını oluşturma sistematik girişimleri 2000'li yılların başlarında oluşturulmaya başlamıştır (Coakley, 2003).

1.1.Tezin Önemi, Özgün Değeri, Amaç ve Hedefleri

Günümüzde güneş enerjisi, ülkemizin ortalama 2.737 saat güneşlenme süresi ve uygun coğrafi konumu nedeniyle tercih edilen en önemli yenilenebilir enerji kaynağı haline gelmiştir. Son yıllarda dünya genelinde yenilenebilir enerji üretimi üzerine çok fazla yatırım yapılmakta olup bu oran her geçen yıl artmakla birlikte bu kapsamda en büyük payı güneş panelleri yardımı ile elektrik üretimi almıştır. Bu nedenle gerek güneş enerji üretim çiftlikleri gerekse yapıların çatılarına kurulan paneller sayesinde güneş enerji üretimi her geçen gün artmaktadır. Bu öneme istinaden güneş panellerinden maksimum verimi elde etmek için güneş panellerinin optimum bölgelere kurulması ve uygun olan bölgelerin analiz edilmesi ihtiyacı doğmuştur. Güneş panellerinde elektrik üretimini etkileyen en önemli unsur güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi olduğundan, seçilecek bölgelerin bu parametrelerde en yüksek değere sahip olan bölgelere kurulması gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla güneş radyasyonu değerleri hesaplanırken gerçek arazi yüzeyi göz önüne alınarak gerekli bu parametreler bölge özelinde bilinmesi gerekmektedir. Tüm bu öneme ek olarak, son yıllarda gelişen güneş paneli teknolojisinde klasik güneş panellerinden farklı olarak iki yüzlü olarak adlandırılan ve her iki yüzünde de elektrik üretimi sağlayan panellerin çoğaldığı görülmektedir. İki yüzlü güneş panellerinin en önemli özelliği, doğrudan güneş gören üst yüzeyine ek olarak yerden yansıyan güneş ışığını kullanarak da elektrik üretebilmesidir. Bu nedenle daha çok elektrik üretimi sağlayabilmek için Albedo değeri olarak adlandırılan ve yerden yansıyan güneş ışığını mümkün olduğunca fazla olmasını sağlamak için açık renkli ya da parlak yer yüzeyleri seçilerek ya da oluşturularak bu Albedo değerini artırma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Her ne kadar bazı uygulamalarda yapay yüzeylerle Albedo değerinin artırılması gerçekleşse de doğal yüzeylerin Albedo değerlerinin bilinmesi bu noktada yer seçimi için büyük önem taşımaktadır.

Günümüzdeki güneş radyasyonu tahmin modelleri çok büyük oranda yatay düzlemde yapılmakta olup, arazi topoğrafyasından kaynaklı gölgelenme ve güneşlenme süresi göz ardı edilmektedir.

Bu çalışmada; uygun yer seçiminde göz önüne alınacak en önemli gösterge olan global güneş radyasyonu hesabının yapılması için klasik yatay düzlemde hesap yapan formüllere ve uygulamaların aksine bölgenin gerçek radyasyon ve güneşlenme süresini belirleyebilmek için 3 boyutlu Sayısal Yüzey Modeli kullanmak amaçlanmıştır. Ayrıca; global güneş radyasyonu hesabına albedo değerleri vasıtasıyla yansıyan radyasyon etkilerinin de hesaplanarak toplam radyasyon değerine etkilerinin irdelenmesi amaçlanmıştır.

Tez kapsamında;

- ✓ Yükseklik farklarının fazla olduğu, farklı albedo değerlerini hesaplamak için yaz/kış ayları iklim değişikliğinin olduğu ve güneş radyasyonu açısından yüksek potansiyeli olan bir bölgenin belirlenmesi,
- ✓ Nispeten yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden yararlanılarak albedo değerlerinin hesaplanması
- ✓ Sayısal Yüzey modelinden yararlanarak 3 boyutlu dağınık, doğrudan radyasyon haritalarının ve güneşlenme süresi haritalarının oluşturulması,
- ✓ Hesaplanan albedo değerleri ile sayısal yüzey modelinden çıkartılan eğim değerleri ile yansıyan radyasyon miktarının belirlenmesi
- ✓ 3 boyutlu toplam radyasyon değerleri ile bu değerlere eklenmiş yansıyan radyasyon değerli toplam radyasyon haritalarının oluşturulması ve etkilerinin incelenmesi

hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynaklarda Dünya genelinde çok fazla güneş radyasyonu belirleme üzerine yapılan çalışma bulunmaktadır. Her bölge kendine özgü bir hesaplama yöntemi ve katsayı değeri ihtiva ettiğinden bu kısımda Türkiye ve Dünya'da gerçekleştirilen çalışmalar için örnekler verilmiştir. Kaynak araştırmasında doğrudan albedo ve 3 boyutlu arazi yüzeyinin etkisinin araştırılması üzerine herhangi bir çalışma bulunmadığından bu kısımda yatay yüzeyde güneş radyasyonu belirleyen çalışmalara yer verilmiştir.

Güneş radyasyonunu tahmin etmek için yapılan ilk ve en önemli çalışma Angstrom (1924) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu modelde küresel radyasyonun Dünya dışı güneş radyasyonuna oranı ve güneşlenme süresinin gün uzunluğuna oranı dikkate alarak kullanılmaktadır. Genel olarak katsayı sabitlerinin her bölge için belirlenmesi gerekmekte olup, tüm bölgeler için uzun yıllar bu çalışma temel alınarak yeni formüller geliştirilmiştir.

Hottel (1958), standart atmosfer ve dört farklı iklim tipi için zenit açısı ve yükseklik cinsinden açık atmosferden geçen küresel güneş radyasyonunu tahmin etmek amacıyla bir model sunmuştur. Atmosferik geçirgenlik olaraktan ifade ettikleri parametre ile belirli bir bölgeye ulaşan küresel güneş radyasyonunu tahmin etmiştir.

Machler ve Iqbal (1985), son yıllarda güneş radyasyonu araştırmalarındaki gelişmeleri dikkate alarak geliştirdikleri ASHRAE modelinin A, B ve C sabitlerini değiştirmiştir. Sadece Kanada için yaptıkları çalışma ile ortalama 0,965 RMSE değeri ile küresel güneş radyasyonunu tahmin etmişlerdir.

Kasten ve Young (1989), hava kütlesi mm, atmosferin entegre Rayleigh saçılma optik kalınlığı ε\varepsilonε ve Linke bulanıklık faktörü TRT_RTR cinsinden doğrudan yersel küresel güneş radyasyonu için ampirik bir ilişki geliştirmiştir. Böylece bu parametrelerin bilindiği bölgelerde küresel güneş radyasyonu hesabı yapabilmektedir.

Perez ve ark. (1990), doğrudan normal küresel yersel güneş radyasyonunu tahmin etmek için bir korelasyon önermişlerdir. Korelasyon analizi, ile güneş radyasyonu parametrelerini analiz ederek 3 adet katsayı üretmişlerdir.

Taşdemiroğlu ve Sever (1991), İstanbul, İzmir, Diyarbakır, Ankara ve Antalya illeri için farklı korelasyon yöntemleri kullanarak küresel güneş radyasyonu tahmini gerçekleştirmiştir. Bu illerde elde edilen ölçüm değerleri kullanılarak yapılan çalışmada ortalama yaygın fraksiyon, netlik indeksi ve göreli güneşlenme süresi saat verisi ile oldukça yüksek korelasyon göstermiştir. Bu iller için küresel güneş radyasyonu tahmininde kullanılabilecek katsayıları belirlemişlerdir.

Nijegorodov (1996), Botswana'daki açık günler için ASHRAE modelinin A, B ve C sabitlerini, Botsvana Üniversitesi, Botsvana Teknoloji Merkezi ve bazı sinoptik istasyonlarda kaydedilen farklı küresel güneş radyasyonu bileşenlerinin analiziyle revize etmiştir. Elde ettiği veriler ile bazı sabitleri değiştirerek sadece Bostswana'ya ait küresel güneş radyasyonu hesabı için bir formül geliştirmiştir.

Tiriş ve ark. (1996), yataydaki küresel güneş radyasyonunu aylık ortalama güneşlenme saatleri ile kıyaslayarak bir ilişki denklemi oluşturmuşlardır. 1988-1992 yılları arasında Gebze'de yapılan ölçümlere dayanan hesaplamalar sonucunda oluşturulan korelasyon modelleri, çeşitli doğruluk yöntemleri ile test edilmiştir.

Parishwad ve ark. (1997), ASHRAE modelinin küresel güneş radyasyonunu tahmin ederken ortalama %92 (aralık: %81–125), dağınık radyasyonu tahmin ederken %68 (aralık: %60–71) ve küresel radyasyonu tahmin etmişlerdir. Ayrıca, Hindistan'daki altı şehrin ölçülen güneş radyasyonu verilerinin regresyon analiziyle ASHRAE modelinin A, B ve C sabitlerini değerlendirmişlerdir.

Kaygusuz (1999), Trabzon ilinde ölçülen küresel güneş radyasyonu verilerini gruplandırarak günlük, aylık ve saatlik ortalama şeklinde işleme almıştır. 1990-1993 yılları arasındaki veriler kullanılarak yapılan çalışmada saatlik ve aylık ortalama güneş radyasyonları için korelasyon modelleri ortaya konulmuştur.

Ertekin ve Yaldız (2000), Antalya ili için küresel güneş radyasyonu tahmini gerçekleştirmek için 26 farklı modelin uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Farklı doğrulama yöntemleri ile yapılan testlerde Sri Lanka için önerilen bir modelin Antalya ili güneş radyasyonu tahmininde en iyi sonucu verdiği ortaya konulmuştur.

Şen ve Tan (2001), aylık, günlük ve saatlik küresel güneş radyasyonu hesaplamalarında kullanabilmek için Türkiye'nin Kuzeybatı illerini kapsayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Farklı modelleri deneyerek yaptıkları analizde model parametrelerinin değiştirilmesi ile modellerin farklı bölgeler içinde doğru sonuç verebileceğini ortaya çıkartmışlardır. Önerdikleri 3 farklı denklem ile istenilen parametrelerin hassas bir şekilde belirlenebileceği ve bahsedilen 3 parametre arasında çok güçlü bir korelasyon olduğunu belirlemişlerdir.

Ülgen ve Hepbaşlı (2004), günlük netlik indeksi ve günlük dağınık radyasyon değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için İzmir ili bünyesindeki gözlemlere dayanarak bir analiz gerçekleştirmişlerdir. 1994-1998 yılları arasında gerçekleştirilen ölçümler kullanılarak kaynaklarda bulunan 16 farklı modelin denenmesi yapılmıştır. Çeşitli doğruluk göstergeleri kullanılarak yapılan testlerde kullanılan tüm modellerin İzmir ili için konumdan bağımsız olarak kullanılabileceği ileri sürülmüştür.

Tarhan (2005), Karadeniz bölgesinde yer alan Samsun, Tokat, Kastamonu, Amasya ve Ordu illerinde küresel güneş radyasyonu belirlemek amacıyla 10 farklı gözlem verisine dayalı bir kuadratik polinom (ikinci dereceden polinom) denklemi üretmiştir. Oluşturulan hibrid model, doğrudan radyasyon ve günlük ortalama güneş radyasyonu verilerini tahmin etmede kullanılan 6 modelin tahminlerine dayanarak geliştirilmiştir.

Aras ve ark. (2006), İç Anadolu bölgesinde yer alan (Yozgat, Eskişehir, Ankara, Afyon, Çorum, Konya, Kırşehir, Çankırı, Kayseri, Niğde, Sivas ve Nevşehir) 12 ilde güneş radyasyonu tahmini için hibrid bir model üretmişlerdir. Kaynaklarda yer alan ve güneş radyasyonu tahmininde kullanılan birçok model göz önüne alınmış ve yataydaki günlük ortalama güneş radyasyonunu tahmin etmek için 20 yeni hibrid model üretilmiştir. Herhangi bir gözlem değeri kullanılmayan çalışmada tüm illeri kapsayan modeller üretilmiştir.

Menges ve ark. (2006), kaynaklarda bulunan modelleri inceleyerek Konya ili için bu modelleri test etmişlerdir. Aylık ortalama küresel güneş radyasyonu miktarı tahmini için kullanılan meteorolojik veriler, toplamdaki 50 model ile denenmiştir. Sonuçlar irdelenerek Konya ili için en uygun olan model tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak Konya ili için tek bir model uygun görülmüş olmasına karşın, diğer modeller Konya iline göre kalibre edilerek kullanıma sunulmuştur.

Bulut ve Büyükalaca (2007), küresel güneş radyasyonu tahmininde kullanılabilecek basit formda bir formül geliştirmişlerdir. Yılın günlerine göre belirlenen güneş geliş açısının farklılaşmasını temel alarak oluşturulan trigonometrik fonksiyonda Türkiye'nin farklı bölgelerinde yer alana 68 konum için son 10 yıllık veriler baz alınarak deneme yapılmıştır. Model deneme sonucunda eğer uzun yıllar ölçüm verisi bulunması halinde tahminlerin tutarlı olduğu anlaşılmıştır. Farklı bölgedeler de kullanılabilirliğinin ise göreceli olarak bölgelere göre farklı hassasiyetlerde mümkün olduğunun ileri sürmüşlerdir.

Özdemir (2012), küresel güneş radyasyonu değerlerini hesaplamak amacıyla uydu görüntülerinden yararlanmıştır. MSG-2 meteoroloji uydusunun SEVIRI radyometresi verileri kullanılarak bulut indeksleri elde edilmiş ve hesaplanan bulut indeksleri, uydu tabanlı kuadratik modelde kullanılmıştır. Tüm Türkiye'nin 2007 yılına ait aylık ortalama küresel güneş radyasyonu değerlerler yaklaşık 20 kilometre çözünürlükle hesap edilmiştir. Altı farklı meteoroloji istasyonundan elde edilen ölçümler ile uydu görüntülerinden hesaplanan küresel güneş radyasyonu verileri karşılaştırılmış ve modelin değerlendirilmesi için çeşitli doğruluk analizleri yapılmıştır. Çalışmada 2007 yılı için yüksek çözünürlüklü ve düşük hata oranına sahip aylık ortalama küresel radyasyon verileri, MSG-2 uydu görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir.

Ener Ruşen ve ark. (2013), uydu görüntülerini güneşlenme süresi ölçümleriyle harmonize ederek günlük küresel güneş ışığının tahmin edilmesinde doğruluğunu artırmak için iki yeni alternatif yaklaşım geliştirmişlerdir. Türkiye ve Almanya'daki bazı bölgelerde yapılan çalışmada, HELIOSAT ve Angström modellerinin tahminleri ile karşılaştırılmış ve günlük küresel güneş radyasyonu regresyonları ve hata analizleri kullanılarak kıyaslanmıştır. On farklı istasyon ölçümleri ile yapılan karşılaştırma da 9

istasyondaki veriler ile tahmin edilen veriler oldukça tutarlı olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, gelecekteki çalışmaların küresel güneş radyasyon değerlerini tahmin etmek için yer ölçüm verileri ile birlikte uzun ve kısa vadeli uydu görüntü verilerini kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir.

Genç (2014), Akdeniz bölgesi genelinde yatay yüzeye gelen toplam küresel güneş radyasyonu tahminini bazı trigonometrik denklemler ile ifade etmişlerdir. Doğrulama amaçlı olarak ölçülen değerler ile yapılan karşılaştırma da yıllara göre bazı farklılıkların meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bu farklılıkları gidermek için toplamdaki 6 il için trigonometrik formüller düzenlenmiştir. Her il için yapılan hesaplama ve doğrulama sonucunda Rietveld ve Kılıç – Öztürk modellerinin bölge için en iyi sonucu verdiği ve ölçüm değerleri yerine kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Bakırcı (2015), kaynaklarda bulunan 15 farklı modeli kullanarak yatay yüzeydeki küresel güneş radyasyonunu tahmin etmek için analizler yapmıştır. Toplamda 18 yaygın güneş radyasyonu modeli ve uzun yıllar güneşlenme süresi verileri de dahil edilerek modeller geliştirilmiştir. En iyi performansın, Güneş ışığı süresi ve netlik indeksine dayanan üçüncü dereceden polinom modelinde elde edildiği tespit edilmiştir.

Yenisey (2015), İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Kayseri, Ankara, Karaman ve Aksaray iller için güneş radyasyonu bileşenleri tespit etmiştir. Ölçülen saatlik küresel güneş radyasyon değerleri kullanılarak günlük küresel güneş radyasyon (H) değeri elde edilmiştir. Seçilen bir istasyon için atmosfer dışı güneş radyasyonu (H_0) ve gökyüzü açıklık indeksi ($KT=H/H_0$) bulunarak yatay ve eğik düzlemlere gelen küresel Güneş radyasyonu hesaplanmıştır. Eğik yüzeyler için 10 ve 90 derece eğimler arasında her 10 derecelik farklılıklar için güneş radyasyonu değeri hesaplanmıştır. Her bir açı değeri için hesaplanan küresel güneş radyasyonu bileşenleri değerleri grafikler ve tablolar kullanılarak yorumlanmıştır.

Karaveli ve Akınoğlu (2018), yatay bir yüzey üzerindeki küresel güneş radyasyonunun ve onu oluşturan bileşenlerinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere bir model geliştirmişlerdir. Elde edilen veriler, yüzey ölçümleri ile karşılaştırılarak karesel ortalama hata gibi istatistiksel doğruluk göstergeleri kullanılarak test edilmiştir.

Gerçek veri olarak ise meteorolojik ölçüm istasyonlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Sonuçlara göre ortaya konulan modelin oldukça doğru sonuçlar verdiği ortaya çıkarılmıştır.

Ener Ruşen (2018), Konya ve Karaman illeri genelinde gerçekleştirilecek olan güneş enerji santralleri kurulumu için HELIOSAT modelini kullanarak uygun yerlerin tespit edilmesini gerçekleştirmiştir. Toplamda 7 yıllık verilere dayanarak elde edilen sonuçlara göre küresel güneş radyasyonunun tahmin doğruluğu kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Elde edilen sonuçların benzer iklim koşullarına sahip olan başka iller için de kullanılabileceği öne sürülmüştür.

Ener Ruşen ve Konuralp (2020), Meteonorm, PVGIS ve HELIOSAT uydu temelli tahmin modellerini kullanarak 9 farklı il için küresel güneş radyasyonu tahmini gerçekleştirmişlerdir. Doğrulama amaçlı olarak elde edilen değerler ile yeryüzü ölçüm değerleri kıyaslanmıştır. Sonuçlara ve doğruluk analizlerine göre en doğru sonuçların HELIOSAT modeli tarafından elde edildiği sonucuna varmışlardır. Türkiye genelinde ölçüm verisi ile doğrulanmamış veya ölçüm verisi olmayan bölgelerde ise HELIOSAT modelinin kullanılabileceğini önermişlerdir.

Ağbulut ve ark. (2021), Nevşehir, Karaman ve Tokat illerindeki küresel güneş radyasyonu tahmini için iki yıllık gözlem verileri kullanılarak yapay sinir ağları, destek vektör makinaları ve en yakın komşuluk derin öğrenme algoritmalarını uygulamışlardır. Çeşitli doğruluk ölçütleri kullanılarak yapılan değerlendirmede yapay sinir ağları algoritmasının en yüksek doğruluğu verdiği belirlenmiştir.

Demir ve Çıtakoğlu (2023), destek vektör makineleri ve en yakın komşuluk gibi algoritmaları kullanarak küresel güneş radyasyonu tahmini gerçekleştirmişlerdir. Modellerdeki optimum eğitim değerini sağlamak ve girdi parametreler arasındaki benzerliği minimuma düşürmek için variance influance faktör analizini kullanarak benzer bilgiler taşıyan parametreleri elimine etmişlerdir. Meteorolojik istasyonların konumları, verileri ve zamansal farklılıkları göz önüne alınarak yapılan tahminlerin doğrulanması için farklı diyagramlar ve modeller kullanılmıştır. Sonuç olarak Türkiye'de kurak ve yarı kurak bölgelerde modelin kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Kaynaklarda albedo belirleme üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde yine çok sayıda ve farklı yöntemlerle albedo değerlerinin belirlenmesi üzerine çalışma olduğu görülmüştür. Günümüzde artık doğrudan albedo belirlemek yerine albedo değerlerinin iklimsel, çevresel ve meteorolojik etkilerini de değerlendiren çalışmaların daha da ağırlıklı olduğu görülmüştür. Başlıca ve önemli albedo ile ilgili çalışmalar ise aşağıda verilmektedir.

İlk albedo belirleme çalışmalarından olan Angström (1925) ile çeşitli yüzeylere ait albedo değerlerinin çeşitli aletler ile ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu yüzeylere ait farklı mevsimlerde elde edilen ölçüm değerleri karşılaştırılarak yıllık ortalama albedo değerleri elde edilmiştir. Bu alandaki ilk çalışma olan bu yayın ile birlikte halen albedo ölçümleri gelişen teknoloji ile birlikte aynı mantıksal bağlamda devam etmektedir.

Payne (1972), kısa dalga küresel güneş radyasyonu için deniz yüzeyinin albedosunun deneysel bir çalışması sabit bir platformda gerçekleştirmiştir. Yükselen ve alçalan ışıma toplamları, geniş bir atmosferik ve deniz koşulları yelpazesinde dört ay boyunca sürekli olarak on beş dakikalık aralıklarla kaydedilmiştir. Elde edilen albedo değerleri, yükselen ışımanın alçalan ışımaya oranı, özellikle kullanışlı bir parametre çiftine, güneş yüksekliği ve atmosferik geçirgenliğe (T) göre ifade edilmiştir. Atmosferik geçirgenlik, gözlemlenen alçalan ışımanın atmosferin üstündeki ışıma oranı olarak tanımlanmakta olup albedoyu tanımlamakta ilk defa bu yayında kullanılmıştır.

Nkemdirim (1972), bir dizi yüzeyin albedosu, yaklaşık 400 saat süren ölçümlerle, verileri bilgisayar kontrollü bir veri toplama sistemi tarafından kaydedilen Middleton solari-albedometreleri kullanılarak ölçmüştür. Her yüzeyin albedosu, güneş zenit açısına bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilmiş ve çoğu yüzeyde bu iki arasında güçlü ilişkiler elde edilmiştir. Tüm yüzeylerin, öğleden önce ve öğleden sonra gözlemlerine karşılık gelen iki karakteristik albedo zenit açısı eğrisini gösterdiğini belirlemişlerdir.

Charney ve ark. (1977), bir dizi sayısal simülasyonun sonuçlarını incelemişlerdir. Albedodaki değişikliklerin altı bölgede, ikişer tane Afrika, Asya ve Kuzey Amerika'da olmak üzere yağış üzerindeki etkilerini göstermek amacıyla

incelemişlerdir. Her bir çift, büyük bir çöl ile bitişik bir muson bölgesi arasında yer alan yarı kurak bir alan ve muson bölgesinin kendisi içinde bulunan aynı büyüklükte bir alandan oluşmaktadır. Yağışların yer yüzeyinin hidrolojisine olan duyarlılığı, iki farklı evapotranspirasyon parametrizasyonu yani buharlaşma (evaporasyon) ve bitkilerin terleme yoluyla su kaybı (transpirasyon) süreçlerinin matematiksel olarak modellenmesi kullanılarak yapılan albedo simülasyonları ile belirlenmiştir; bunlardan biri kara üzerinde çok yüksek buharlaşma ve diğeri ise kara üzerinde ihmal edilebilir buharlaşma sağlamaktadır. Yüksek buharlaşma durumunda, albedodaki 0,14'ten 0,35'e değişim, tüm üç yarı kurak test alanında ve üç muson test alanından ikisinde büyük yağış azalmalarına neden olduğunu belirlemişlerdir.

Henderson-Sellers ve Wilson (1983), iklim değişikliği modellemede albedonun öneminden bahsetmişlerdir. Ancak, uydu gözlemlerinden tüm gökyüzü ve yüzey koşulları için yüzey albedo değerlerini elde etmek zor olduğunu bu nedenle atmosferik modellemelerin yapılması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. Yüzey albedo verilerini ±0,05 doğrulukla 5–10 yıl içinde sağlamak amacıyla yeni bir küresel ölçekli gözlem programının uygulanması için önerilerde bulunulmuştur.

Betts ve Ball (1997), ormanlık alanlardaki albedo değerlerinin hesaplanmasını gerçekleştirmişlerdir. Boreal Ekosistem-Atmosfer Çalışması (BEAS) Mesonet verilerini kullanarak, 1994 ve 1995 yıllarında 10 noktada albedonun yıllık döngüsünü iki çimenlik alan, bir huş ormanı ve ortalama yedi iğne yapraklı orman alanında hesaplamışlardır. Yaz aylarında çimenlik alanlarda günlük ortalama albedo değeri 0,2, huş ormanında 0,15 ve iğne yapraklı bölgelerde 0,083 olarak hesaplanmıştır.. Kış aylarında ise karla kaplı çimenlik, huş ve iğne yapraklı alanlardaki ortalama albedo sırasıyla 0,75, 0,21 ve 0,13 olarak hesaplanmıştır. orman albedosu, kışın (kanopi altındaki karla kaplı zeminle) tüm alanlarda, dağılmış ışının toplam güneş akısına oranı arttıkça yükseldiğini belirlemişlerdir.

Gardner ve Sharp (2010), geniş bantlı kar ve buz albedosu için hesaplaması basit, teorik temelli bir parametrizasyon ortaya koymuşlardır. Bu parametrizasyon, geniş bir kar, buz ve atmosfer koşulları yelpazesinde teorik geniş bantlı albedoyu doğru bir şekilde tekrar üretebilmektedir. Uygulamasına bağlı olarak, bu parametrizasyon bir ila beş girdi parametresi gerektirmektedir. Bu parametreler, kar/buzun yüzey alanı, ışığı

soğuran karbon konsantrasyonu, güneş zenit açısı, bulut optik kalınlığı ve kar derinliğidir. Parametrizasyon, kar ve buz için 16-akışlı düzlem-paralel, ayrık ordinatlar radyatif transfer modeline dayalı albedo tahminlerini fit ederek elde edilmiştir ve bu model, atmosferin benzer bir modeli ile eşleştirilmiştir.

Akbari ve ark. (2012), artan kentsel yüzey albedolarının uzun vadeli (on yıllık ila yüzyıllık) etkisini, mekânsal olarak açık bir orta karmaşıklıktaki küresel iklim modeli kullanarak simüle etmişlerdir. İlk olarak, albedoyu sırasıyla ±20° ve ±45° enlemlerindeki tüm kara alanlarında iki dizi simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Bu simülasyonların sonuçları, her 1 m²'lik alandaki albedo artışı için uzun vadeli küresel soğuma etkisinin 3×10^{-15} K olduğunu göstermektedir. Bu sıcaklık düşüşü, küresel ısınmanın birim CO_2 emisyonu başına miktarına dair güncel tahminlere dayanarak, yaklaşık 7 kg'lık bir CO_2 emisyonu azaltımına eşdeğer bir sıcaklık azaltımına karşılık geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Stephens ve ark. (2015), bulutların, Dünya'nın albedosunu modüle etmek için gerekli serbestlik derecelerini sağladığını ve böylece yarı küresel simetrinin ayarlanması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, mevcut iklim modellerinin bu derece yarı küresel simetriye ve bulutlar tarafından sağlanan düzenlemeye sahip olmadığını belirlemişlerdir. Bu yarı küresel simetrinin ekvator üzerindeki ısı taşınımı ile ilgili önemini işlemişlerdir. Ayrıca esas konu olarak bulutların albedo değerleri üzerinde en belirleyici parametre olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Tahooni ve ark. (2023), LANDSAT uydu zaman serisi görüntüleri kullanılarak 1985–2018 döneminde Tahran'da arazi kullanımı (LULC) verisini üreterek albedo, yüzey sıcaklığı (LST) ve normalize edilmiş diferansiyel bitki örtüsü indeksi (NDVI) hesaplamışlardır. Sonuç olarak, geçirimsiz yüzeylerin alanında %170'ten fazla bir artış olduğunu bulmuşlardır. 1996–2018 dönemindeki albedo ve LST izlemeleri, yansıtıcı yüzeylerin şehrin tamamındaki geçirimsiz yüzeylerin ortalama sıcaklığını 4,42 °C azaltabileceğini ve ortalama albedoyu 0,0647 artırabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Liu ve ark. (2024), yüksek albedoya sahip yolların, duvarların ve çatılarının kentsel mikro iklim üzerindeki etkilerini sistematik olarak simüle etmek için Urban Weather Generator'ı sistemini kurmuşlardır. Simülasyon, Ocak'tan Aralık'a kadar olan

tipik hava koşullarını temsil eden tipik bir meteorolojik yılı kapsamaktadır. Sonuçlar, yol albedosunun artırılmasının çevre bölgelerde kent ısı adası etkisini hafifletmede daha etkili olduğunu, duvar ve çatı albedosunun artırılmasının merkezi bölgelerde sıcaklık etkisini hafifletmede daha etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Wu ve ark. (2024), doğrudan tahmin yöntemini ve LANDSAT yüzey yansıma ürününü birleştirerek, 1986'dan 2020'ye kadar olan dönemde dünya genelinde 3.037 büyük şehir (alan > 50 km²) için 30 m çözünürlükte yıllık bir yüzey albedo veri seti oluşturmuşlardır. Bu veri seti, mekânsal desenleri ve uzun vadeli zamansal eğilimleri keşfetmeyi, olası nedensel faktörleri incelemeyi ve bu albedo değişikliklerinin yüzey radyatif zorlamasını nicel olarak belirlemeyi sağlamaktadır. Bu yeni albedo veri setinin, küresel kentsel akış kulesi tabanlı ölçümlerle değerlendirilmesi, genel sapma ve kök ortalama kare hata (RMSE) değerlerinin sırasıyla 0,005 ve 0,025 olduğunu göstererek yüksek doğruluğunu ortaya koymuşlardır. Veri setinin analizi, 35 yıllık değerlendirme dönemi (1986–2020) boyunca genel bir albedo azalma eğilimi gösterdiğini, bu eğilimin eğitim örneklerinin temsil edilebilirliğinden, LANDSAT veri belirsizliğinden, mevsimsel değişkenlikten ve kar örtüsü kontaminasyonundan kaynaklanan belirsizlikleri dikkate alarak doğru olduğunu ileri sürmüşlerdir.

3. METODOLOJİ VE MATERYAL

3.1. Güneş Radyasyonu ve Çeşitleri

3.1.1. Direk güneş radyasyonu

Direk (doğrudan) güneş radyasyonu, güneşten gelen ışınların herhangi bir engel ile karşılaşmadan Dünya üzerine gelmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Güneş ışınları, atmosferik tabakalardan geçerken, su buharı, toz, azot gazı ve diğer partiküller gibi birçok maddeye nüfuz ederek yol alırlar. Bu nedenle, güneşten gelen ışınlar, Dünya üzerine ulaşmadan önce azalma ve zayıflama gibi etkenlere maruz kalmaktadır. Başka bir deyişle direk güneş radyasyonu, güneş ışınlarının atmosfer ve diğer etkiler tarafından soğurulmayan, yansıtılmayan ve emilmeyen kısmını temsil etmektedir. Yeryüzündeki hayati birçok fonksiyon, güneş ışınlarına ihtiyaç duymaktadır. Toplam küresel güneş radyasyonunun en önemli bileşeni olan doğrudan güneş radyasyonu olduğundan güneş enerjisi ile çalışan tüm sistemlerin temel bileşenidir. Özellikle güneş enerjisi panellerinin yerleşiminde ve verimliliklerinin analiz edilmesinde doğrudan güneş radyasyonu büyük önem taşımakta olup Pirheliometre ismi verilen cihaz ile ölçülmektedir (Gürsoy, 2015; Dursun, 2023).

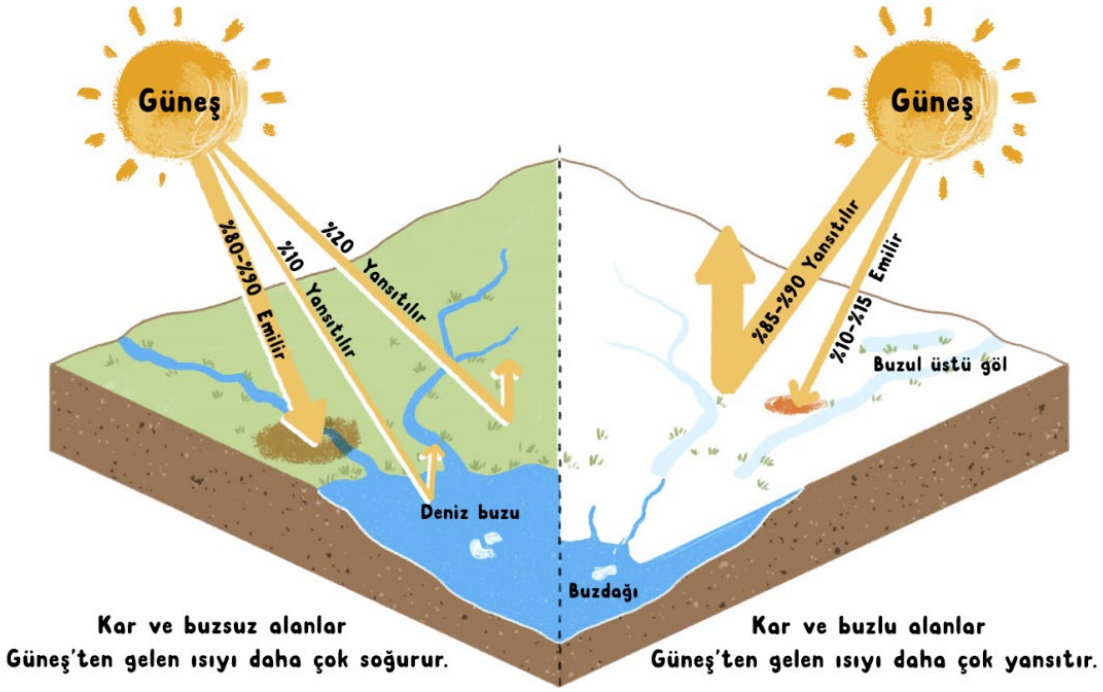
3.1.2. Dağınık güneş radyasyonu

Genel olarak güneş ışınları, atmosferik etkiler, hava gazları, hava kirliliği ve su buharı gibi etkenlerden dolayı dağılarak yayılmaktadırlar. Doğrudan gelen güneş ışınlarından farklı olarak hem daha az ışıma hem de daha az enerji taşımaktadırlar. Ancak her ne kadar enerji yoğunluğu düşük olsa da elektrik üretim panelleri için önemli bir radyasyon kaynağıdır. Güneş ışınını dağılmasına sebep olan etkenlere göre radyasyon şiddeti değişmektedir.

3.1.3. Yansıyan güneş radyasyonu

Herhangi bir yüzeyin üzerine düşen güneş ışığını yansıtma kapasitesine albedo denir. Albedo, yer yüzündeki objelerin ve arazi örtüsünün güneş ışınını yansıtma kapasitesine verilen addır. Albedo miktarı, güneşin gelme açısı, yüzeyin rengine, dokusu ve parlaklığı gibi etmenlere ve ayrıca yüzeyin alanına göre değişmektedir. Açık renkli ve parlak yüzeyler, ışığı daha fazla ışığı yansıttığından albedo değeri daha yüksek

olmaktadır. Karanlık ve karmaşık dokulu yüzeyler ise gelene güneş ışığını daha az yansıttığı için albedo değerleri düşük olmaktadır. Su ve koyu renkli alanlarda albedo değeri düşük olmakla beraber özellikle yeni yağmış karlı alanlarda yüksek albedo değerleri elde edilmektedir. Şekil 3.1'de güneş ışınımının yansıması tasvir edilmiştir.

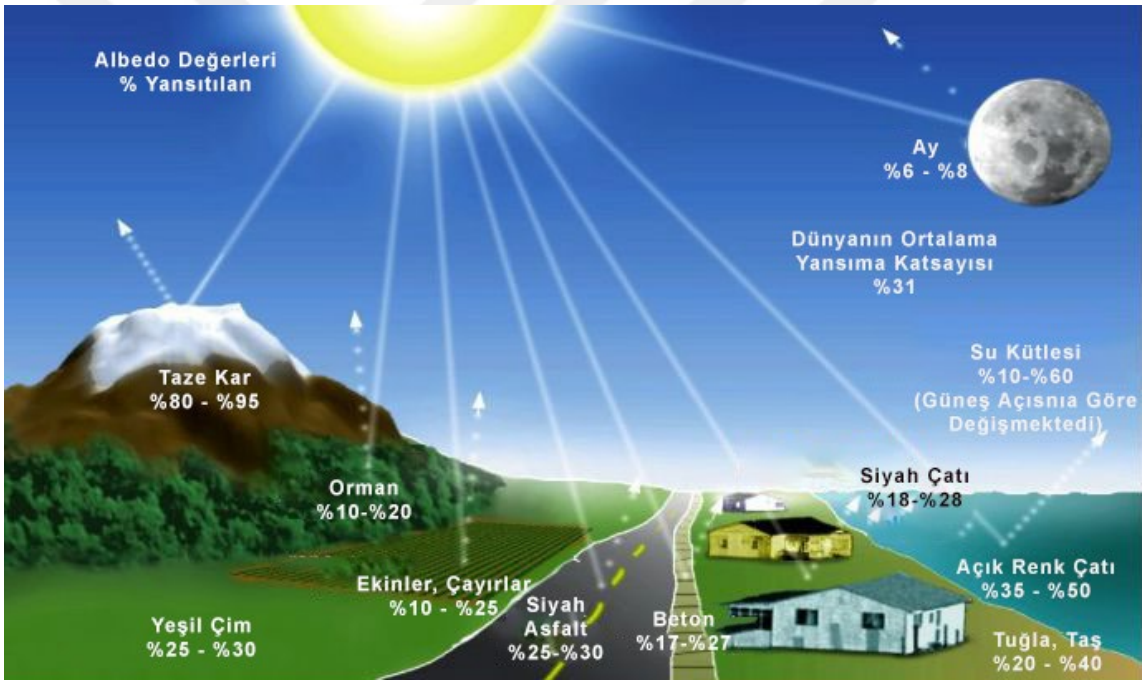


Şekil 3.1. Güneş ışınımının yansıtılması (URL 1)

Dünyanın albedo değeri ortalama olarak 0,29-0,31 değeri arasında kabul edilmektedir. Bunun anlamı ise güneşten yeryüzüne ulaşan ışınların sadece 3'te 1'i yansıtılmaktadır. Geri kalan ışınlar ise yeryüzünün ısınması ve gerekli enerjinin sağlanması için kullanılmaktadır. Bitkilerin fotosentez yapması, denizlerin ve havaların ısınması, elektrik üretimi ve enerji ihtiyaçları gibi fonksiyonlar, geri kalan güneş ışınını kullanmaktadırlar. Ancak burada esas nokta, yeryüzünün her bölgesinde albedo değerinin farklılık gösterdiği gerçeğidir. Örneğin, kutuplarda buzla kaplı alanlar yüksek albedo değerine sahipken, sık ve karmaşık ormanlar düşük albedo değerine sahiptir. Bunun en önemli nedeni ise kar örtüsünün parlak beyaz rengi neredeyse güneş ışının %80-90'ını uzaya geri yansıtmaktadır. Aynı şekilde çöl alanları ve şehir merkezleri de yüksek albedoya sahip bölgeleri temsil etmektedir. Dünya genelinde farklı iklim türleri ve coğrafyalar göz önüne alındığında her mevsim her bölgede farklı albedo değerleri ve ortalamalarının olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ortalama albedo değeri

hesaplanırken, mevsimler döngüler ve baskın arazi örtüsü de dikkate alınmalıdır (Stephens ve ark., 2015).

Dünya'nın kabul edilen ortalama yüzey sıcaklığı 15 °C olarak kullanılmaktadır. Eğer Dünya tamamen buzullarla kaplı bir örtüye sahip olursa, yüksek albedodan dolayı gelen güneş ışınlarının çok büyük kısmı geri yansıtılacağından, Dünya'nın sıcaklığı -40 °C civarına düşmesi beklenmektedir. Yine eğer sadece karalar tamamen karla kaplanırsa yaklaşık olarak 0 °C civarında bir sıcaklığa sahip olması beklenmektedir. Dünya'nın albedo etkisi, bölgelere göre yaşam alanları için gerekli şartları belirlemektedir (Stephens ve ark., 2015). Şekil 3.2'de albedo ve yansıma değerlerinin işleyişi gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Albedo değerlerinin yansıma ile ilişkisi (URL 2)

3.1.4. Küresel güneş radyasyonu

Küresel güneş radyasyonu, Dünya'nın yüzeyine Güneş'ten gelen toplam enerji miktarını ifade etmektedir (Davies ve ark., 1975). Bu radyasyon, Güneş'ten gelen elektromanyetik enerjinin Dünya'nın atmosferini geçerek yüzeye ulaşan kısmını kapsamaktadır. Küresel güneş radyasyonu, genellikle Watt/metrekare (W/m²) cinsinden

ölçülmekte olup birim zamanda birim yüzey alanına düşen enerji miktarını ifade etmektedir.

Küresel güneş radyasyonunun formülü en genel hali ile Eşitlik 3.1 ile gösterilmektedir.

$$S = S_0.(1-\propto) \quad (3.1)$$

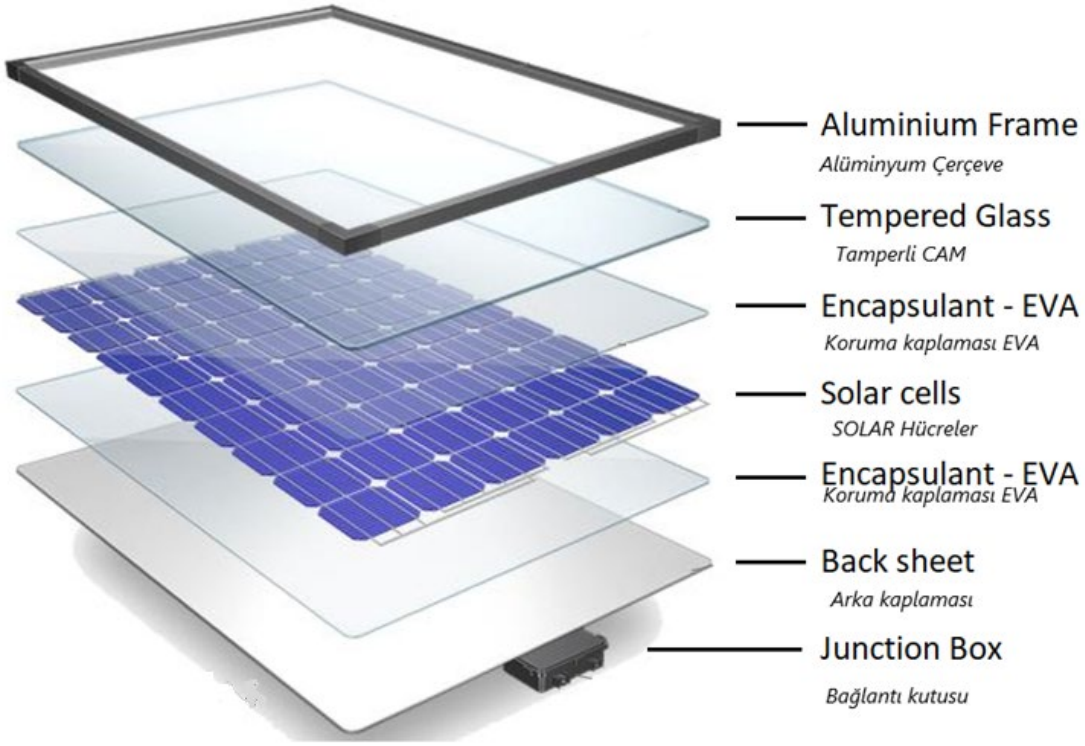
Bu formülde *S*, küresel güneş radyasyonunu, S_0 güneş sabiti olarak adlandırılan ve güneşten Dünya'ya ulaşan ortalama enerji miktarını (yaklaşık 1361 W/m²), α ise albedo veya yansıma katsayısı, yani yüzeye gelen radyasyonun bir kısmının atmosferden geri yansıtılması nedeniyle kaybedilen kısmını temsil eder (birimsiz bir oran, genellikle 0 ile 1 arasında değişmektedir) (Dobos, 2020). Bu formülde (1−α) terimi, atmosferden geçen ve Dünya yüzeyine ulaşan toplam küresel güneş radyasyonunu temsil etmektedir. Albedo, Dünya yüzeyinin ne kadarının ışığı yansıttığını belirlemekte olup; daha yüksek albedo değerleri, daha fazla radyasyonun geri yansıtıldığı anlamına gelir ve dolayısıyla daha düşük küresel güneş radyasyonuna neden olmaktadır (Gül ve Çelik, 2017; Kandilci ve Koçak, 2017).

Küresel güneş radyasyonu bazen küresel güneş radyasyonu olarak adlandırılmakta olup, hem doğrudan hem de dağınık olarak gelen radyasyon miktarını kapsayan ve Dünya yüzeyinde alınan toplam radyasyonu ifade etmektedir. Matematiksel olarak küresel güneş radyasyonu, doğrudan ve dağınık güneş radyasyonunu toplamıdır. Küresel güneş radyasyonunun hesaplanmasında meteorolojik veriler, atmosferik parametreler ve karmaşık matematiksel modeller kullanılmaktadır. Bu modeller, yeryüzünde herhangi bir noktadaki küresel güneş radyasyonunu çeşitli kriterleri göz önüne alarak tahmin etmek için kullanılmaktadır (Öztürk ve ark., 2012).

3.2. Fotovoltaik Güneş Sistemleri

Fotovoltaik güneş sistemleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren teknolojilerdir. Bu sistemler genellikle güneş panelleri veya fotovoltaik paneller olarak adlandırılan cihazlarla çalışmaktadır. Tüm sistemin esas objesi olan güneş panelleri, taşınabilir, genellikle silikon tabanlı olup, güneş ışığını alarak içlerinde bulunan yarı iletken malzemeler aracılığıyla elektrik üretmektedirler (Rüstemli ve ark.,

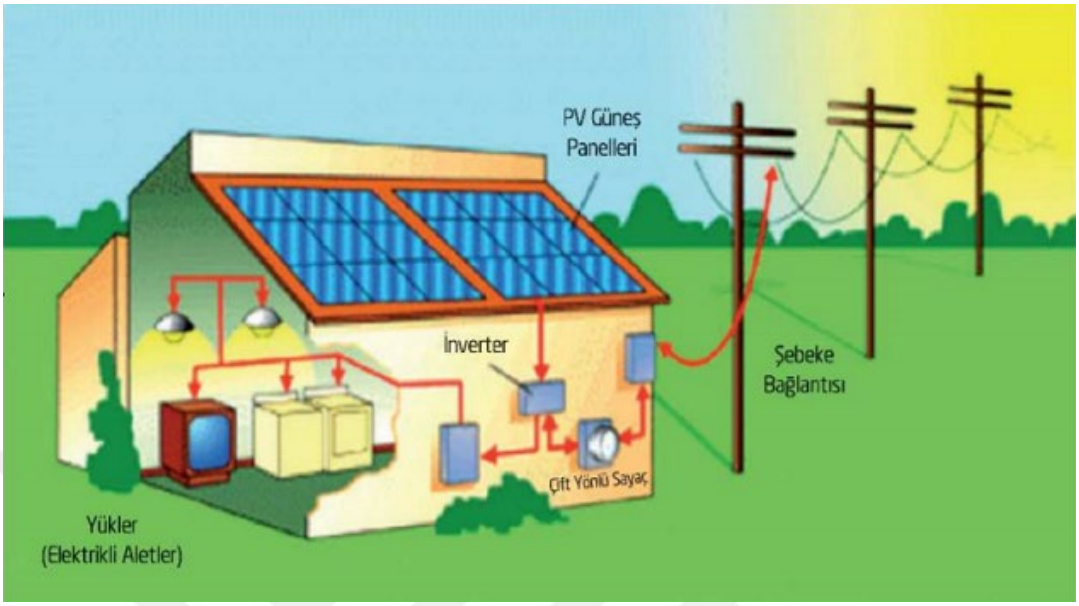
2013). Fotovoltaik güneş sistemleri, özellikle yenilenebilir enerji üretimi için önemli bir teknoloji olup, çeşitli boyutlarda (evsel, ticari, endüstriyel) uygulamalarda kullanılmaktadır. Her tür sistem, yerel enerji ihtiyaçlarına ve çevresel koşullara bağlı olarak farklı ölçekte ve yapılandırmada kurulabilmektedir (Polatkan, 2009; Sayın ve Koç, 2011). Şekil 3.3.'te şematik olarak fotovoltaik güneş panelinin genel yapısı ve katmanları gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Fotovoltaik güneş paneli yapısı (URL 3)

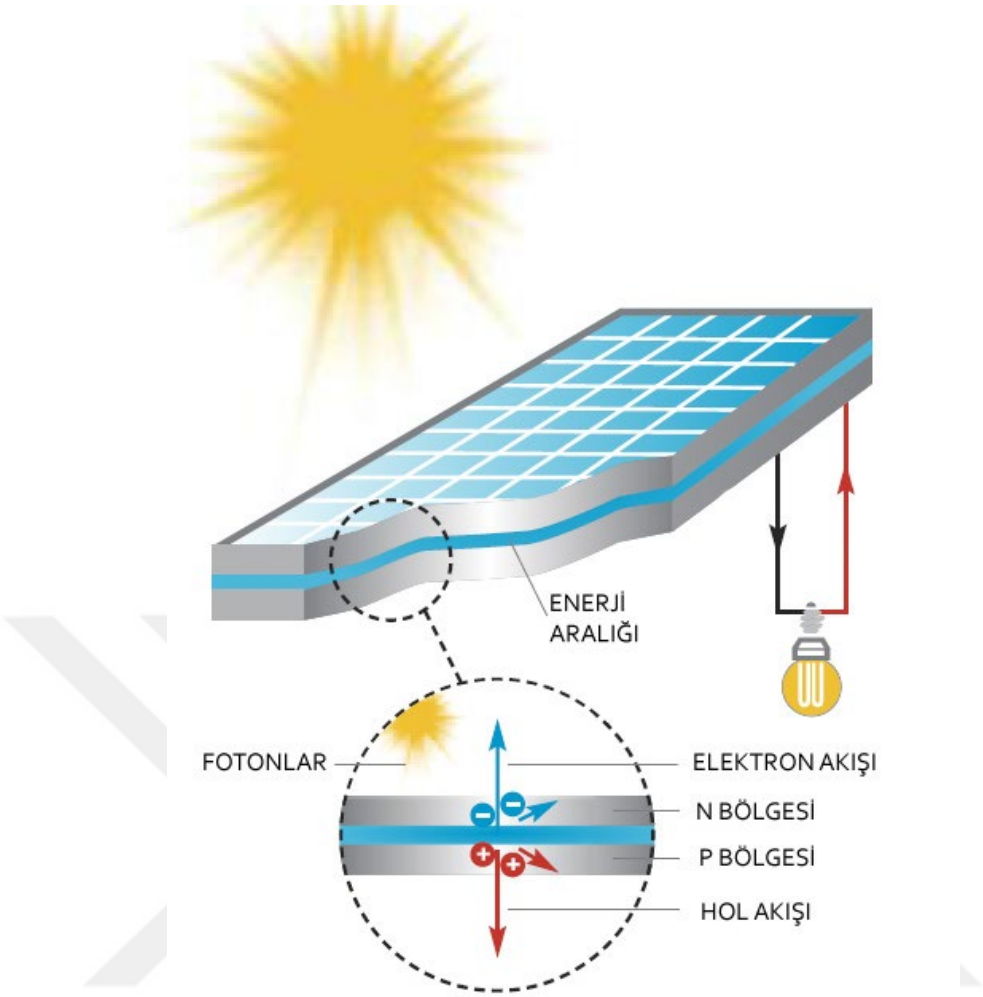
Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlerde güneş panellerine ek olarak invertör (Güç dönüştürücü) kullanılır. Fotovoltaik panellerden gelen doğru akım (DC) elektriği, ev veya işyerlerinde kullanılan alternatif akım (AC) elektriğe dönüştüren cihazlardır. Bir diğer bileşen ise montaj elemanları olup, panellerin çatıya veya araziye monte edilmesini sağlayan ve panelleri sabitleyen ekipmanlardan oluşmaktadır. Bu montaj sistemlerinde ayrıca panellerin güneşin hareketine göre otomatik olarak hareket etmesini sağlayan güneş izleme sistemleriyle desteklenmiş olanları kullanılmaktadır. Böylece doğrudan güneş ışığını izleyerek maksimum verim alınması amaçlanmaktadır. Depolama sistemleri ise güneş panelleri sistemlerinin diğer önemli bileşeni olup, güneş ışığı olmadığında veya yetersiz olduğunda enerji sağlamak için depolama (batarya) sistemleri veya başka enerji kaynaklarıyla birlikte kullanılması için tasarlanmış olup,

genellikle hibrit sistemler olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.4'te güneş paneli ile elektrik üretim süreci verilmiştir.



Şekil 3.4. Güneş paneli ile elektrik üretim süreci (URL 5)

Güneş panellerinin çalışma prensibi, fotovoltaik etki olarak adlandırılan bir fiziksel sürece dayanmaktadır. Bu süreç, güneş ışığının elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlamaktadır. Güneş panelleri, genellikle silikon gibi yarı iletken malzemelerden yapılan fotovoltaik hücrelerden oluşmaktadır. Fotovoltaik hücreler, genellikle ince bir metal tabakasıyla kaplanmış ve birbirine bağlı birçok katmandan meydana gelmektedir. Güneş ışığındaki fotonlar, güneş panellerinin yüzeyine çarptığında, fotonların enerjisi elektronları uyararak onları harekete geçirmektedir. Fotonlar, yarı iletken malzemede bulunan elektronları enerji vererek serbest bırakır ve bu serbest kalan elektronlar, iletken tabakalar arasında bir akım oluşturabilecek şekilde hareket etmektedirler. Serbest kalan elektronlar, panellerin içerisinde bulunan iletken tabakalar arasında bir elektrik akımı oluşturularak güneş panellerinden dışarıya doğru iletilmektedir. Güneş panellerinden gelen doğru akım (DC) elektrik enerjisi, ev veya işyerlerinde kullanılan alternatif akım (AC) elektriğe dönüştürülmek üzere bir invertör yardımıyla işlenir. AC elektrik enerjisi daha sonra elektrik ağına veya binalardaki elektrik tesisatına bağlanarak kullanılmaktadır (Karataş, 2017). Şekil 3.5'te güneş paneli içerisindeki elektrik üretim süreci gösterilmektedir.

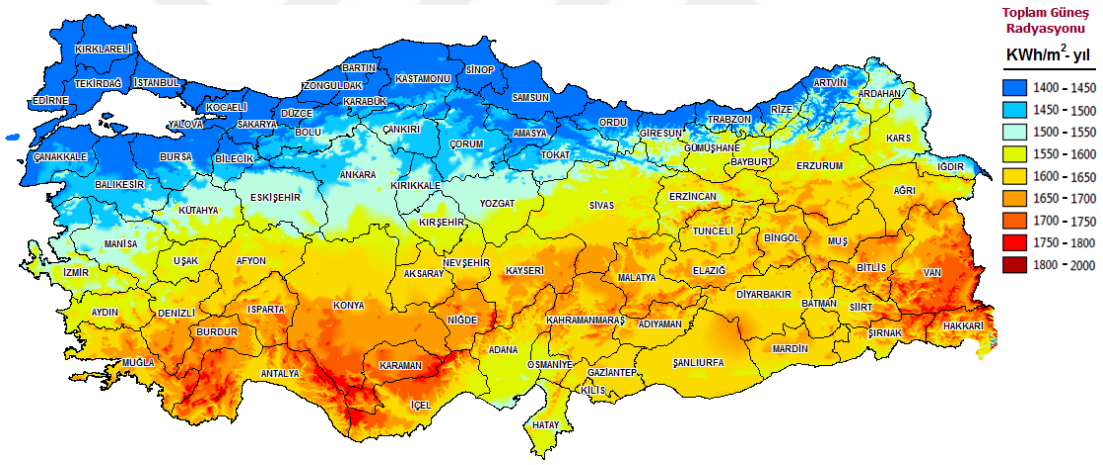


Şekil 3.5. Güneş paneli içerisindeki elektrik üretim süreci ve katmanları (URL 5)

İki yüzlü güneş panelleri, geleneksel tek taraflı güneş panellerinin aksine hem ön hem de arka yüzeylerinden güneş ışığını absorbe edebilen ve elektrik enerjisine dönüştürebilen panellerdir. İki yüzlü paneller, ön taraflarının yanı sıra arka taraflarından da güneş ışığı toplarlar. Özellikle altındaki zemin veya yansıtıcı bir yüzey tarafından yansıtılan güneş ışığından ekstra verim elde edebilmektedirler. Bu sayede, tek taraflı panellere kıyasla daha yüksek bir enerji üretim verimliliği sağlayabilirler. İki yüzlü paneller, özellikle düşük albedo (yansıtma katsayısı) değerlerine sahip alanlarda ve yüksek güneşlenme açılarına sahip bölgelerde etkilidir. Zemin yansıması veya kar/zemin yansıması gibi durumlar, panellerin arka yüzeyinden de ek enerji toplanmasına olanak tanımaktadır (Singh ve ark., 2014; Russell ve ark., 2017).

3.3. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye'nin coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir. Ülke genelinde güneş kaynaklarının özelliklerini ve dağılımını belirlemek için Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) kullanılmaktadır. Bu atlas, farklı yerlerde yapılan çalışmaların sonuçları, Güneş Gözlem İstasyonları (GGİ) tarafından yıllar boyunca yapılan gözlemler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri ve uydu görüntüleri kullanılarak hazırlanmıştır. Detaylı güneş enerjisi kaynak haritaları ve diğer bilgiler, elektrik üretimi için güneş enerjisinden yararlanabilecek aday bölgeleri belirlemek için kullanılabilecek bir alt yapı sunmaktadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) oluşturulmuş ve ürün görüntüleme yazılım albümü olarak hazırlanmıştır. Şekil 3.6'da Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası toplam güneş radyasyonu dağılımı verilmiştir.



Şekil 3.6. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) (URL6)

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre, yıllık ortalama güneşlenme saati sayısı 2.766,5, günlük ortalama güneşlenme süresi ise 7,2 saattir. Yıllık ortalama radyasyon yoğunluğu ise 152,1 kWh/m²/yıl olarak hesaplanmış olup, günlük ortalama radyasyon yoğunluğu ise 4,18 kWh/m²/gün olarak belirlenmiştir. Yılda 110 gün boyunca güneş verimli bir şekilde kullanılabilmektedir. Ülkenin yüzey alanının %63'ünde 10 ay boyunca ve %17'sinde yıl boyunca ekonomik ve teknik olarak güneş enerjisi kullanılabilmektedir. Çizelge 3.1, Türkiye'nin aylık güneşlenme süresi değerlerini gösterirken, Çizelge 3.2 ise ülkenin coğrafi bölgelere göre yıllık güneş enerjisi potansiyelini detaylandırmaktadır.

Çizelge 3.1. Türkiye geneli Güneş enerjisi istatistikleri

Aylar	Aylık Toplam Enerji		Güneşlenme Süresi
	(kcal/cm^2-ay)	(kWh/m^2-ay)	(saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,4	343
Eylül	10,6	123,28	280
Ekim	7,73	89,9	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1.311	2.640
Ortalama	**308,0 cal/cm^2 / günlük**	**3,6 kWh/m^2 / günlük**	**7,2 saat / günlük**

Çizelge 3.2. Bölgelerin Güneş enerjisi istatistikleri

Bölgeler	Toplam Enerji (kWh/m^2/yıl)	Güneşlenme Süresi (saat / yıl)
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre, Güneydoğu Anadolu bölgesi yıllık 1.460 kWh/m^2 değeri ile Türkiye'nin en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bölge olarak öne çıkmaktadır. Buna paralel olarak bu bölge 2.993 saat yıllık güneşlenme süresine sahiptir. Karadeniz bölgesi ise bulutluluk oranının fazla olması ve yağışlı günler göz önüne alındığında en düşük güneş enerji potansiyeline sahip bölge konumundadır. Aylık bazda incelendiğinde Temmuz ayının ülke genelinde 175,38 kWh/m^2 değeri ile güneş enerji potansiyeli en yüksek olan ay olduğu görülmektedir. Aynı zamanda Temmuz ayı 365 saatlik güneşlenme süresi ile en çok güneşlenme değeri elde edilen ay olarak belirlenmiştir. Ortalama değerler incelendiğinde ise günlük 3,6 kWh/m^2 güneş enerjisi değeri ve 7,2 saat güneşlenme süresi değerlerine ulaşılmaktadır.

Türkiye'de güneş radyasyonu istatistikleri genellikle meteoroloji istasyonları veya ölçüm ağları aracılığıyla elde edilen verilere dayanmaktadır Bu istatistikler, genellikle yıllık ortalama güneşlenme süresi, güneş ışınımı (insolasyon) ve yıllık güneş enerjisi potansiyeli gibi göstergeleri barındırmaktadır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir ve güneş radyasyonu, enerji üretimi için önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir.

2024 yılı Eylül ayı itibariyle Türkiye'nin kurulu güç kapasitesi 114,215 MW olarak gerçekleşmiş olup, toplam güneş enerjisi kurulu kapasitesi ise 16.962 MW'dır. Bu verilere göre, Türkiye'nin güneş enerjisi kapasitesi sürekli olarak artmaktadır. Ayrıca, 2024 yılının ilk dokuz ayında devreye alınan fotovoltaik (PV) kapasite, 2023 yılı boyunca devreye alınan toplam kapasitenin neredeyse yarısına ulaşmıştır.

3.4. Yüzey Yansıma Katsayısı (Albedo)

Albedo, Latincede "beyazlık" anlamına gelmektedir. Bir yüzeyin albedosu, yüzeye gelen güneş ışığının ne kadarını yansıttığının bir ölçüsüdür. Yüzeye yansıtılmayan ışınlar ise yüzey tarafından emilir. Emilen enerji, yüzey sıcaklığını yükseltir, suyun buharlaşmasını sağlar, kar ve buzun erimesine ve buharlaşmasına neden olur, ayrıca yüzey ile atmosferin en alt katmanı arasındaki karışık ısı alışverişini güçlendirir. Yüzey albedosu, uzaydan yüzey ve atmosfer özelliklerinin uzaktan algılanmasında önemli bir bileşendir (Coakley, 2003).

Yansıtılan güneş ışığının spektral ve açısal dağılımı, bitki örtüsü gibi yüzey özelliklerini çıkarmak için kullanılmaktadır. Aynı zamanda, hafif sis parçacıklarının miktarı, boyutu ve optik özelliklerini belirlerken de dikkate alınmalıdır. Kıta üzerinde, bulutsuz koşullarda yansıtılan güneş ışığının en büyük bileşeni yüzey yansımasından kaynaklanır. Bu nedenle, yansıtılan güneş ışığının atmosfer bileşimini belirleme, yansıtan yüzeyin katkısını doğru bir şekilde bilmeyi gerektirmektedir. Farklı yüzey türleri farklı albedolara sahiptir. Okyanuslar, göller ve ormanlar, güneş ışığının küçük bir kısmını yansıtır ve düşük albedoya sahiptirler. Kar, deniz buzları ve çöller ise güneş ışığının büyük bir kısmını yansıtır ve yüksek albedoya sahiptirler.

Farklı yüzeylerin albedoları sonraki tahminlerde sunulmuş olmasına rağmen bir yüzeyin albedosu intrinsik (özgür unsur) bir özellik değildir. Bunun yerine, herhangi bir yüzey için albedo, atmosfer bileşimi ve güneş ışığının yönü tarafından yönlendirilen ışığın spektral ve açısal dağılımlarına bağlıdır. Çizelge 3.3'te *d* güneş zenit açısı düzeltme faktörü, *f* birincil yüzey kapsama alanı ve güneş zenit açısı 60^{o} için olan albedo değerleri bazı arazi yüzeyleri için verilmiştir (Briegleb ve ark., 1986; Coakley, 2003).

Çizelge 3.3. Bazı arazi kullanım sınıflarının albedo değerleri

Yüzey		f		Albedo	
	d	Yaz	Kış	Yaz	Kış
Uzun Çim, Karışık tarımsal alan	0,4	0,85	0,25	0,16	0,18
Yaprak Dökmeyen çalılık, orta boy çimler	0,4	0,8	0,7	0,20	0,21
Kısa, otlak, çayır ve çalılık	0,4	0,8	0,7	0,21	0,20
Yaprak Dökmeyen iğne yapraklı orman	0,1	0,8	0,7	0,12	0,13
Karışık, yaprak döken, yaprak dökmeyen orman	0,1	0,8	0,6	0,16	0,16
Yaprak döken orman	0,1	0,8	0,5	0,17	0,18
Tropikal yaprak dökmeyen geniş yapraklı orman	0,1	0,9	0,6	0,12	0,15
Orta/yüksek otlak, ormanlık alan	0,4	0,8	0,5	0,15	0,18
Çöl	0,4	0,5	0,5	0,36	0,36
Tundra	0,1	0,4	0,3	0,17	0,17
Kar	0	-	-	0,66	0,66
Deniz buzu	0	-	-	0,62	0,62
Okyanus	-	-	-	0,07	0,07

Uygulamada, yüzeyler genellikle bileşenlere ayrılır ve her bileşen kendi özgül optik kurallarına göre ışığı yansıtır. Ancak pratikte, uzaydan algılayıcılarla tipik olarak birkaç metre ile birkaç kilometre arasında değişen çözünürlükte görülen yüzeyler, karmaşık karışımlar ve geometrik yapılar sergilerler. Bu ölçekte, yüzeyler kum taneleri, bitkiler, dal parçaları, taşlar, kar, buz, su gibi bileşenlerin karmaşık karışımlarını içerebilmektedir. Bu karmaşıklıklar nedeniyle, pratik uygulamalarda yüzeyler genellikle birkaç bileşene indirgenir ve her bileşenin spektral ve açısal dağılımları oldukça basitleştirilmiştir. Yüzey yansımasının spektral bağımlılıklarının basitleştirilmesi genellikle yüzeyin yansıma özelliklerinin dalga boyu aralıkları kullanılarak ele alınmasıyla yapılmaktadır. Açısal bağımlılıkların basitleştirilmesi ise doğrudan güneş ışığının (atmosferde emilmiş veya saçılmış olmayan güneş ışığı) bir bileşeni ve doğrudan güneş ışığının farklı yönlere saçılmış bir bileşeni olarak ayrılmasıyla ele

alınır. Bu basitleştirmeler, yüzey tiplerinin küresel albedo haritalarını oluşturmak için kullanılır. Ancak bu haritalar, sadece temel tahminler sağladığı için dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir. Yüzey yansıma değerlerinin uydu gözlemleriyle küresel haritalarını oluşturma çalışmaları, önceki karmaşıklıklar nedeniyle ancak son dönemde gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Yüzey yansımasının spektral ve açısal bağımlılığı hakkında anlayış, birkaç temel ilkeyi göz önünde bulundurarak kazanılabilmektedir. Başlamak için, ışık, farklı kırılma indislerine sahip ortamlar arasındaki ara yüzlerde yansır. Eğer ortamlar ve arayüz yüzeyi, bireysel yüzey elemanlarının düz olarak ele alınabileceği büyüklükte uzamsal olarak homojen özelliklere sahipse, yansıma Fresnel yasaları ile tanımlanır. Belirli bir yüzey elemanı için yansıma açısı, gelen açı ile eşittir. Yansıtılan ışığın yansıma yüzdesi, iki ortamın optik özelliklerine göre dalga boyuna bağlı olarak değişir (Stephens ve ark., 2015).

Doğada birçok yüzey, gelen ışığın dalga boyuyla karşılaştırılabilir ölçekte olan tanelerden oluşur; örneğin toprak ve kum taneleri, kar kristalleri, buz içindeki hava kabarcıkları vb. ilke olarak, bu tür yüzeyler için yansımalar, radyatif transfer hesaplamaları aracılığıyla elde edilebilmektedir. Yansıtılan radyasyonlar, çoklu saçılmalar yaşamış ışığın tipik bir açısal desenini alır. Yüzey elemanları için çoklu saçılma desenleri, bitki yaprağı gibi uzamsal olarak homojen olan yüzey elemanları için de ortaya çıkar, ancak her bir eleman, gelen ışığa olan yönelimi nedeniyle yakınındaki benzer elemanlardan farklı şekilde ışığı yansıtabilir. Eğer elemanlar güçlü bir şekilde absorbe etmiyorsa (özümsemiyorsa), o zaman bir yüzey elemanı tarafından yansıtılan ışık, başka bir yüzey elemanı tarafından yansıtabilir. Benzer şekilde, Fresnel yansımasıyla, arayüz uzamsal olarak değişiyorsa, yüzeyin bir bölümünden yansıyan ışık başka bir bölüm tarafından yansıtılabilir. Ancak, bir yüzey elemanı güçlü bir şekilde absorbe ediyorsa, o zaman yansıma tek bir saçılmayı yaklaşık olarak vermektedir. Tek saçılma durumunda, yansıtılan ışığın açısal dağılımı tek bir açı olan saçılma açısı terimi ile tanımlanabilmektedir (Briegleb ve ark., 1986; Coakley, 2003).

Kaynaklardaki çalışmalar incelendiğinde LANDSAT, Modis ve SENTINEL uydu görüntülerinden albedo hesaplanması için farklı bantların ve katsayılarının kullanıldığı görülmektedir. MODIS uydu görüntüsünün düşük konumsal çözünürlüğü nedeni ile genellikle LANDSAT verileri kullanılmış, ancak SENTINEL uydu

görüntülerinin 10 metre konumsal çözünürlük değeri nedeniyle son yıllarda bu uydu görüntüsü de albedo hesaplanmasında kullanılmaya başlamıştır.

LANDSAT uydu görüntülerinden Albedo hesaplanmasında en rağbet gören ve sıkça kullanılan formülü Eşitlik 3.2'de verilmiştir. Her bir bandın ağırlıkları ile çarpımının toplamına eşit olan albedo değeri, Eşitlik 3.2 ile hesaplanmaktadır (URL 16).

$$\propto_{short} = \frac{0{,}356.p_1 + 0{,}130.p_3 + 0{,}373.p_4 + 0{,}085.p_5 + 0{,}072.p_7 - 0{,}0018}{0{,}356 + 0{,}130 + 0{,}373 + 0{,}085 + 0{,}072} \quad (3.2)$$

p_1 terimi uydudan ölçülen yansıtılan yeryüzü yansımasını (atmosferin üstündeki yansıtma değeri, yani TOA reflektansı) ifade eder. Sonucun tekrar ağırlıklar toplamına bölünmesi ile birlikte 1,016 gibi bir düzeltme değeri getirilmektedir. Bu değerler LANDSAT 7 uydu görüntüleri için geçerli olup, diğer LANDSAT serilerindeki bantlarla eşleştirilerek formül revize edilebilmektedir.

Kaynaklarda kullanılan bir başka yöntem ise MODIS ve SENTINEL uydu görüntülerine ait bantların birbirlerine göre ağırlıkların belirlenmesi ile SENTINEL uydu görüntüsü üzerinden albedo hesaplanmasının yapılmasıdır. Bu yöntem ile, çok fazla banda sahip olan MODIS uydu görüntülerinin spektral hassasiyetinin konumsal çözünürlüğü yüksek olan SENTINEL uydu görüntüsüne aktarılmasıdır (Lin ve ark., 2022). tarafından gerçekleştirilen çalışmada MODIS ve SENTINEL uydu görüntülerinin bantları oranlanarak çeşitli katsayılar elde edilmiştir. Bu katsayılar Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. MODIS ve SENTINEL uydu görüntüleri arasındaki albedo dönüşüm matrisi

Bant	0	1	2	3	4	5	6	7	RMSE
Mavi	0,0004	0,7910	0,1363	0,0722	0,0157	0,0205	0,0136	0,0052	0,005
Yeşil	0,0006	0,0245	0,9584	0,0711	0,0062	0,0205	0,0073	0,0065	0,002
Kırmızı	0,0013	0,0470	0,1926	1,1406	0,0054	0,0015	0,0067	0,009	0,006
Yakın Kızıl Ötesi (NIR)	0,0004	0,0291	0,1795	0,1307	0,9919	0,0169	0,0174	0,0335	0,007

Bonafoni ve Sekertekin, (2020) yaptıkları çalışmada SENTINEL uydu görüntülerinin bantlarının doğrudan kullanılarak albedo hesaplanmasını sağlayan katsayıları hesaplamışlardır. B2, B3, B4, B8, B11 ve B12 bantları kullanılarak yapılan albedo hesabı Eşitlik 3.3'te verilmiştir. Aşağıdaki eşitlikte B8 bandının en yüksek ağırlığa sahip olduğu görülmektedir.

$$Albedo = B_2 \text{ x } 0{,}226 + B_3 \text{ x } 0{,}1236 + B_4 \text{ x } 0{,}1573 + B_8 \text{ x } 0{,}3417 + B_{11} \text{ x } 0{,}1170 + B_{12} \text{ x } 0{,}0338 \quad (3.3)$$

Vanino ve ark., (2018) tarafından yapılan çalışmada, yansıtma katsayılarını belirlerken tüm bantları göz önüne almıştır. Bahsedildiği gibi, yansıtma katsayılarının B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B11 ve B12 bantları kullanılarak daha doğru bir şekilde hesaplandığını ileri sürmüşlerdir. Kullanılan bantların özellikleri, spektral aralıkları ve ağırlık değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Ağırlık değerlerine bakıldığında, B2, B3 ve B4 bantlarının yansıtma katsayılarını hesaplamada en etkili olduğu görülmektedir. Belirlenen bant ağırlıkları tüm bantları değerlendirmeye dahil ettiğinden bu çalışmada da bu bant ağırlıkları toplamı 1 olacak şekilde çarpan değeri verilerek kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. SENTINEL uydu görüntüsü albedo ağırlıkları

Bant	Ad	Dalga boyu	Ağırlık
B1	kıyı aerosolü	0,443	-
B2	Mavi	0,49	0,1324
B3	Yeşil	0,56	0,1269
B4	Kırmızı	0,665	0,1051
B5	Kızılötesi 1	0,705	0,0971
B6	Kızılötesi 2	0,74	0,0971
B7	Kızılötesi 3	0,783	0,089
B8	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,842	0,0818
B8a	Kızılötesi 4	0,865	0,0722
B9	Su Buharı	0,945	-
B10	-	1,375	-
B11	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 1	1,61	0,0167
B12	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 2	2,19	0,0002

3.5. Küresel Güneş Radyasyonu Tahmin Modelleri

Küresel güneş radyasyonu tahmin modelleri, güneşten gelen ışınımın Dünya'nın belirli bir bölgesine veya noktasına ulaşma miktarını öngörmek için kullanılan modellerdir. Bu modeller, çeşitli meteorolojik verileri, güneş geometrisini ve atmosferik koşulları dikkate alarak güneş radyasyonunu tahmin etmektedirler.

3.5.1. HELIOSAT

HELIOSAT modeli, uydu görüntülerini kullanarak güneş radyasyonunu tahmin etmek için ilk olarak Cano ve ark., (1986) tarafından geliştirilmiş ve Beyer ve ark., (1996) tarafından modifiye edilmiştir (Ener Ruşen ve Konuralp, 2020). Modelin temelinde sayısal uydu görüntü bantlarından elde edilen albedo değerinin hesaplanması bulunmaktadır. Eşitlik 3.4'te modelde kullanılan albedo denklemi verilmektedir (Hammer ve ark., 2003).

$$\rho = \frac{C - C_0}{0{,}7.f.\cos\emptyset_z(\cos\emptyset_z)^{0{,}15}} \tag{3.4}$$

Eşitlikte C, her uydu görüntüsü için piksel değeri, C_0 uydunun ofset değerini, θ_z zenit açısı ve f ise güneş ile dünya arasındaki düzeltme faktörünü temsil etmektedir. Sonuç olarak hesaplanan minimum ve maksimum değerleri yardımıyla değer normalize edilmektedir ve bu değer bulut endeksi olarak isimlendirilmektedir (Eşitlik 3.5).

$$n = \frac{\rho - \rho_{min}}{\rho_{max} - \rho_{min}} \tag{3.5}$$

Albedonun maksimum ve minimum değerleri kapalı ve açık gökyüzünde elde edilen albedo değerlerini temsil etmektedir (Hammer, 2000; Hammer ve ark., 2003; Ener Ruşen ve Konuralp, 2020). Burada bahsedilen albedo değeri hava geçirgenliği katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemde, açık gökyüzü endeksi k*, yeryüzündeki gerçek güneş radyasyonunu açık gökyüzü koşullarında, hesaplanan açık gökyüzü radyasyonuna bölünerek normalize edilmektedir (Eşitlik 3.6).

$$k^* = \frac{G_g}{G_{clearsky}} \quad (3.6)$$

HELIOSAT modelinde saatlik açık gökyüzü radyasyon değerlerini hesaplayabilmek için üç farklı değere ihtiyaç vardır. Bu değerler, hesaplanan Dünya dışı radyasyon (G_{ext}), saatlik doğrudan net radyasyon ve saatlik yaygın net radyasyon değeridir. $G_{clearsky}$ değeri, açık gökyüzüne ait radyasyon değerlerinden tüm gün boyunca toplama yoluyla elde edilebilmektedir (Bakırcı, 2009; Cristina, 2009; Badescu ve ark., 2012; Ener Rusen ve Konuralp, 2020).

3.5.2. NASA SSE (Surface meteorology and solar energy)

SSE 5.1 Yayını, yenilenebilir enerji sistemlerini değerlendirmek ve tasarlamak için formüle edilmiş parametreler içermektedir. Bu parametreler güneş termal uygulamalar, güneş geometrisi, eğimli güneş panelleri, enerji depolama sistemleri, fazlalık ürün depolama sistemleri, bulut bilgileri, sıcaklık, rüzgar, diğer meteorolojik faktörler ve destekleyici bilgiler olmak üzere toplam 11 gruba ayrılmaktadır. Bu son sürüm, yenilenebilir enerji endüstrisinin önerilerine dayanarak yeni parametreleri dahil etmiş ve önceki sürümlerden daha fazla doğruluğa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Çevrimiçi grafikleme yetenekleri, herhangi bir bölge için potansiyel yenilenebilir enerji projelerinin hızlı değerlendirilmesine olanak tanımakta olup, SSE veri seti, Temmuz 1983 ile Haziran 1993 arasındaki 10 yıl boyunca NASA uydu ve yeniden analiz verilerinden türetilmiştir. Sonuçlar, dünya genelinde 1 derece enlem ve 1 derece boylam grid hücreleri için sağlanmakta olup, 1195 Dünya Radyasyon Veri Merkezi yer istasyonu için günlük ve aylık ortalama ölçümler de dahil edilmiştir. SSE projesinin hedefleri, yenilenebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktır. SSE'nin HOMER gibi teknoloji endüstrileriyle iş birliği, rüzgar türbinleri, fotovoltaik paneller veya dizel jeneratörler kombinasyonu kullanarak elektrik üretimi için elektrik güç sistemleri tasarlamada yardımcı olmaktadır (URL 17).

3.5.3. NREL (National renewable energy laboratory) solar prospector

Ulusal Güneş Radyasyonu Veri tabanı (NSRDB), meteorolojik verilerin ve en yaygın üç güneş radyasyonu ölçümünün: küresel yatay, doğrudan normal ve dağınık yatay güneş radyasyonunun saatlik ve yarım saatlik değerlerinin sürekli bir koleksiyonudur. ABD'yi ve büyüyen bir uluslararası konumlar kümesini kapsamaktadır. Bu veriler, bölgesel güneş radyasyonu iklimlerini doğru bir şekilde temsil edecek kadar fazla sayıda yer ve zamansal ve mekânsal ölçeklerde toplanmıştır. Veri tabanında yer alan bir konum için, belirli bir zamanda mevcut olan güneş enerjisi miktarını görmek ve geçmiş koşullara dayanarak gelecekteki güneş enerjisi potansiyelini tahmin etmek mümkündür. Bu harita, PSM v3'ten yıllık ortalama toplam günlük güneş kaynaklarını 0,038 derece enlem ve 0,038 derece boylam çözünürlüğünde (nominal olarak 4 km x 4 km) sunmaktadır. Güneşlenme değerleri, güneş enerji sistemleri için mevcut olan kaynağı temsil eder. Bu değerler, bulut tanımlaması ve özellikleri için uyarlanmış PATMOS-X modeli kullanılarak oluşturulmuş ve ardından REST2 modeli için temiz hava ve NREL'in FARMS modeli için bulutlu hava radyasyon hesaplamalarına giriş olarak kullanılmıştır. REST2 hem DNI hem de GHI hesaplar. FARMS GHI'yi hesaplar ve DISC modeli ardından DNI'yi hesaplamak için kullanılır. Harita, 1998-2016 veri seti kullanılarak üretilmiştir. Aerosol optik özellikler MODIS ve MISR uydu ürünlerinden elde edilirken, atmosfer parametreleri NASA'nın MERRA ürününden alınmıştır (URL 18).

3.5.4. WRF-Solar (Weather research and forecasting model - solar)

WRF-Solar®, güneş enerjisi uygulamaları için özel sayısal tahmin ürünleri talebini karşılamak üzere tasarlanmış ilk sayısal hava tahmin modelidir (Jimenez ve ark. 2016). WRF-Solar, Weather Research and Forecasting (WRF) modelinin özel bir yapılandırması ve genişletilmesidir. Modelin 1. sürümü, geniş bir zamansal ölçek yelpazesinde güneş enerjisi tahminlerini iyileştirmeyi hedefleyen Sun4Cast® projesi kapsamında ABD Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir (Haupt ve ark., 2016).

WRF-Solar™'in iyileştirdiği fiziksel süreçleri temsil eden bir şemadır. Radyasyonun farklı bileşenleri belirtilmiştir. WRF-Solar'ın Topluluk Sürümü kamuya açık olup resmi WRF Github deposundan indirilebilir. WRF sürüm 4.2, WRF-Solar

Sürüm 1'in fiziksel parametizasyonlarındaki iyileştirmeleri ve diğer geliştirmeleri içerir. Kullanıcıların sürüm 4.2.2 veya gelecek sürümleri kullanmaları teşvik edilmektedir.

Bu web sitesi, modelin tanımını, kullanıcı kılavuzunu, WRF-Solar topluluğu tarafından karşılaştırma için kullanılacak referans yapılandırmasını ve devam eden gelişmeleri sağlamaktadır (URL 19).

3.5.5. SOLIS (Solar irradiance information system)

SOLIS, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) tarafından işletilen bir platformdur ve güneş radyasyonunu uzaktan algılama verileri ve atmosferik modeller kullanarak tahmin etmektedir. Bu modeller genellikle çeşitli veri kaynaklarına dayanarak güneş geometrisi (Güneş açısı, günün saati, mevsim), atmosferik koşullar (bulut örtüsü, su buharı içeriği, aerosol miktarı), yerel meteorolojik veriler (hava sıcaklığı, rüzgar hızı ve yönü) ve bazen uzaktan algılama verileri (uydu görüntüleri) yardımıyla güneş radyasyonunu tahmin etmektedir. Bu modeller, güneş enerjisi projelerinin planlanması ve işletilmesi için önemli araçlardır, çünkü güneş radyasyonunun doğru tahmin edilmesi, güneş panellerinin verimliliğini ve enerji üretimini maksimize etmede kritik bir rol oynamaktadır (URL 20).

3.5.6. Küresel güneş radyasyonu tahmin modelleri

Kaynaklarda çok sayıda küresel güneş radyasyonun tahmin etmeye yarayan modeller bulunmaktadır. Bu modeller genellikle lineer, polinomal, 3. dereceden polinomal ve diğer modeller olarak ana gruplara ayrılmaktadır. Kaynaklarda en çok kullanılan ve özellikle Türkiye için üretilmiş olan modeller başlıklar halinde incelenmiştir.

3.5.6.1. Lineer modeller

Lineer denklemler yoluyla elde edilen değerler genellikle belirli bir bölge için uygulanabilmektedir. Lineer modeller ise Angstrom-Presscott-Page (1924) modelinden Eşitlik 3.7 ile elde edilmektedir (Angström, 1924).

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (3.7)$$

Formülde *H* değeri, ortalama günlük küresel güneş radyasyonunu, H_0 ise günlük ortalama atmosfer öncesi güneş radyasyonunu göstermektedir. Gün uzunluğu değeri *S*, maksimum güneşlenme süresi ise S_0 ile gösterilmektedir. A ve B katsayıları ise düzeltme katsayılarıdır. Atmosfer dışında kalan ve dış radyasyon olarak adlandırılan değer yatay bir düzlem üzerine düşen güneş ışığı olarak adlandırılır ve Eşitlik 3.8 ile hesaplanır.

$$H_0 = \frac{24}{\pi} Isc.f.(\cos\lambda.\cos\delta.\sin\omega_s) + \left(\frac{2\pi\omega_s}{360}\sin\lambda.\sin\delta\right) \quad (3.8)$$

Isc değeri ise güneş sabiti olarak adlandırılmakta olup, 1.367 W/m² değerine eşittir. *f* düzeltme katsayısı, λ enlem değeri, δ güneş deklinasyon açısı, ω_s ay için ortalama gündoğumu saat açısını gösterir. Bu denklemdeki güneş sapma açısı, gündoğumu saat açısı ve düzeltme faktörü ise Eşitlik 3.9, 3.10 ve 3.11 ile hesaplanmaktadır. (Duffie ve Beckman, 1991).

$$f = 1 + 0{,}033\cos\left(\frac{360n}{365}\right) \quad (3.9)$$

$$\delta = 23{,}45\sin\left[360\frac{(n+284)}{365}\right] \quad (3.10)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\lambda)(\tan\delta)] \quad (3.11)$$

n değeri, 1 ocaktan itibaren başlayan günü temsil etmektedir. Herhangi bir ayda elde edilebilen maksimum güneşlenme süresi S_0 ise Eşitlik 3.12 ile hesaplanabilmektedir.

$$S_0 = \frac{2}{15}\omega_S \quad (3.12)$$

Dünya genelinde sıklıkla kullanılan ve Türkiye için özel üretilmiş bazı lineer modellerin formülleri aşağıda listelenmiştir.

- **Page model**

Page (1961), Dünyanın her yerinde kullanılabileceği öngörülen Eşitlik 3.13'ü önermiştir.

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}23 + 0{,}48\frac{S}{S_0} \tag{3.13}$$

- **Almorox ve Hontoria model**

(Almorox ve Hontoria, 2004), Angstrom-Prescott modelini modifiye etmişlerdir. 4 farklı mevsim için Eşitlik 3.14, 3.15, 3.16 ve 3.17'yi önermişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}2114 + 0{,}5291\frac{S}{S_0}\ (Kış) \tag{3.14}$$

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}2414 + 0{,}5375\frac{S}{S_0}\ (Bahar) \tag{3.15}$$

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}2518 + 0{,}5004\frac{S}{S_0}\ (Yaz) \tag{3.16}$$

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}1966 + 0{,}5580\frac{S}{S_0}\ (Sonbahar) \tag{3.17}$$

- **Gopinathan model**

Gopinathan (1988), diğer modellere ek olarak a ve b katsayılarına yükseklik düzeltmesi eklenmesini önermişlerdir (Eşitlik 3.18,3.19)

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}265 + 0{,}07Z + 0{,}136\frac{S}{S_0} \tag{3.18}$$

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}401 + 0{,}108Z + 0{,}0235\frac{S}{S_0} \tag{3.19}$$

- **Bakırcı model**

Bakırcı (2009), Türkiye'nin tamamı için kullanılabilecek olan bir model olup Eşitlik 3.20 ile hesaplanmaktadır.

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}2786 + 0{,}4160\frac{S}{S_0} \quad (3.20)$$

- **Ülgen ve Özbalta model**

Ülgen ve Özbalta (2000), sadece İzmir ili Bornova ilçesi için kullanılabilecek Eşitlik 3.21'i üretmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}2424 + 0{,}5014\frac{S}{S_0} \quad (3.21)$$

- **Ülgen ve Hepbaşlı model**

Ülgen ve Hepbaşlı (2004), Ankara, İzmir ve İstanbul illerinden elde edilen veriler kullanılarak Eşitlik 3.22'yi geliştirmişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}2671 + 0{,}4754\frac{S}{S_0} \quad (3.22)$$

- **Ülgen ve Hepbaşlı model**

Ülgen ve Hepbaşlı (2004), İzmir ili için gözlem verilerine dayanarak Eşitlik 3.23'ü geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}3092\cos\delta + 0{,}431\frac{S}{S_0} \quad (3.23)$$

- **Aras model**

Aras ve ark. (2006), Orta Anadolu bölgesi için yapmış oldukları hesaplamalar ile Eşitlik 3.24'ü bulmuşlardır.

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}3078 + 0{,}4166\frac{S}{S_0} \quad (3.24)$$

- **Dogniaux ve Lemoine model**

Dogniaux ve Lemoine (1983),belirli bir enleme bağlı yüksekliklerdeki derecelere bağlı olarak güneş radyasyonu hesaplamak için Eşitlik 3.25'i üretmişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}3702 + \left[0{,}00506\frac{S}{S_0} - 0{,}00313\right]\lambda + 0{,}3209 \quad (3.25)$$

- **Glower ve McCulloch model**

Glower ve McClulloch (1958), Güneş denklinasyon açısını göz önüne alınması için Eşitlik 3.26 ve 3.27'yi geliştirmişlerdir.

$$\frac{H}{H_0} = a.\cos\delta + b\frac{S}{S_0} \quad (3.26)$$

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}29\cos\delta + 0{,}52\frac{S}{S_0} \quad (3.27)$$

- **Kılıç ve Öztürk model**

Kılıç ve Öztürk (1983), a ve b katsayıları hesaplamadaki denklemlere güneş deklinasyon açısı, w ve z fonksiyonlarını da eklemişlerdir (Eşitlik 3.28,3.29)

$$a = 0{,}103 + 0{,}000017Z + 0{,}198\cos(\lambda - \delta) \quad (3.28)$$

$$b = 0{,}533 + 0{,}165\cos(\lambda - \delta) \quad (3.29)$$

3.5.6.2. Polinomal modeller

Lineer modellerden farklı olarak 2. dereceden polinom denklemleri yardımıyla güneş radyasyonu değerini tahmin etmeye yarayan modellerdir. Kaynaklarda çok sayıda model olması nedeniyle Dünya'da sıklıkla kullanılan ve Türkiye için üretilmiş olan modeller sıralanacaktır.

Genel olarak yatay düzleme gelen güneş radyasyonu aylık ortalama değer olarak formüldeki ikinci dereceden polinom denklemi ile hesaplanabilmektedir. Eşitlik 3.30'da verilen a, b ve c değerleri ise korelasyon katsayılarını temsil etmektedir.

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) + c\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.30)$$

- **Akınoğlu ve Ecevit model**

Akinoğlu ve Ecevit (1990), tüm Türkiye için H ve S değerleri arasındaki ilişkiyi kurabilmek için Eşitlik 3.31'i geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}145 + 0{,}845\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0{,}280\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.31)$$

- **Taşdemiroğlu ve Sever model**

Taşdemiroğlu ve Sever (1991), Türkiye'deki Ankara, Antalya, Diyarbakır, İzmir, Samsun ve Gebze illeri için elde edilen verilere dayanarak Eşitlik 3.32'yi geliştirmişlerdir (

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}225 + 0{,}014\left(\frac{S}{S_0}\right) + 0{,}001\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.32)$$

- **Yıldız ve Öz model**

Yıldız ve Öz (1994), Türkiye'deki farklı illerde bulunan toplam 5 istasyon verilerini değerlendirerek Eşitlik 3.33'ü geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}2038 + 0{,}9236\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0{,}391\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.33)$$

- **Aksoy model**

Aksoy (1997), Konya, Antalya, Samsun, Ankara, Urfa ve İzmir illerinde ölçülen değerleri kullanarak aylık ortalama güneş radyasyonu tahmini için Eşitlik 3.34'ü geliştirmiştir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}148 + 0{,}668\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0{,}079\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.34)$$

- **Ülgen ve Özbalta model**

Ülgen ve Özbalta (2000), İzmir ili Bornova ilçesi için elde edilen veriler ile Eşitlik 3.35'i geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}0959 + 0{,}9958\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0{,}3922\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.35)$$

- **Toğrul ve Toğrul model**

Toğrul ve Toğrul (2002), Ankara, İzmir, Adana, Antalya, Aydın ve Elazığ illerindeki verileri inceleyerek Eşitlik 3.36'yı geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}1541 + 1{,}1741\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0{,}705\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.36)$$

- **Tahran ve Sarı model**

Tahran ve Sarı (2005), Orta Karadeniz bölgesi güneş radyasyonu tahmini için Eşitlik 3.37'yi geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}1874 + 0{,}8592\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0{,}4764\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.37)$$

- **Aras model**

Aras ve ark. (2006), İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan toplam 12 il baz alınarak yaptıkları hesaplama ile Eşitlik 3.38'i geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}3398 + 0{,}2868\left(\frac{S}{S_0}\right) + 0{,}1187\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.38)$$

- **Bakırcı model**

Bakırcı (2007), Türkiye geneli için Eşitlik 3.39'u geliştirmiştir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}2545 + 0{,}5121\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0{,}0864\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 \quad (3.39)$$

3.5.6.3. 3. Derece polinomal modeller

Bu modeller, 3. derece polinom denklemlerini kullanarak güneş radyasyonunu tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Eşitlik 3.40'da 3. dereceden güneş radyasyonu denklemi verilmiştir. Sıklıkla kullanılan ve Türkiye için önerilen modeller aşağıda sıralanmıştır.

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{S}{S_0}\right) + c\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + d\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (3.40)$$

- **Yanıktepe ve Genç model**

Yanıktepe ve Genç (2014), atmosfer öncesi radyasyon ve güneşlenme süresini 3. Dereceden bir polinom denklemi ile ifade eden Eşitlik 3.41'i geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = -1{,}8843 + 12{,}645\left(\frac{S}{S_0}\right) - 21{,}871\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 12{,}367\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (3.41)$$

- **Toğrul ve Toğrul model**

Toğrul ve Toğrul (2000), Antalya, Adana, İzmir, Aydın ve Elazığ illeri için farklı regresyon denklemleri yardımıyla Eşitlik 3.42'yi geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}1796 + 0{,}9813\left(\frac{S}{S_0}\right) - 0{,}2958\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0{,}2657\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (3.42)$$

- **Ülgen ve Hepbaşlı model**

Ülgen ve Hepbaşlı (2004), İzmir, Ankara ve İstanbul illeri için Eşitlik 3.43'ü geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}2854 + 0{,}2591\left(\frac{S}{S_0}\right) + 0{,}6171\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 0{,}4834\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (3.43)$$

- **Tahran ve Sarı model**

Tahran ve Sarı (2005), Orta Karadeniz Bölgesi için hesaplamış oldukları Eşitlik 3.44'ü geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}1520 + 1{,}1334\left(\frac{S}{S_0}\right) - 1{,}1126\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + 0{,}4516\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \qquad (3.44)$$

- **Aras model**

Aras ve ark. (2006), İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan toplam 12 il baz alınarak yaptıkları hesaplama ile Eşitlik 3.45'i geliştirmişlerdir

$$\frac{H}{H_0} = 0{,}4832 - 0{,}6161\left(\frac{S}{S_0}\right) + 1{,}8932\left(\frac{S}{S_0}\right)^2 - 1{,}0975\left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \qquad (3.45)$$

3.5.7. Area solar radiation eklentisi ile küresel güneş radyasyonu verilerinin oluşturulması

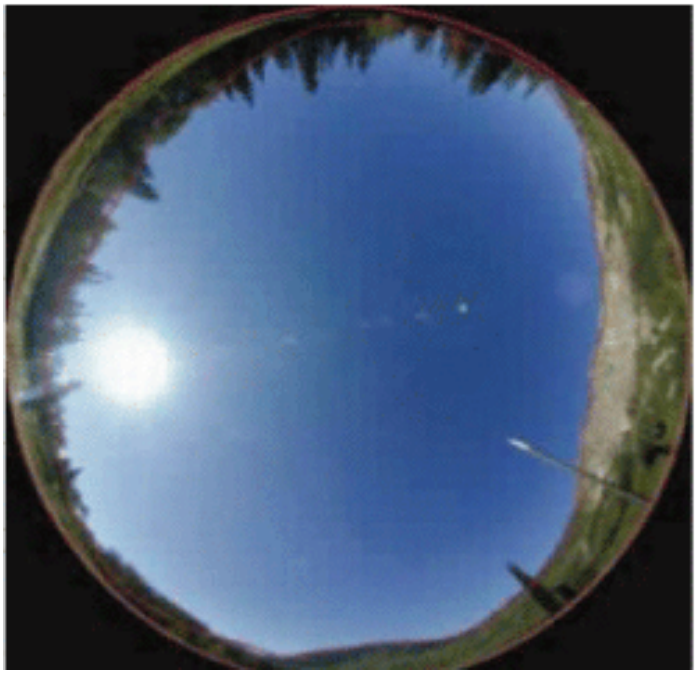
Güneş radyasyonu analiz araçları, belirli zaman dilimleri için bir coğrafi alan üzerindeki güneş etkilerini haritalama ve analiz etme imkanı sağlamaktadır. Bu araçlar, atmosferik etkiler, alan enlemi ve yüksekliği, eğim ve pusula yönü (yönelme), güneş açısının günlük ve mevsimlik değişimleri ve çevredeki topografya tarafından oluşturulan gölgelerin etkilerini dikkate almaktadır. Elde edilen çıktılar, diğer CBS verileriyle kolayca entegre edilebilmekte ve güneşten etkilenen fiziksel ve biyolojik süreçleri modellemeye yardımcı olabilmektedir. Bu noktada ArcGIS yazılımının sunmuş olduğu "Area Solar Radiation" (ASR) eklentisi ile bir bölgeye ait güneş radyasyonunun belirlenmesi gerçekleştirilebilmektedir.

ASR aracı, nokta konumları veya tüm coğrafi alanlar için hesaplamalar yapabilmek için 4 adımdan oluşan bir yol izlemektedir.

1- Topoğrafyaya dayalı olarak yukarı bakan yarı küresel bir görüş alanın hesaplanması

2- Doğrudan radyasyonu tahmin etmek için görüş alanının doğrudan güneş haritası üzerine örtüştürülmesi.
3- Difüz radyasyonu tahmin etmek için görüş alanının difüz gökyüzü haritası üzerine örtüştürülmesi.
4- İstenilen her bir konum için bu işlemin tekrarlanarak bir ışınım haritası üretilmesi.

Radyasyon, topografi ve yüzey özelliklerinden büyük ölçüde etkilenebileceğinden, hesaplama algoritmasının temel bir bileşeni, sayısal arazi modeli (SAM) veya sayısal yüzey modelindeki (SYM) her konum için yukarı bakan yarı küresel bir görüş alanının oluşturulmasını gerektirir. Yarı küresel görüş alanları, yerden yukarıya tüm gökyüzünü gören ve bir gezgin yıldız gözlem evindeki görünümü andıran yukarı bakan yarı küresel (balık gözü) fotoğraflara benzer. Görülebilir gökyüzü miktarı, bir konumdaki ışınımda önemli bir rol oynar. Örneğin, açık bir alanda bulunan bir sensör, derin bir kanyon içinde bulunan bir sensörden daha yüksek ışınıma sahiptir. Şekil 3.7'de çevredeki topografi ve yüzey özellikleri tarafından engellenmiş gökyüzü yönleri ile birlikte görülebilir gökyüzünü gösteren yukarı bakan yarı küresel bir fotoğrafı tasvir etmektedir. Bu, yerden yukarıya tüm yönlere bakarak sahip olunabilecek görünüme benzemektedir.

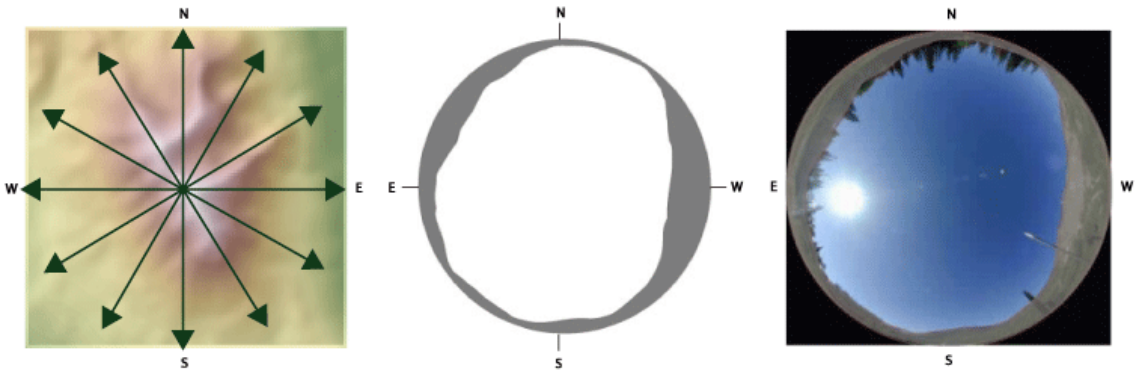


Şekil 3.7. Gökyüzünün yönlerini tasvir eden küresel fotoğraf (URL 7)

3.5.7.1. Yarı küresel görüş alanının hesaplanması

Görüş alanı, belirli bir konumdan bakıldığında görülebilen veya engellenmiş olan tüm gökyüzünün raster temsili olarak tanımlanır. Bir görüş alanı, ilgi çekici bir konum etrafında belirtilen sayıda yönde arama yaparak gökyüzü engellenme açısını, yani ufuk açısını belirleyerek hesaplanır. Diğer tüm aranmamış yönler için ufuk açıları enterpolasyon yoluyla tahmin edilir. Ufuk açıları daha sonra yarı küresel bir koordinat sistemine dönüştürülerek, üç boyutlu bir yönler yarı küresel modelinin iki boyutlu bir raster görüntüsü olarak temsil edilmesini sağlar. Görüş alanının her raster hücresine, gökyüzü yönünün görünür mü yoksa engellenmiş mi olduğunu belirten bir değer atanır. Çıktı hücre konumları (satır ve sütun) yönler yarı küresel modelinde zenit açısı θ (düz yukarıya göre açı) ve azimut açısı α (kuzeye göre açı) ile ilişkilidir.

Şekil 3.8, bir sayısal yüzey modeli veya sayısal arazi modeli hücresinin görüş alanının hesaplanmasını göstermektedir. Ufuk açıları belirli sayıda yönde hesaplanır ve gökyüzünün yarı küresel bir temsilini oluşturmak için kullanılır. Elde edilen görüş alanı, gökyüzü yönlerinin görünür (beyaz ile gösterilen) veya engellenmiş (gri ile gösterilen) olup olmadığını karakterize eder. Görüş alanı, teoriyi göstermek için bir yarı küresel fotoğrafın üzerine yerleştirilmiş olarak gösterilmiştir.



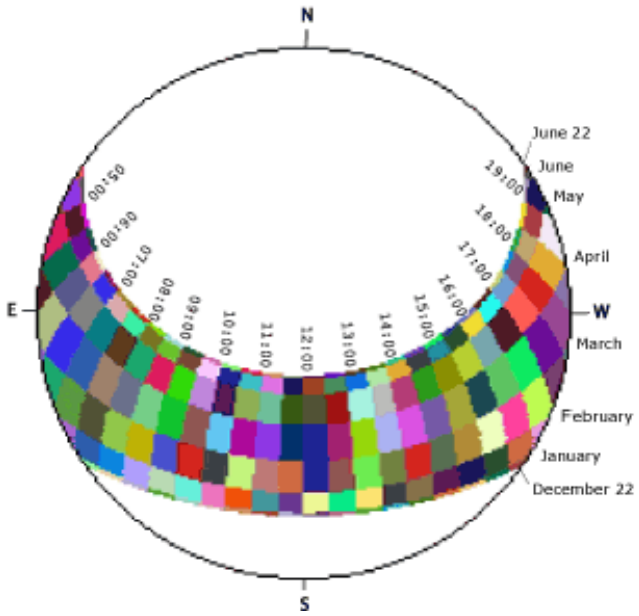
Şekil 3.8. Gökyüzü yönlerinin şekil üzerinde gösterilmesi (URL 7)

Görüş alanları, doğrudan, difüz ve toplam (doğrudan + difüz) radyasyonu hesaplamak ve doğru bir ışınım haritası üretmek için güneş pozisyonu ve gökyüzü yön bilgileri (sırasıyla güneş haritası ve gökyüzü haritası tarafından temsil edilen) ile birlikte kullanılmaktadır.

3.5.7.2. Yarı küresel görüş alanından gökyüzü sektörlerinin hesaplanması

Her gökyüzü yönünden kaynaklanan doğrudan güneş radyasyonu, görüş alanıyla aynı yarı küresel projeksiyonda olan bir güneş haritası kullanılarak hesaplanır. Güneş haritası, güneşin gün boyunca ve yıl boyunca değişen görünür pozisyonunu, yani güneşin hareketini gösteren bir raster temsildir. Bu, güneşin gökyüzündeki pozisyonunun zaman içinde nasıl değiştiğini yukarı bakarak izlemek gibidir. Güneş haritası, gün içindeki (saatlik) ve yıl içindeki (günlük veya aylık) belirli aralıklarla güneşin pozisyonunu tanımlayan ayrık sektörlerden oluşmaktadır. Güneş hareketi, çalışma alanının enlemi ve güneş haritası sektörlerini tanımlayan zaman yapılandırması temel alınarak hesaplanmaktadır. Her güneş harita sektörü için, kendine özgü bir tanımlama değeri belirtilir ve bununla birlikte merkez zenit ve azimut açısı verilir. Her sektörden kaynaklanan güneş radyasyonu ayrı ayrı hesaplanır ve doğrudan radyasyon hesaplaması için görüş alanı güneş haritasının üzerine örtüştürülmektedir.

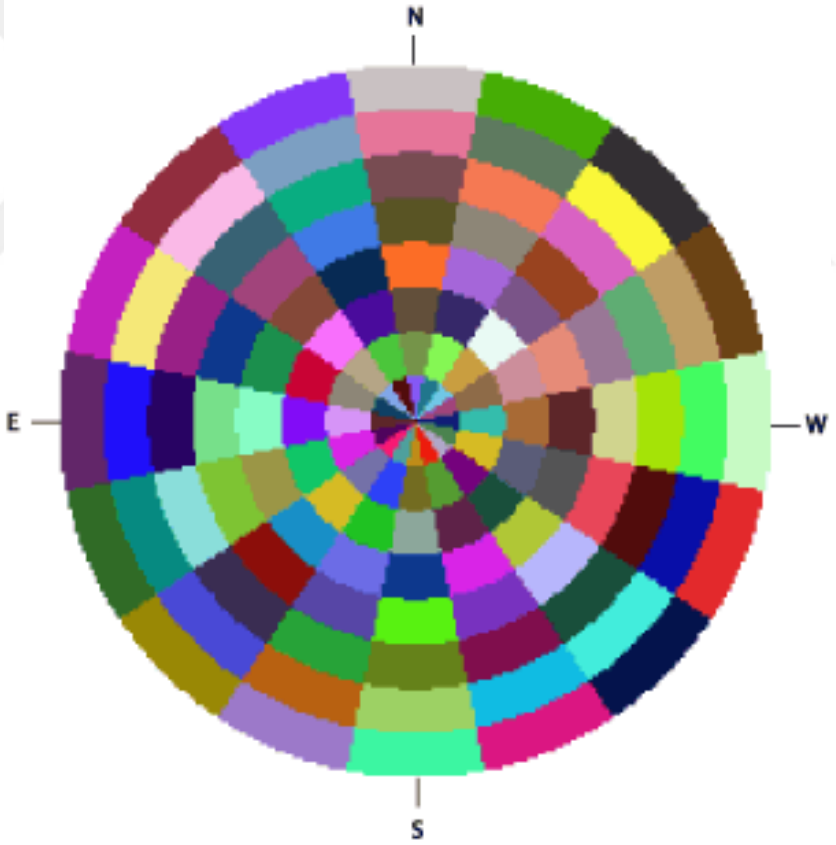
Şekil 3.9, kış gündönümünden (21 Aralık) yaz gündönümüne (21 Haziran) kadar olan 45º K enlemi için hesaplanan bir güneş haritasını göstermektedir. Her güneş sektörü (renkli kutu), gün boyunca 0,5 saatlik aralıklarla ve yıl boyunca aylık aralıklarla güneşin pozisyonunu temsil eder. Görüntünün, yukarı bakan görüş alanlarıyla aynı yarı küresel projeksiyonda olduğunu not etmek gerekir. Güneşin, günün ve yılın zamanında gökyüzünde nasıl hareket ettiğini göstermektedir.



Şekil 3.9. Güneş haritası ve sektörleri (URL 7)

3.5.7.3. Gökyüzü haritasının oluşturulması

Dağınık radyasyon, atmosfer bileşenleri (bulutlar, partiküller vb.) tarafından saçılma sonucu tüm gökyüzü yönlerinden kaynaklanır. Belirli bir konum için difüz radyasyonu hesaplamak amacıyla, zenit ve azimut açılarıyla tanımlanmış bir dizi gökyüzü sektörü ile bölünmüş bir yarı küresel gökyüzü görünümünü temsil eden bir gökyüzü haritası oluşturulur. Her sektöre, kendine özgü bir tanımlayıcı değeri atanır ve merkez zenit ve azimut açıları verilmektedir. Difüz radyasyon, her gökyüzü sektörü için yön (zenit ve azimut) bazında hesaplanmaktadır. Şekil 3.10'da, 8 zenit bölümü ve 16 azimut bölümü ile tanımlanmış gökyüzü sektörlerine sahip bir gökyüzü haritası gösterilmektedir. Her renk, difüz radyasyonun kaynaklandığı gökyüzünün bağımsız bir sektörünü veya bölgesini temsil etmektedir.

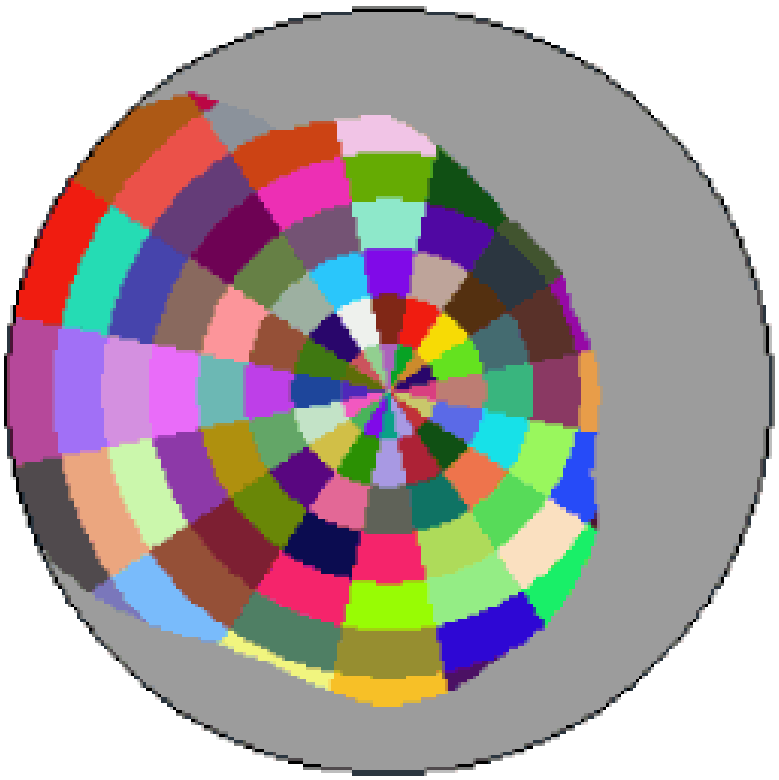


Şekil 3.10. Güneş zenit ve azimut açıları ve sektörleri (URL 7)

3.5.7.4. Işınım haritasının oluşturulması

Işınım hesaplaması sırasında, görüş alanı görüntüleri, güneş haritası ve gökyüzü haritası görüntü verileri ile örtüştürülerek her gökyüzü yönünden alınan dağınık ve doğrudan radyasyon hesaplanır. Her sektördeki görülebilir gökyüzü alanının oranı, engellenmemiş hücrelerin sayısının, her sektördeki toplam hücre sayısına bölünmesiyle hesaplanır. Kısmi olarak engellenmiş gökyüzü sektörleri için de izin verilir.

Şekil 3.11'de, bir görüş alanının bir güneş haritası ve bir gökyüzü haritası üzerine nasıl örtüştürüldüğünü gösterilmektedir. Gri renk, engellenmiş gökyüzü yönlerini temsil eder. Güneş radyasyonu, engellenmemiş gökyüzü yönlerinden kaynaklanan doğrudan ve difüz ışınımın toplamı ile hesaplanmaktadır.



Şekil 3.11. Işınım haritasının tasviri (URL 7)

3.5.7.5. ArcGIS Pro 2.8 küresel güneş radyasyonu hesabı

Küresel güneş radyasyonu analiz araçları, Rich ve arkadaşları (Rich 1990, Rich ve ark., 1994) tarafından geliştirilen ve Fu ve Rich (2000, 2002) tarafından daha da geliştirilmiş yarı küresel görüş alanı algoritmasından elde edilen yöntemlere dayanarak,

bir peyzaj üzerinde veya belirli konumlar için ışınım hesaplamasını yapmaktadır. Belirli bir konum veya alan için hesaplanan toplam radyasyon, küresel güneş radyasyon olarak verilmiştir. Doğrudan, dağınık ve küresel güneş radyasyonu hesaplamaları, her özellik konumu veya topoğrafik yüzeydeki her konum için tekrarlanır ve tüm coğrafi alan için ışınım haritaları üretilmektedir. Küresel güneş radyasyonun hesaplanmasında sırası ile aşağıda verilen formüller kullanılmaktadır.

Küresel güneş radyasyon ($Global_{tot}$), tüm güneş haritası ve gökyüzü haritası sektörlerinin doğrudan ($Dirt_{ot}$) ve dağınık ($Dift_{ot}$) radyasyonlarının toplamı olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.46).

$$Global_{tot} = Dir_{tot} + Dif_{tot} \quad (3.46)$$

Belirli bir konum için toplam doğrudan ışınım (Dir_{tot}), tüm güneş haritası sektörlerinden gelen doğrudan ışınımın ($Dir_{\theta,\alpha}$) toplamıdır (Eşitlik 3.47).

$$Dir_{tot} = \sum Dir_{\emptyset,\alpha} \quad (3.47)$$

Güneş haritası sektöründen gelen doğrudan ışınım ($Dir_{\theta,\alpha}$), zenit açısı (θ) ve azimut açısı (α) ile tanımlanan merkez noktası kullanılarak aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.48).

$$Dir_{\emptyset,\alpha} = S_{Const} * \beta^{m(\emptyset)} * Sundur_{\emptyset,\alpha} * SunGap_{\emptyset,\alpha} * \cos(AngIn)_{\emptyset,\alpha} \quad (3.48)$$

$\boldsymbol{S_{Const}}$, ortalama dünya-güneş mesafesinde atmosfer dışında güneş akışı olarak bilinen güneş sabitidir. Analizde kullanılan güneş sabiti 1.367 W/m²'dir. Bu değer, Dünya Radyasyon Merkezi (WRC) güneş sabiti ile tutarlıdır. $\boldsymbol{\beta}$, Kısa yol için atmosferin (tüm dalga boyları üzerinden ortalama) zenit yönünde geçirgenliğini temsil etmektedir. $\boldsymbol{m(\theta)}$, gökyüzü sektöründeki gölge uzunluğuna göre orantılı olarak ölçülen göreli optik yol uzunluğunu göstermektedir. $\boldsymbol{SunDur_{\theta,\alpha}}$, gökyüzü sektörünü temsil eden zaman süresidir Çoğu sektör için, bu, gün aralığı (örneğin, bir ay) ile saat aralığının (örneğin, yarım saat) çarpımıdır. Yatay sektörler (ufka yakın) için süre, küresel geometri kullanılarak hesaplanır. $\boldsymbol{SunGap_{\theta,\alpha}}$, güneş haritası sektöründeki boşluk oranı ve

$\boldsymbol{AngIn_{\theta,\alpha}}$, gökyüzü sektörünün merkez noktası ile yüzeyin normal ekseni arasındaki düşüş açısını temsil etmektedir.

Göreli optik uzunluk, m(θ), güneş zenit açısı ve deniz seviyesinden yüksekliğe bağlı olarak belirlenir. Zenit açıları 80°'den küçükse, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir (Eşitlik 3.49).

$$m(\emptyset) = \frac{EXP\ (-0{,}000118 * Elev - 1.638\ x\ 10^{-9} * Elev^2}{\cos\ (\emptyset)} \quad (3.49)$$

Eşitlikteki $\boldsymbol{\theta}$, Güneş zenit açısını, ***Elev***, metre cinsiden deniz seviyesinden olan yükseklik değeridir. Yüzey yöneliminin etkisi, düşüş açısının kosinüsü ile çarpılarak dikkate alınmaktadır. Düşüş açısı ($\boldsymbol{AngInSky_{\theta,\alpha}}$), zenit açısı ve azimut açısına sahip bir gökyüzü sektörü ile kesişen yüzey arasındaki açı, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir (Eşitlik 3.50).

$$AngIn_{\emptyset,\alpha} = \text{acos}\ (Cos(\emptyset) * Cos(G_z) + Sin(\emptyset) * Sin(G_z) * Cos(\alpha - G_A)) \quad (3.50)$$

Eşitlikte $\boldsymbol{G_Z}$, yüzey zenit açısını, (Zenit açıları 80°'den büyükse, kırılma önemli bir faktördür), $\boldsymbol{G_A}$ ise yüzey azimut açısını temsil etmektedir. Her gökyüzü sektörü için, sektördeki merkez noktada (Dif) dağınık radyasyon, zaman aralığı boyunca entegre edilmesi ve boşluk oranı ve düşüş açısı ile düzeltilmesi için Eşitlik 3.51 kullanılmaktadır.

$$Dif_{\emptyset,\alpha} = R_{glb} * P_{dif} * \text{Dur} * SkyGap_{\emptyset,\alpha} * Weight_{\emptyset,\alpha} * \cos\ (AngIn_{\emptyset,\alpha}) \quad (3.51)$$

Eşitlikte $\boldsymbol{R_{glb}}$, küresel normal radyasyon, $\boldsymbol{P_{dif}}$, küresel normal radyasyon akışının dağınık olan kısmını temsil etmektedir. Genellikle çok açık hava koşulları için yaklaşık 0,2, çok bulutlu hava koşulları için ise yaklaşık 0,7 değeri alınmaktadır. ***Dur,*** analiz için belirlenen zaman aralığını, $\boldsymbol{SkyGap_{\theta,\alpha}}$ gökyüzü sektöründeki boşluk oranı, başka deyişle gökyüzünün görülebilir kısmını ifade etmektedir. $\boldsymbol{Weight_{\theta,\alpha}}$, verilen bir gökyüzü sektöründen kaynaklanan dağınık radyasyonun tüm sektörlere oranını göstermektedir.

$AngIn_{\theta,\alpha}$, gökyüzü sektörünün merkez noktası ile yüzey arasındaki düşüş açısını göstermektedir.

Küresel normal radyasyon (R_{glb}) her sektörden (engellenmiş sektörler dahil) doğrudan radyasyonları toplayarak, düşüş açısı için düzeltme yapmadan hesaplanabilmekte ve sonra doğrudan radyasyonun oranına düzeltme olarak getirilmektedir. Bu oran $1 - P_{dif}$'e eşittir (Eşitlik 3.52).

$$R_{glb}=\frac{S_{Const}\ \sum(\beta^{m(\emptyset)}}{1-P_{Dif}} \tag{3.52}$$

Uniform gökyüzü dağınık modelinde, $Weight_{\theta,\alpha}$ Eşitlik 3.53 ile hesaplanır:

$$Weight_{\theta,\alpha}=\frac{(\cos\emptyset_2-\cos\emptyset_1)}{Div_{Azi}} \tag{3.53}$$

Eşitlikte θ_1 ve θ_2, gökyüzü sektörünün sınırlayıcı zenit açılarını temsil etmektedir. Div_{azi} ise gökyüzü haritasındaki azimutal bölünme sayısını göstermektedir. Standart kapalı gökyüzü modelinde, Weightθ,α Eşitlik 3.54 ile hesaplanmaktadır.

$$Weight_{\theta,\alpha}=\frac{(2\cos\emptyset_2+\cos 2\emptyset_2-2\cos\emptyset_1+\cos 2\emptyset_1)}{4*Div_{Azi}} \tag{3.54}$$

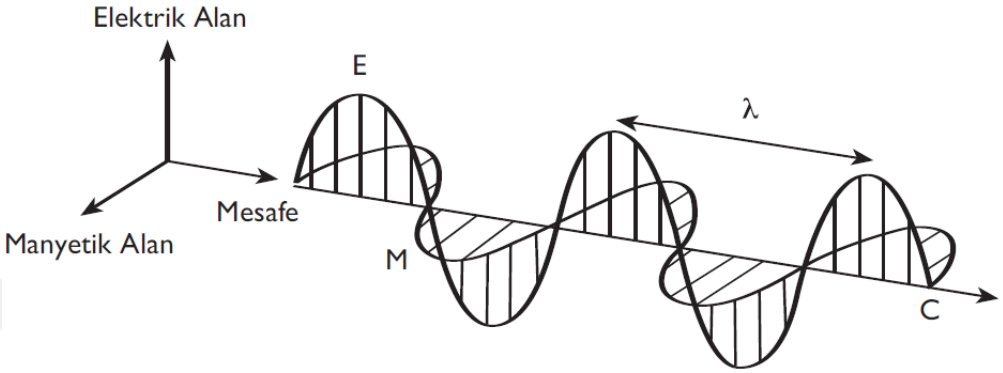
Belirli bir konum için toplam dağınık güneş radyasyonu (Dif_{tot}), tüm gökyüzü haritası sektörlerinden gelen dağınık güneş radyasyonunun (Dif) toplamı olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 3.55).

$$Dif_{tot}=\sum Dif_{\emptyset,\alpha} \tag{3.55}$$

3.6. Elektromanyetik Enerji ve Elektromanyetik Spektrum

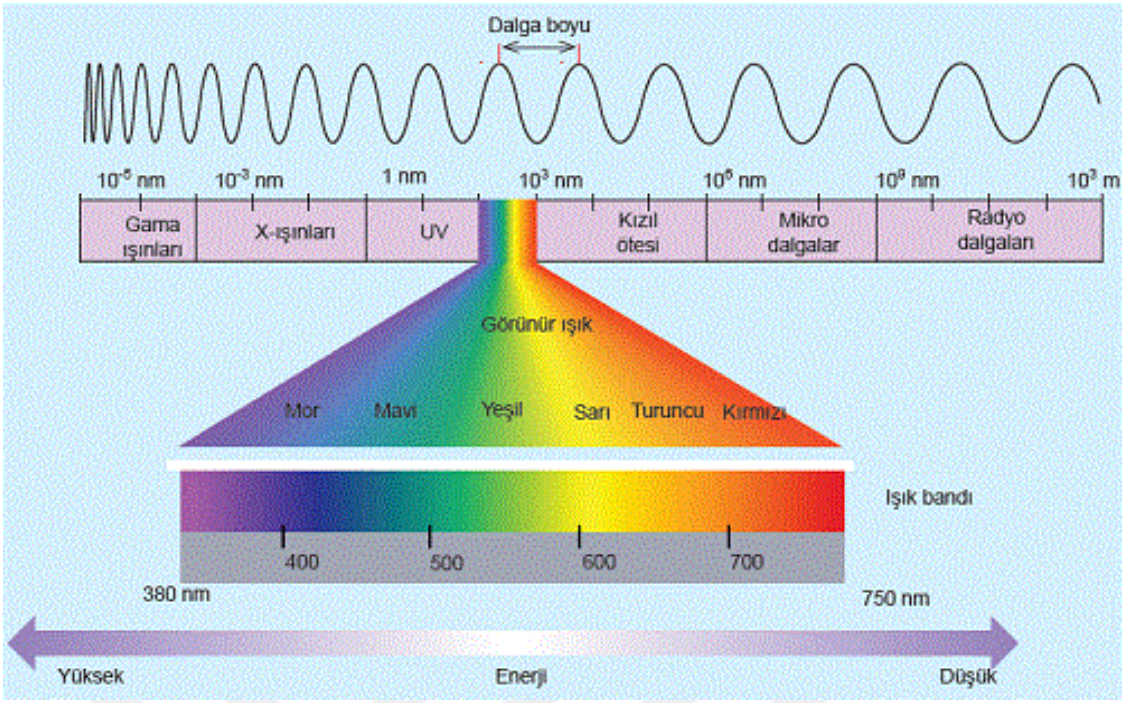
Elektromanyetik enerji, uzaktan algılama sistemlerinin temelini oluşturan ve algılamayı sağlayan en temel bileşeni oluşturmaktadır. Uzaktan algılama sistemlerinde enerji, elektromanyetik ışınlar tarafından taşınır ve yeryüzü ile girdiği etkileşim sayesinde çeşitli veriler elde edilmektedir. Elektromanyetik dalgalar, elektromanyetik

ışınların uzayda yayılması sonucunda oluşmakta olup, elektrik (E) ve manyetik (M) alanlarından oluşmaktadır. Bir elektromanyetik enerjiyi tanımlamak ve birbirlerinden ayırt etmek için dalga boyu (λ), frekans (v) ve genlik (A) parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Şekil 3.12'de elektromanyetik dalganın özellikleri ve parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Elektromanyetik dalganın özellikleri (URL 8)

Elektromanyetik enerji spektrumu, ışınların dalga boylarına göre sınıflandırıldığı, bir skalayı temsil etmektedir. Elektromanyetik dalgalar, dalga boylarına ve enerji miktarlarına göre çok geniş bir alana yayılmaktadırlar (Güzel ve Özlüoymak, 2015). Elektromanyetik dalgalar, 10^{-10} µm kozmik ışınlardan 10^{10} µm dalga boyundaki radyo dalgalarına kadar geniş bir yelpazede bulunmaktadır. Işınların dalga boyu küçüldükçe taşıdıkları enerji artmakta, dalga boyu büyüdükçe ise taşıdıkları enerji azalmaktadır. Başka bir deyişle, dalga boyu ve enerji arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle, gama ve x ışınları, barındırdıkları yüksek enerjiden dolayı insan vücuduna zarar verirken, radyo dalgaları çok düşük enerjiye sahip olduklarından herhangi bir zarara yol açmamaktadır (Sarsmaz, 2020). Ayrıca elektromanyetik dalga boyu, ışınların bir yüzeye nüfuz etmesini de belirleyen bir faktördür. Şekil 3.13'te elektromanyetik spektrum aralıkları ve dalga boyları verilmiştir.



Şekil 3.13. Elektromanyetik spektrum çizelgesi (URL 9)

Uzaktan algılama teknolojileri, genellikle 0,3-15 µm değerleri arasında kalan optik dalga aralığı olarak nitelendirilen bölgeyle ilgilenmektedir. Görünür bölgeyi de içine alan bu dalga boyları ile uzaktan algılama teknolojilerindeki bir çok algılayıcı sistem, bu aralıkta çalışması için tasarlanmıştır. Ayrıca 1- 1.000mm dalga boylarına sahip mikrodalga bölgesi de yine uzaktan algılama teknolojilerinde sıklıkla kullanılan elektromanyetik spektrum aralığıdır. Görünür ışık genellikle 400-700 nanometre (nm) aralığında ya da kızılötesi ve morötesi arasında 4,00 – 7,00 × 10^{-7} m dalga boyları olarak tanımlanmaktadır. Görünür ışık, insan gözünün görebildiği spektrum aralığını temsil etmektedir. Şekil 3.14'te görünür bölge dalga boyları listelenmiştir.

renk	dalga boyu aralığı	frekans aralığı
kırmızı	~ 700–635 nm	~ 430–480 THz
turuncu	~ 635–590 nm	~ 480–510 THz
sarı	~ 590–560 nm	~ 510–540 THz
yeşil	~ 560–490 nm	~ 540–610 THz
mavi	~ 490–450 nm	~ 610–670 THz
mor	~ 450–400 nm	~ 670–750 THz

Şekil 3.14. Görünür bölge dalga boyları (URL 10)

Optik Bölgenin 0,380 ve 3,0 μm arasında kalan bölgesi yansıtıcı bölge olarak adlandırılmaktadır. Bu aralıktaki ışınlar, güneşten yeryüzüne gelen ve cisimlerden yansıyan dalga boylarını temsil etmektedir. Yansıtıcı bölge aynı zamanda 0,38 – 0,72 μm görünür bölge aralığı ve 0,72 – 3,0 μm yansıtıcı kızılötesi dalga boylarına ayrılmaktadır. Kızılötesi bölge ise 0,72 – 1,1 μm yakın kızıl ötesi bölgeye ve 1,1 – 3,0 μm kısa dalga kızılötesi bölgelerine ayrılmaktadır.

Elektromanyetik spektrumun herhangi bir bölgesinde bulunan ışın, yeryüzündeki objelerle farklı şekillerde etkileşime girmektedir. Objelerin renkleri ve parlaklıkları görünür bölgede ortaya çıkarken, termal özellikleri ısıl kızılötesi bantlarına ait ışınlar tarafından belirlenebilmektedir. Objelerin doku, pürüzlülük ve dielektriksel özellikleri ise en net olarak mikrodalga ışınlar ile belirlenebilmektedir. Dolayısıyla uzaktan algılamada, çalışma amacı ve elde edilecek veriye dayalı olarak farklı dalga boylarında kayıt yapabilen algılayıcılar tasarlanmıştır. Her ne kadar spektral bölgeler arasında net bir ayrım olmasa da, ortalama olarak belirlenen aralıklar Çizelge 3.6 ve 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Ana spektrum aralıkları ve dalga boyları

Elektromanyetik dalga	Dalga Boyu	Frekans	Foton Enerjisi
Gama ışını	< 0,02 nm	> 15 EHz	> 62,1 keV
X-ışını	0,01 nm – 10nm	30 EHz – 30 PHz	124 keV – 124 eV
Morötesi (UV)	10 nm – 400 nm	30 PHz – 750 THz	124 eV – 3eV
Görsel Bölge	390 nm – 750 nm	770 THz – 400 THz	3,2 eV – 1,7 eV
Kızılötesi (IR)	750 nm – 1 mm	400 THz – 300 GHz	1,7 eV – 1,24 meV
Mikrodalga	1 mm – 1 m	300 GHz – 300 MHz	1,24 meV – 1,24 μeV
Radyo dalgaları	1 m – 100 km	300 MHz – 3KHz	1,24 μeV – 12,4 feV

Çizelge 3.7. Dalga boyları ve kullanım alanları

Elektromanyetik dalga	Üretim mekanizması	Uygulamaları	Etkileri ve kullanımı
Gama ışını	Nükleer bozunum	Nükleer tıp	Medikal tanı, kanser terapisi ve görüntüleme. Kanser oluşturabilir
X-ışını	İvmelenen yükler	Medikal ve güvenlik	Medikal tanı, kanser terapisi ve görüntüleme. Kanser oluşturabilir
Morötesi (UV)	Termal radyasyon ve elektron geçişleri	Sterilizasyon	D vitamini üretimi, ozon tabakasındaki kimyasal süreçler. Kanser oluşturabilir
Görsel Bölge	Termal radyasyon ve elektron geçişleri	Pek çok alan	Fotosentez ve görme olaylarında kullanılır.
Kızılötesi (IR)	Termal radyasyon ve elektron geçişleri	Termal görüntüleme	Atmosfer tarafından soğrulur ve sera etkisine neden olur.
Mikrodalga	İvmelenen yükler ve termal radyasyon	İletişim, fırınlar ve radar	Polar molekülleri titreştirerek nesneyi ısıtır.
Radyo dalgaları	İvmelenen yükler	İletişim ve uzaktan kumanda	Manyetik rezonans (MR) görüntülemede kullanılır.

3.7. Uydu Sistemleri

Genel anlamda herhangi bir cisim etrafında sabit yörünge ile dönen cisimlere uydu denilmektedir. Dünya'da da veri toplama, haberleşme ve keşif amaçlı çok sayıda uydu sistemi bulunmaktadır. Genellikle sivil ve askeri amaçlı fırlatılan uyduların serüveni 1972 yılında fırlatılan Sputnik uydusu ile başlamıştır. Günümüzde sürekli olarak yenilenen teknolojiler ve ihtiyaçlara binaen geliştirilen sistemler nedeniyle devamlı olarak uzaya uydu gönderilmesi devam etmektedir. Uydular genel anlamda;

- Alçak Yörüngeli Uydular
- Orta Yükseklikte Yörüngeye Sahip Uydular
- Jeosabit (GEO) Uydular

olarak 3 ana grupta toplanmaktadır. Alçak yörüngeli uydular yaklaşık 500-2.000 km yükseklikte yer almakta olup, Uzaktan Algılama ve Dünya üzerinden veri toplamak amacıyla kullanılan uyduların çok büyük bir kısmının bulunduğu gruptur. Bu uydular Güneşle eş zamanlı olarak Dünya etrafında döndüklerinden, ekvatoru her zaman aynı lokal saatte aynı güneş açısı ile geçmektedirler. Bu durum bilimsel çalışmalar açısından önemli bir konudur. Ancak alçak yörüngeli uydular yer yüzüne nispeten yakın bir

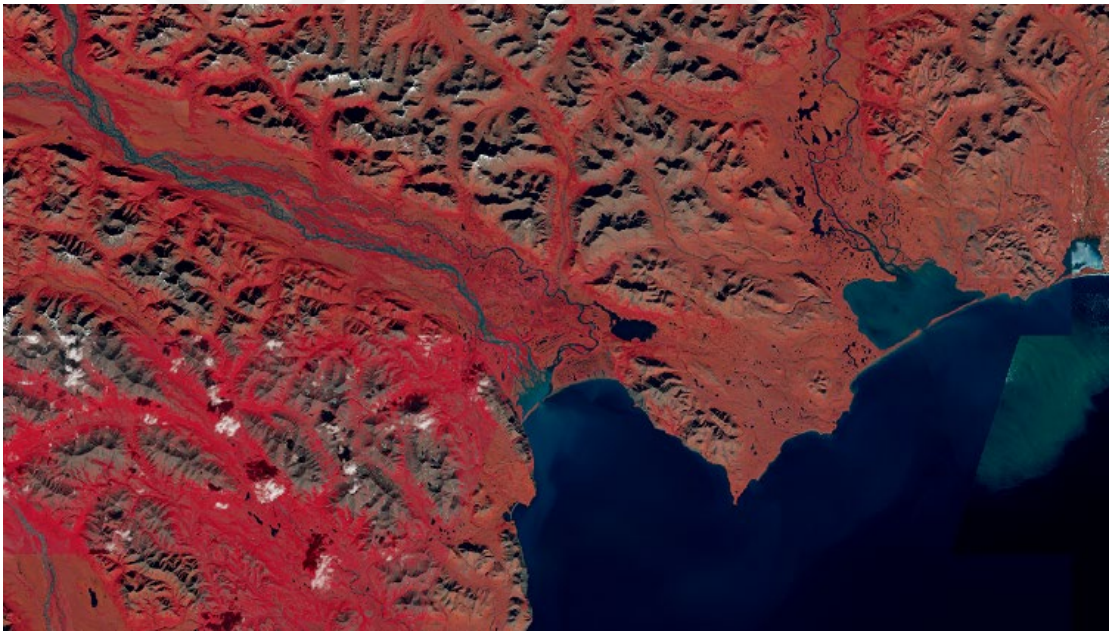
uzaklıktan geçtiklerinden dolayı kapsama alanları diğer uydulara nazaran daha azdır. Ayrıca bu uyduların yörüngelerinde kalabilmesi için sık sık konumlandırılması gerektiğinden enerji ihtiyacı daha fazla olmakta bu nedenle ömürleri genellikle 4-7 yıl arasında olmaktadır. Orta yükseklikte yörüngeye sahip uydular tanımı ise yaklaşık 10.000 km yükseklikte bulunan uydular için kullanılmaktadır. Yörüngesel periyotları yaklaşık 2-24 saat olan bu uydular alçak yörüngeli uydulara göre daha az sayıda uydu ile daha geniş alanları kapsayabilmektedir. Bu uydular diğer uydu sistemlerine göre daha karmaşık ve birbirlerinin kapsama alanı ile örtüşecek bir düzen içinde yerleşmektedirler. Bu uydular genellikle kablosuz iletişim için kullanılmaktadır. Jeosabit uydular ise yer yüzünden 36.000 km yükseklikte yer alan ve Dünya'nın dönme hızı ile eşit bir hızda yörüngede seyreden uydulara verilen isimdir. Bu uydular yer yüzünde belirli bir noktaya devamlı olarak aynı açıdan ve 24 saat süre ile bakması gereken durumlarda kullanılmaktadır. Meteorolojik ve iletişim uyduları ise bu gruba örnek olarak verilmektedir.

Uzaktan algılama amaçlı kullanılan uydular ise alçak yörüngeli uydular kategorisinde yer almakta olup, özellikle optik görüntü elde eden uyduların konumsal çözünürlüğünün yüksek olması istenildiğinden mümkün olduğunca yeryüzüne yakın bir konumdaki yörüngeye sahip olması istenmektedir. Günümüzde optik ve mikrodalga dalga boylarına veri toplayan LANDSAT, MODIS, SENTINEL, SPOT, IKONOS, TURKSAT, QUICKBIRD vb. gibi uydular, sahip oldukları algılayıcıların optimum veri algılama seçeneklerine göre belirli yüksekliklere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

3.7.1. LANDSAT

LANDSAT programı, ABD yapımı bir uydu sistemi olup, birtakım uydulardan oluşan bir serinin genel adıdır. NASA VE USGS ortak programı olarak ortaya çıkan LANDSAT, Dünya'nın uydu görüntülerini farklı sensörler yardımıyla elde etmek için oluşturulan en uzun süreli uydu sistemidir. İlk olarak 23 Temmuz 1972'de Earth Resources Technology Satellite adıyla başlatılan bu uydu sistemi, 1975'te LANDSAT 1 olarak isimlendirilmiştir. 1975'te başlayan bu uydu sistemi, en son 2021 yılında fırlatılan LANDSAT 9 uydusu ile devam etmektedir (Short, 1982).

ABD'de ve Dünya genelinde yer alan yer istasyonlarında elde edilen ve işlenen görüntüler arşivlenerek askeri ve sivil amaçlara yönelik, tarım, ormancılık, su kaynakları, arazi kullanım değişiklikleri, iklim değişiklikleri vb, gibi konularda en çok kullanılan veri setlerini oluşturmaktadır. Bu görüntüler, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından kullanıcılara sunulmaktadır. Her bir LANDSAT uydu serisi, farklı zamanda oluşturulduğundan, zamanın teknolojik gelişmelerine paralel olarak farklı spektrum aralıklarında kayıt yapabilen sensörler ile donatılmışlardır. Bu yüzden her bir uydu sistemi ile elde edilen görüntüler farklı konumsal çözünürlüklere sahip olmaktadır. Zamansal çözünürlük her uydu sisteminde aynı olmasına karşın (16 gün), konumsal çözünürlükleri her bantta farklılık göstermektedir. Her LANDSAT görüntüsü yaklaşık 115 mil uzunluğunda ve 115 mil genişliğindedir veya 185 kilometre uzunluğunda ve 185 kilometre genişliğindedir (URL 21). Şekil 3.15'te LANDSAT uydu görüntüsü örneği verilmiştir.



Şekil 3.15. LANDSAT uydu görüntüsü

LANDSAT 1-5 uydu serisi Multi Spektral Scanner (MSS) sensörüne sahip olmasına karşın sonraki LANDSAT versiyonları termal, kızılötesi, yakın kızılötesi ve ısıl termal bölgelerde kayıt yapabilen sensörler barındırmaktadır. Farklı amaçlar için farklı dalga boylarında kayıt yapan bu sensörlerin özellikleri, kayıt yaptıkları dalga boyları ve konumsal çözünürlükleri Çizelge 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. LANDSAT 8 ve LANDSAT 9 Operational Land Imager (OLI) bantları

Bantlar	Bant Niteliği	Dalga boyu	Çözünürlük
Bant 1	kıyı aerosolü	0,43-0,45	30
Bant 2	Mavi	0,45-0,51	30
Bant 3	Yeşil	0,53-0,59	30
Bant 4	Kırmızı	0,64-0,67	30
Bant 5	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,85-0,88	30
Bant 6	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 1	1,57-1,65	30
Bant 7	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 2	2,11-2,29	30
Bant 8	Pankromatik	0,50-0,68	15
Bant 9	Cirrus	1,36-1,38	30
Bant 10	Termal Kızılötesi (TIRS) 1	10,6-11,19	100 (resampled to 30)*
Bant 11	Termal Kızılötesi (TIRS) 2	11,50-12,51	100 (resampled to 30)*

Çizelge 3.9. LANDSAT 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) bantları

Bantlar	Bant Niteliği	Dalga boyu	Çözünürlük
Bant 1	Mavi	0,45-0,52	30
Bant 2	Yeşil	0,52-0,60	30
Bant 3	Kırmızı	0,63-0,69	30
Bant 4	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,77-0,90	30
Bant 5	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 1	1,55-1,75	30
Bant 6	Termal	10,40-12,50	60 (resampled to 30)*
Bant 7	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 2	2,09-2,35	30
Bant 8	Pankromatik	0,52-0,90	15

Çizelge 3.10. LANDSAT 4-5 Thematic Mapper (TM) bantları

Bantlar	Bant Niteliği	Dalga boyu	Çözünürlük
Bant 1	Mavi	0,45-0,52	30
Bant 2	Yeşil	0,52-0,60	30
Bant 3	Kırmızı	0,63-0,69	30
Bant 4	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,76-0,90	30
Bant 5	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 1	1,55-1,75	30
Bant 6	Termal	10,40-12,50	120 (resampled to 30)*
Bant 7	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 2	2,08-2,35	30

Çizelge 3.11. LANDSAT 1-5 Multispectral Scanner (MSS) bantları

	LANDSAT 1-3		LANDSAT 4-5	Dalga boyu	Çözünürlük
Bant 4	Yeşil	**Bant 1**	Yeşil	0,5-0,6	60
Bant 5	Kırmızı	**Bant 2**	Kırmızı	0,6-0,7	60
Bant 6	Yakın Kızılötesi (NIR)	**Bant 3**	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,7-0,8	60
Bant 7	Yakın Kızılötesi (NIR)	**Bant 4**	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,8-1,1	60

3.7.2. SENTINEL

SENTINEL uydu sistemi, 2A ve 2B uydularında oluşmakta olup Copernicus Programme oluşumu tarafından yönetilmektedir. SENTINEL-2, Dünya gözlem misyonudur ve kara ve kıyı sularda yüksek konumsal çözünürlüklü optik görüntüler elde etmektedir (10 - 60 metre). Misyonun SENTINEL-2A ve SENTINEL-2B uyduları, 2024 yılında yörüngeye SENTINEL-2C uydusu dahil olmuştur. Yüksek zamansal çözünürlüğü ve yüksek misyon kullanılabilirliği sağlamak için, iki adet aynı SENTINEL-2 uydusu (SENTINEL-2A ve SENTINEL-2B) birlikte çalışmaktadır. Uydular, aynı yörüngede birbirlerinden 180 derece farklı olarak yerleştirilmiştir. Bu düzenleme, 10 günlük bir ziyaret döngüsünün 5 güne indirilmesini sağlamaktadır. 290 km genişliğindeki kapsama alanı, VNIR ve SWIR tarafından oluşturulur. Her biri iki sıra halinde düzenlenmiş olan 12 detektörden oluşmaktadır (Corradino ve ark., 2019; Maisongrande ve ark., 2019).

Uydular, güneş senkronu yörüngede yer almakta olup 786 km (488 mil) yükseklikte bulunmaktadır. Bulut örtüsünü minimumda tutmak ve uygun Güneş aydınlatmasını sağlamak için bu yükseklik seçilmiştir. LANDSAT yerel zamanına yakın olup, SPOT'un zamanı ile de uyuşur, bu da SENTINEL-2 verilerinin tarihsel görüntülerle uzun vadeli zaman serileri oluşturmak için kullanılabilmesini sağlamaktadır (URL 22). Şekil 3.16'da örnek bir SENTINEL 2A uydu görüntüsü verilmektedir.

Şekil 3.16. SENTINEL uydu görüntüsü (URL 12)

Spektral çözünürlük, bir enstrümanın elektromanyetik spektrumdaki özellikleri ayırt etme yeteneğinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. SENTINEL-2'nin 13 spektral bandı, Görünür (VNIR) ve Yakın Kızılötesi (NIR) ile Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) arasında yer almaktadır. Görünür bölgede yer alana 4 adet band, klasik RGB bantları (Mavi (~493nm), Yeşil (560nm) ve Kırmızı (~665nm)) ve bir Yakın Kızılötesi (~833nm) bandından oluşmaktadır. VNIR bitki kırmızı kenarı spektral bölgesinde 4 dar band (~704nm, ~740nm, ~783nm ve ~865nm) ve kar/buz/bulut tespiti veya bitki nem stresi değerlendirmesi için 2 geniş SWIR bandı (~1.610nm ve ~2.190nm)'nı içermektedir. Genellikle bulut taraması ve atmosferik düzeltme için (~443nm aerosoller ve ~945nm su buharı) ve cirrus tespiti için (~1.374nm) bantları kullanılmaktadır. SENTINEL 2A bantları, Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. SENTINEL 2A bantları

Bant	Çözünürlük	Dalga boyu	Tanımlama
B1	60 m	443 nm	Ultra Mavi (Kıyı ve Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Mavi
B3	10 m	560 nm	Yeşil
B4	10 m	665 nm	Kırmızı
B5	20 m	705 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Görünür ve Yakın Kızılötesi (VNIR)
B9	60 m	940 nm	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR)
B10	60 m	1.375 nm	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR)
B11	20 m	1.610 nm	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR)
B12	20 m	2.190 nm	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR)

3.7.3. MODIS (The moderate resolution imaging spectroradiometer)

MODIS, NASA'nın Terra ve Aqua uydularında bulunan ve Dünya'yı uzaktan algılama yoluyla gözlemlemek için kullanılan bir sensördür. MODIS, geniş bir spektral aralıkta (0,4 ile 14,4 mikrometre arası) elektromanyetik spektrumu gözlemleyebilmektedir. Bu spektral aralık, atmosfer, yüzey ve bulutların farklı özelliklerini incelemek için kullanılır. MODIS'in görüntü çözünürlüğü, 250 metreden (bant 1) 1 kilometreye kadar değişebilmektedir. Bu çözünürlük, yeryüzünün detaylarını gözlemlemek ve çeşitli olayları izlemek için yeterli detay sağlamaktadır. MODIS, günlük olarak Dünya'nın tamamını gözlemleyebilme yeteneğine sahip olup, günün farklı saatlerinde tekrarlanan gözlemler yapar. Bu özellik, mevsimsel değişiklikleri, hava durumu olaylarını, iklim değişikliklerini ve diğer çevresel faktörleri takip etmek için önemlidir. MODIS verileri, atmosferik bileşenlerin (bulutlar, aerosoller, su buharı), yeryüzü örtüsü değişikliklerinin (bitki örtüsü, su kaynakları), deniz ve karaların sıcaklık ve renk değişikliklerinin izlenmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca doğal afetlerin izlenmesi ve zararlı etkilerinin değerlendirilmesi gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır. MODIS, toplam 36 farklı bilimsel veri ürünü üretir. Bu veri ürünleri, atmosferik, yeryüzü ve okyanus bileşenlerinin uzaktan algılama analizleri için kullanılmaktadır. MODIS, termal ve optik sensörlerden oluşan bir dizi ile Dünya'yı gece ve gündüz, bulutlu ve açık hava koşullarında gözlemleyebilmektedir. Bu özellik, çeşitli meteorolojik, iklimsel ve çevresel bilimlerde geniş bir uygulama alanı sağlamaktadır. MODIS, Dünya'nın çeşitli olayları uzaktan algılama ile gözlemleme kapasitesi

sayesinde bilim insanlarına, çevre uzmanlarına ve politika yapıcılara kapsamlı bir veri sağlamaktadır. Bu veriler, küresel ölçekte iklim değişikliği, doğal afetlerin izlenmesi, tarım ve su kaynakları yönetimi gibi alanlarda önemli bir rol oynamaktadır (Hall ve ark., 2002; Klein ve ark., 2012; Gessner ve ark., 2015). MODIS bantları, Çizelge 3.13 ve 3.14'te listelenmiştir.

Çizelge 3.13. MODIS uydusu bant ve özellikleri-1

Esas kullanım alanı	Bant	Dalga boyu	Spektral Radyans	Gerekli SNR
Bulut- Aerosol Sınırları	1	620 - 670	21,8	128
	2	841 - 876	24,7	201
Bulut- Aerosol Özellikleri	3	459 - 479	35,3	243
	4	545 - 565	29	228
	5	1.230 – 1.250	5,4	74
	6	1.628 – 1.652	7,3	275
	7	2.105 – 2.155	1	110
Okyanus Renk, Fitoplankton, Biyokimyasal özellikler	8	405 - 420	44,9	880
	9	438 - 448	41,9	838
	10	483 - 493	32,1	802
	11	526 - 536	27,9	754
	12	546 - 556	21	750
	13	662 - 672	9,5	910
	14	673 - 683	8,7	1.087
	15	743 - 753	10,2	586
	16	862 - 877	6,2	516
Atmosfer, Su buharı	17	890 - 920	10	167
	18	931 - 941	3,6	57
	19	915 - 965	15	250

Çizelge 3.14. MODIS uydusu bant ve özellikleri-2

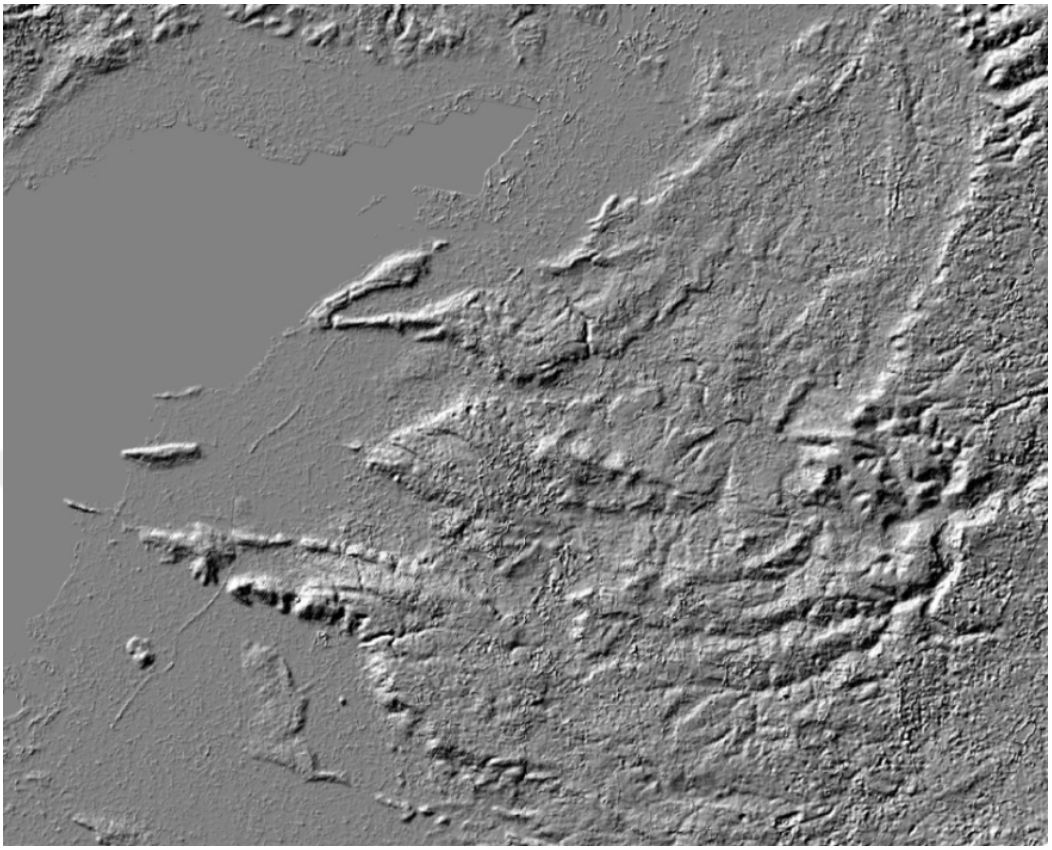
Esas kullanım alanı	Band	Dalga boyu	Spektral Radyans	Gerekli SNR
Yüzey- Bulut Sıcaklığı	20	3,660 - 3,840	0,45	0,05
	21	3,929 - 3,989	2,38	0,2
	22	3,929 - 3,989	0,67	0,07
	23	4,020 - 4,080	0,79	0,07
Atmosferik Sıcaklık	24	4,433 - 4,498	0,17	0,25
	25	4,482 - 4,549	0,59	0,25
Bulu, Su buharı	26	1,360 - 1,390	6	150
	27	6,535 - 6,895	1,16	0,25
	28	7,175 - 7,475	2,18	0,25
Bulut Özellikleri	29	8,400 - 8,700	9,58	0,05
Ozon	30	9,580 - 9,880	3,69	0,25
Yüzey- Bulut Sıcaklığı	31	10,780 - 11,280	9,55	0,05
	32	11,770 - 12,270	8,94	0,05
Bulut üst yüksekliği	33	13,185 - 13,485	4,52	0,25
	34	13,485 - 13,785	3,76	0,25
	35	13,785 - 14,085	3,11	0,25
	36	14,085 - 14,385	2,08	0,35

3.7.4 ASTER GDEM

Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Küresel Sayısal Yükselti Modeli (GDEM), Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (METI) ile Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından ortaklaşa geliştirilmiştir. ASTER GDEM'in geçerliliğini ve özelliklerini doğrulamak için NASA ve METI, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) ve Japonya Yeryüzü Uzaktan Algılama Veri Analiz Merkezi (ERSDAC) ile işbirliği yaparak ilk çalışmalarını tamamlamıştır. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Coğrafi-İstihbarat Ajansı (NGA) ve dünyanın çeşitli diğer ortaklarından destek almışlardır.

ASTER enstrümanı, METI tarafından inşa edilmiş ve Aralık 1999'da NASA'nın Terra uzay aracına yüklenerek fırlatılmıştır. ASTER, yakın kızılötesi spektral bandını kullanarak ve nadir-görünümlü ve geriye doğru görünümlü teleskoplarıyla birlikte, 0,6 taban/yükseklik oranı ile stereo görüntü verisi elde etmek için along-track stereoskopik yeteneğe sahiptir. Yatay düzlemde uzamsal çözünürlük 15 m'dir. Bir nadir-görünümlü ASTER VNIR sahnesi, yaklaşık olarak 60 km x 60 km alanı kapsayan 4.200 x 4.200

çözünürlükte yaklaşık 16 milyon pikselden oluşmaktadır (URL 13). Şekil 3.17'de örnek bir ASTER GDEM verisi gösterilmektedir.



Şekil 3.17. ASTER GDEM yükseklik verisi (URL 13)

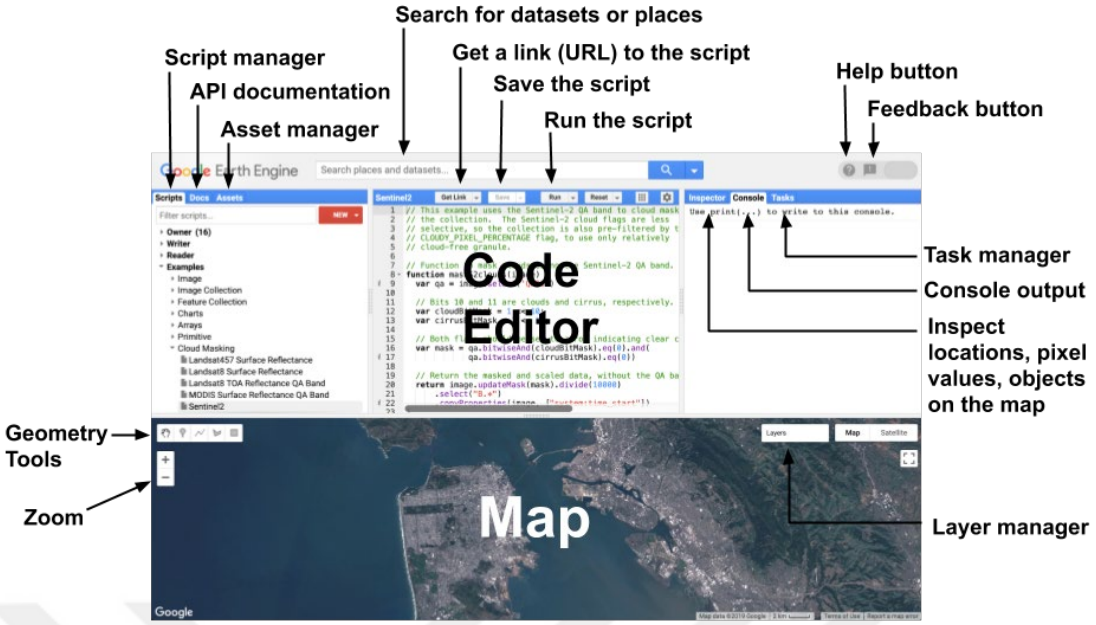
ASTER GDEM'i üretmek için kullanılan metodoloji, ASTER arşivindeki 1.5 milyon sahnenin otomatik işlenmesini içerir Tamamen otomatik bir yaklaşım kullanılarak ASTER GDEM beta sürümünün üretimi yaklaşık bir yıl sürmüştür.

ASTER GDEM, 83° K ve 83° G arasındaki kara yüzeylerini kapsar ve 22.600 adet 1° x 1° kareye bölünmüştür. En az %0,01 kara alanı içeren kareler dahil edilmiştir. ASTER GDEM, coğrafi lat/long koordinatlarına ve WGS84/EGM96 jeoidine referanslanmış 1 yay-saniye (30 m) irtifa ızgarasıyla GeoTIFF formatında sunulur. Bu küresel ürün için ön üretim tahmini doğruluklar, dikey veri için %95 güven düzeyinde 20 metre, yatay veri için %95 güven düzeyinde 30 metredir. İlk doğrulama çalışmaları, ASTER GDEM'in genellikle ön üretim doğruluk tahminlerini karşıladığını ancak sonuçların değişken olduğunu ve GDEM doğruluğunun bazı bölgelerde ön üretim tahminlerini karşılamadığı bölgelerin de bulunduğunu göstermiştir (URL 13).

3.8. Google Earth Engine Platformu

Google Earth Engine (GEE), büyük miktarlardaki uzaktan algılama verilerini analiz etme ve işleme yeteneği sunan bulut tabanlı bir platformdur (Amani ve ark., 2020). Gelişmiş hesaplama özellikleri ile, Google Earth Engine, geleneksel yazılımlar ve hesaplama yöntemleriyle ele alınması zor olan geniş veri setlerinin analizini kolaylaştırır. Bu platformun önemli bir uygulaması, uzaktan algılama görüntülerinin sınıflandırılmasıdır. Sınıflandırma, bir görüntüdeki pikselleri veya nesneleri spektral özelliklerine göre farklı sınıflara ayırma işlemidir. Google Earth Engine, denetimli ve denetimsiz sınıflandırma yöntemlerini içeren çeşitli sınıflandırma algoritmaları sunmakta ve uzaktan algılanan verilerine uygulayabilmektedir. Denetimli sınıflandırma, sınıfların bilindiği ve örneklemlerin toplandığı verilerin kullanarak algoritmanın eğitilmesini içermektedir. Algoritma, her sınıfla ilişkilendirilen spektral desenleri öğrenir ve ardından bu bilgiyi görüntünün geri kalan piksellerini sınıflandırmak için kullanmaktadır (Gardner, 2010; Gorelick, 2013; Dunbar, 2014; Google, 2018; 2021)

Uzaktan algılama bağlamında GEE, sınıflandırma süreçlerini etkili ve kullanıcı dostu bir platformda gerçekleştirmek için bir araç sunmaktadır. Uydu görüntülerinin geniş koleksiyonu ve veri analizi için güçlü araçlarıyla Google Earth Engine, kullanıcıların uzaktan algılanan veriyi kolayca ön işleyebilmelerini, ilgili özellikleri çıkarmalarını ve sınıflandırma algoritmalarını kullanarak doğru arazi örtüsü haritaları oluşturmalarını sağlamaktadır. GEE'nin kapasitelerinden yararlanarak, uzaktan algılama bilim insanları ve uygulamacılar, büyük ölçekte arazi örtüsünü etkin ve verimli bir şekilde sınıflandırabilmektedir. GEE ara yüzü, Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Google Earth Engine platformu ara yüzü (URL 14)

Google Earth Engine, Google'ın altyapısını kullanarak mekânsal analizler yapmaya imkan tanıyan bir hesaplama platformudur. Platformla etkileşim için birkaç farklı yol bulunmaktadır. Code Editor, komut dosyaları yazıp çalıştırılabilen web tabanlı bir IDE' dir. Explorer ise veri kataloğunu keşfetmek ve basit analizler yapmak için hafif bir web uygulamasıdır. İstemci kütüphaneleri ise web API etrafında Python ve JavaScript sarmalları sunar. Earth Engine, çevreyi izlemek için son derece güçlü bir araçtır. Coğrafyacılar, bilim insanları ve araştırmacılar için tasarlanmıştır ve 1970'lerden günümüze uzanan uydu görüntüleme dahil olmak üzere 600'den fazla uzaktan algılama veri setine hızlı erişim ve analiz imkanı sağlamaktadır. GEE platformu ile yapılabilecek analizler ana başlıklar halinde aşağıda verilmiştir (Google, 2018; 2021)

- Termal uydu sensörleri yüzey sıcaklığı ve yayıcı güç bilgileri sağlayabilmektedir. Earth Engine veri kataloğu, MODIS, ASTER ve AVHRR gibi birkaç uzay aracı sensöründen elde edilen hem kara hem deniz yüzeyi sıcaklık ürünlerini, ek olarak ham LANDSAT termal verilerini sunmaktadır.

- İklim modelleri uzun vadeli iklim tahminleri ve yüzey değişkenlerinin tarihsel interpolasyonlarını üretmektedir. Earth Engine kataloğu, NCEP/NCAR gibi tarihsel yeniden analiz verilerini, NLDAS-2 ve GridMET

gibi ızgara meteorolojik veri setlerini ve Idaho Üniversitesi MACAv2-METDATA ve NASA Earth Exchange'in Downscaled Climate Projections gibi iklim modeli çıktılarını içermektedir.

- Atmosfer verilerini diğer sensörlerden gelen görüntü verilerini düzeltmek için veya kendi başına incelemek için kullanabilmektedir. Earth Engine kataloğu, NASA'nın TOMS ve OMI enstrümanlarından ozon verileri ve MODIS Aylık Izgara Atmosferik Ürün gibi atmosfer veri setlerini barındırmaktadır.

- Hava durumu veri setleri kısa süreli ölçümler ve tahmin edilen koşulları içerir, bunlar yağış, sıcaklık, nem, rüzgar ve diğer değişkenlerdir. Earth Engine, NOAA'nın Global Forecast System (GFS) ve NCEP Climate Forecast System (CFSv2) gibi tahmin verilerini ve Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) gibi kaynaklardan sensör verilerini içermektedir.

- LANDSAT, ABDGS ve NASA'nın ortak programı, 1972'den bugüne dünya yüzeyini 30 metre çözünürlükte her iki haftada bir görüntüleyen LANDSAT uydu verilerini barındırmaktadır.

- Copernicus Programı, Avrupa Komisyonu'nun Avrupa Uzay Ajansı (ESA) ile işbirliği içinde yürüttüğü büyük bir girişimdir. SENTINEL-1A ve -1B'den tüm hava koşullarında radar görüntüleri, SENTINEL 2A ve 2B'den yüksek çözünürlüklü optik görüntüler ve SENTINEL 3'ten çevre ve iklim izleme için uygun deniz ve kara verilerine ulaşılabilmektedir.

- NASA'nın Terra ve Aqua uydularındaki MODIS sensörleri, 1999'dan beri her gün dünya görüntülerini almaktadır. Bu görüntüler günlük, 16 günlük BRDF düzeltilmiş yüzey yansıtma ve bitki örtüsü indeksleri gibi türetilmiş ürünleri içermektedir.

- Yüksek çözünürlüklü görüntüler, manzara ve kentsel ortamların daha ince detaylarını yakalar. ABD Ulusal Tarım Görüntüleme Programı (NAIP), ABD'nin bir metre çözünürlüğünde hava görüntü verilerini içermektedir.

- Sayısal Yükseklik Modelleri, Dünya yüzeyinin şeklini tanımlar. Earth Engine veri kataloğu, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) verileri gibi 30 metre çözünürlükte küresel sayısal yükseklik modeli, daha yüksek çözünürlüklü bölgesel sayısal yükseklik modelleri ve WWF'nin HydroSHEDS hidroloji veritabanı gibi türetilmiş ürünleri barındırmaktadır.

- Arazi kaplama haritaları, orman, çayır ve su gibi arazi kaplama sınıfları bakımından fiziksel manzarayı tanımlar. Earth Engine, Dynamic World gibi neredeyse gerçek zamanlı verilerden ESA World Cover gibi küresel ürünlere kadar geniş bir arazi kaplama veri setleri yelpazesini barındırmaktadır.

- Tarım arazisi verileri, küresel su tüketimi ve tarımsal üretimi anlamak için önemlidir. Earth Engine, USDA NASS Cropland Data Layers gibi bir dizi tarım arazisi veri ürünü ve Global Food Security-Support Analysis Data (GFSAD) gibi verilerden tarım arazisi genişliği, ürün dominansı ve sulama kaynakları içermektedir.

- Earth Engine'de gece görüntüleme sensörlerinden (DMSP-OLS) gelen gece görüntüleri gibi diğer uydu görüntü sensörlerinden elde edilen veriler de bulunmaktadır (URL 23).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Çalışma Alanı Seçimi

Çalışma alanı belirlenirken aşağıda sıralanan bazı özellikleri içermesi sonuç ürünlerin analizi bakımından faydalı olacaktır. Bunlar;

- Çalışma alanının büyüklüğü
- Yaz ve kış ayları için istenilen çözünürlükte uydu görüntülerinin bulunması
- Yükseklik farkları fazla olan bir bölgenin seçilmesi

4.1.1 Çalışma alanının büyüklüğü

ArcGIS programının ASR eklentisinde eğik güneş radyasyonu hesabı yapılırken kullanılan parametreler üzerine bazı araştırmalar yapılmıştır. Hesaplamalar piksel bazlı yapıldığından çalışma alanının büyüklüğü hesaplama süresini etkilemektedir. 10*10 metre piksel büyüklüğüne göre çalışma alanı olarak yaklaşık 1.000-2.000 km^2'lik bir bölge seçimi uygun olacağı tespit edilmiştir.

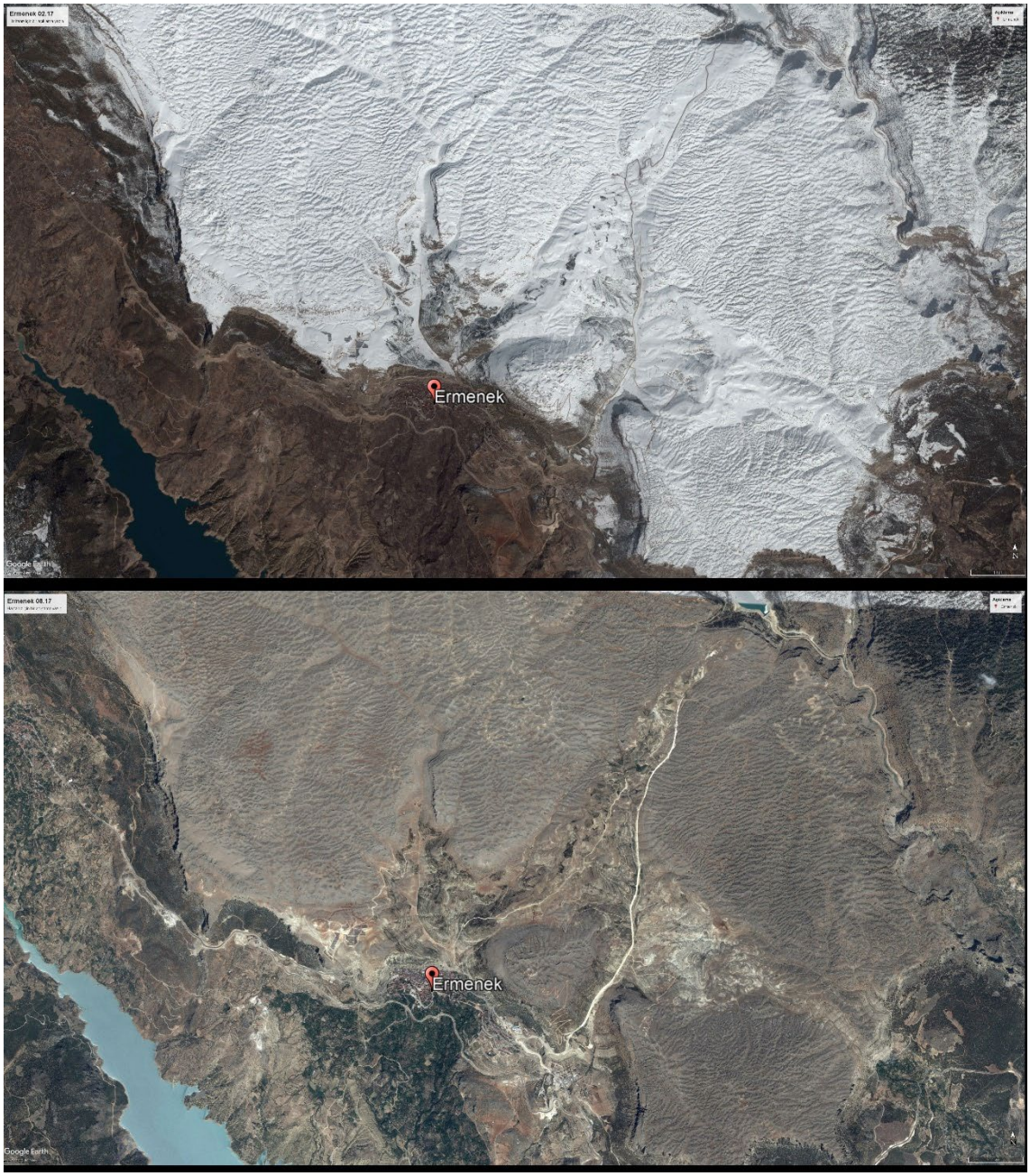
4.1.2. Yaz ve kış ayları için istenilen çözünürlükte uydu görüntülerinin bulunması

Uydu görüntüsü olarak ücretsiz birçok veri kaynağı bulunmaktadır. Birçok açık erişimli uydu görüntüsünde zamansal çözünürlük değerleri yüksek olmakla beraber, geometrik çözünürlüğü düşük olduğundan yansımaların hesabında kullanımı mümkün olmamaktadır. Bu nedenle yeterli çözünürlükte rasterların oluşturulmasında Google Earth görüntüleri kullanılmıştır.

Google Earth görüntüleri katmanlar halinde bulunmaktadır. Zamansal çözünürlükte veriler bulunsa da sunulan görüntülerin geometrik çözünürlükleri düşük olabilmektedir. Bu nedenle bölge seçiminde mevsimsel geçişlerin aynı çözünürlükte görüntülerinin bulunduğu bir bölgenin seçimi gereklidir. Şekil 4.1'de Ermenek bölgesinin yaz ve kış aylarındaki uydu görüntüleri verilmiştir.

Yaz ve kış aylarına ait görüntülerin tarihi belirlenirken yaz dönemi için genellikle arazi sınıfları arasındaki farkın en net belirgin olacağı Temmuz ayı seçilmiş

olup, kış ayları için ise en önemli husus olan kar örtüsünün bulunduğu tarihlerin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bölgede kış ayı için en çok kar örtüsünün bulunduğu ay Şubat ayı olarak belirlenmiş ve aynı zamanda Bulutsuzluk oranının da sağlanması gerektiğinden en bulutsuz ve kar örtüsünün en fazla olduğu ay Şubat ayı olarak belirlenmiştir. Kış dönemi için bu koşulların sağlandığı yıl 2022 olduğundan yaz dönemi için de 2022 yılına ait görüntüler kullanılarak aynı yıl içinde albedo değişiminin incelenmesi sağlanmıştır.

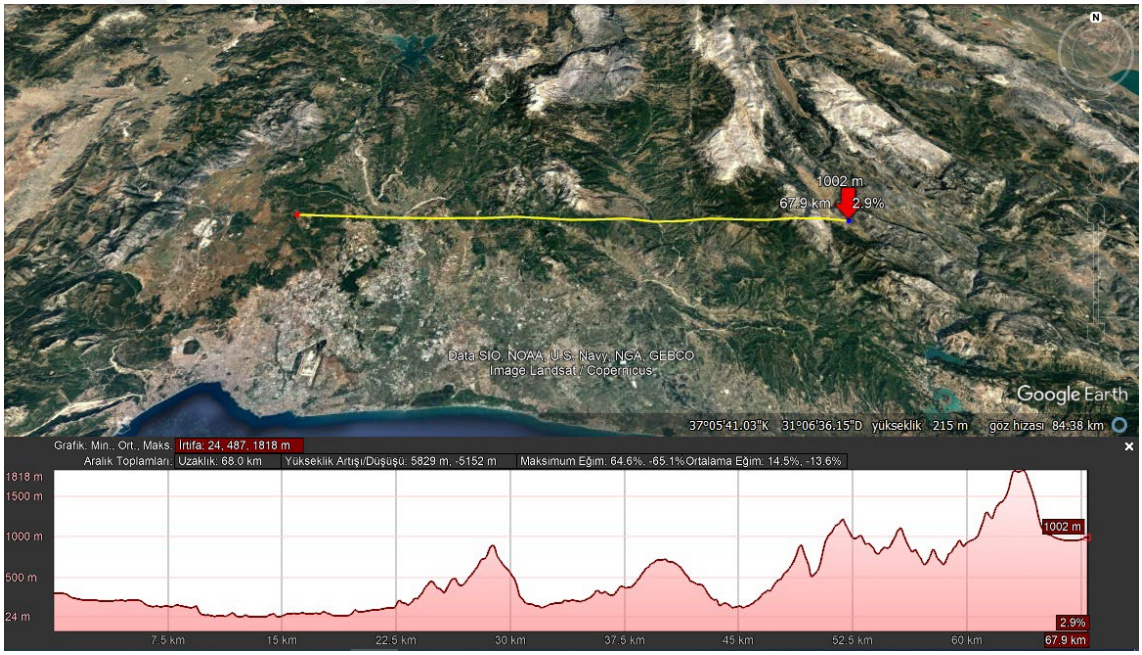


Şekil 4.1. 2017 Şubat ve Temmuz ayları Ermenek bölgesi Google Earth görüntüsü

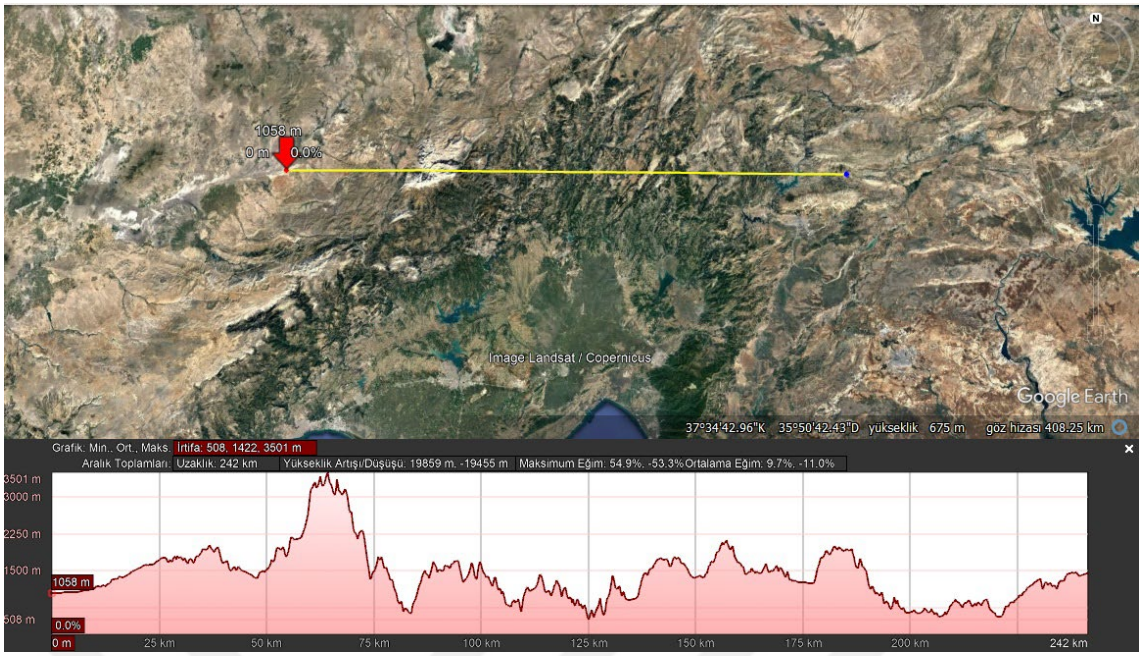
4.1.3. Yükseklik farkları fazla olan bir bölgenin seçilmesi

Yapılacak olan çalışmada eğik radyasyon değerleri ile yatay radyasyon değerleri arasındaki farkı oluşturan en büyük etkenlerden birisi de gölgelenme etkisidir. Güneşin konumuna göre arazi eğiminden dolayı günün ilerleyen sürelerinde gölgelenmeler oluşarak güneş ışınlarını engellemektedir.

Çalışma alanı seçilirken eğimin düzenli düşüş sağladığı bölgeler yerine ani iniş-çıkışların bulunduğu vadi, tepe gibi bölgenin seçilmesi sonuç ürünün anlaşılmasında daha etkili olacaktır. Ayrıca yükseklik farklarının doğu batı yönünde olması gölgelenme etkilerini arttıracaktır. Şekil 4.2 ve 4.3'de yükseklik farklarını gösteren boy kesitler verilmiştir.



Şekil 4.2. Yükseklik profili düzenli olan bölge



Şekil 4.3. Yükseklik profili düzensiz olan bölge

Yapılan çalışmalar sonucunda mevsim geçişleri ve yükseklik profili düzensizliği nedeniyle, Şekil 4.4'de belirtilen Karaman ilinin güneybatı tarafında bulunan yaklaşık 1.600 km^2'lik alan seçilmiştir.

Şekil 4.4. Çalışma alanı

4.2. Google Earth Engine Platformunun Hazırlanması

GEE platformu üzerinden farklı çözünürlükte görüntülere ve sayısal yükseklik modellerine ulaşılması mümkündür. Gerekli kodların yazımı sonrası bu görüntüler üzerinden sınıflandırma işlemi de yapılabilmektedir.

Platform kütüphanesinde bulunan uydu görüntülerinden elde edebileceğimiz en yüksek çözünürlüklü görüntü SENTINEL uydu görüntüleridir. Bu görüntüler RGB bandında 10 metre çözünürlük sunmaktadır. Ayrıca zamansal periyodu 5 gün olmasından dolayı da avantaj sağlamaktadır. GEE içerisinde uyumlaştırılmış SENTINEL görüntüleri kullanılmıştır.

4.3. Çalışma Alanı Sınırlarının Tanımlanması

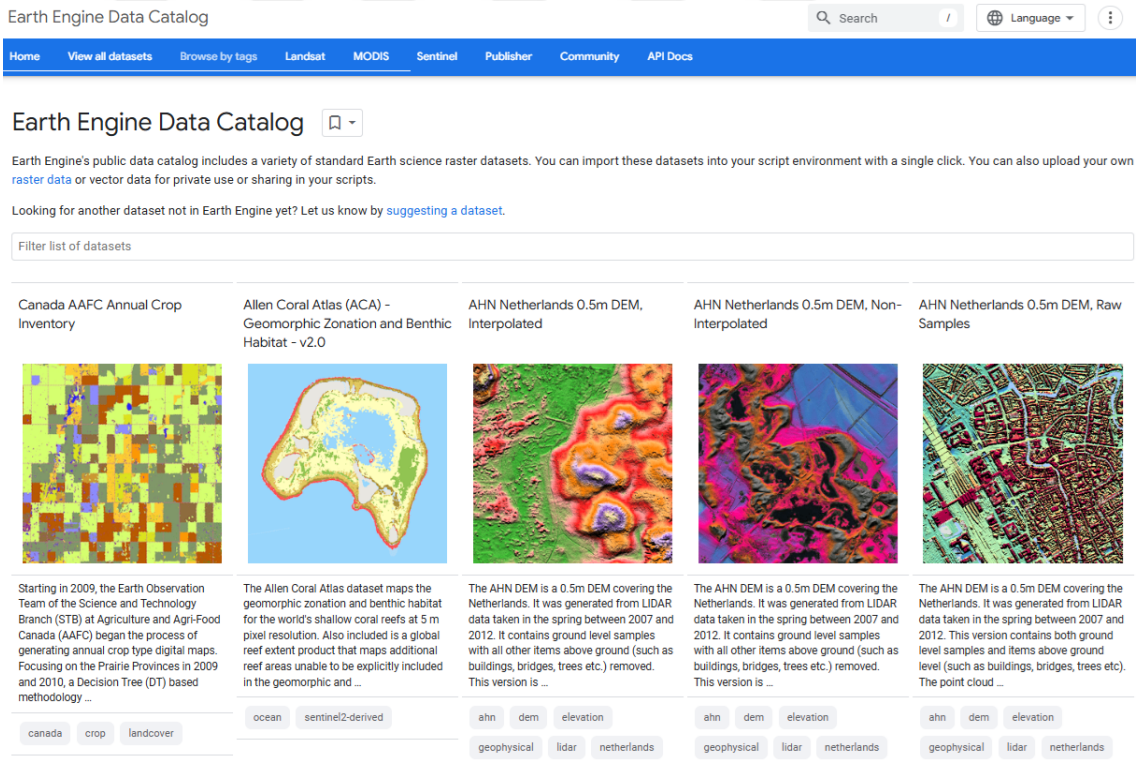
GEE platformu, tüm analizler için başlangıç olarak çalışma bölgesinin tanımlanmasına ihtiyaç duymaktadır. Çalışma alanı tanımı en basit haliyle "Bounding Box" olarak adlandırılan ve alanın 4 köşesinin koordinatları ile temsil edilen bir dikdörtgen çerçeve ile tanımlanmaktadır. Her ne kadar çalışma alanı düz bir alan olmasa da, Kuzey, Güney, Doğu ve Batı uçlardaki sınırların X ve Y eksenlerine olan izdüşümleri bu çerçeveyi oluşturmaktadır. Bu noktada temel amaç, çalışma alanını temsil eden dikdörtgen çerçevenin kullanılarak bölgeye ait görüntülerin filtrelenerek kullanıcıya sunulmasıdır. Temel prensip olarak basit bir "overlay" analizi ile belirlenen koordinatlar "Point in Polygon" çakışma analizi ile kullanıcıya eşleşen uydu görüntüleri vermektedir. Çizelge 4.1'de GEE platformunda tanımlanan çalışma alanı sınırları gösterilmektedir. Hassas konumlandırma için GEE platformu, Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi coğrafi koordinatların virgülden sonra 14 hanesine kadar tanımlanmasına izin vermektedir.

Çizelge 4.1. GEE çalışma sınırı tanımları

Nokta Konumu	Enlem	Boylam
Sol üst köşe	32,80083047	37,19928723
Sol alt Köşe	32,80083047	36,80125149
Sağ üst Köşe	33,20084507	36,80125149
Sağ al Köşe	33,20084507	37,19928723

4.4. Kullanılan Görüntülerin Filtrelenmesi

Çalışma alanının tanımlanmasının ardından GEE platformunda kullanılacak olan verilerin filtrelenmesi ve çeşitli parametrelere göre seçilmesinin yapılması gerekmektedir. Uydu görüntüleri seçilirken GEE platformunda her veri setini tanımlayan katalog isimleri bulunmaktadır. Her analizin başlangıcında bu katalog isimleri platforma tanıtılması gerekmektedir. GEE platformu kullanıcılara katalogların hangi veri setini barındırdığını, konumsal, zamansal ve spektral çözünürlükler ile ilgili bilgileri ve hangi zaman aralıklarında veri setlerinin erişilebilir olduğunu sunduğu bir web sitesi bulunmaktadır. https://developers.google.com/earth-engine/datasets linki üzerinden erişilebilen web sitesinde her bir veri setinin kodu ve özelliklerine erişilebilmektedir. Şekil 4.5'de web sitesinin ara yüzü gösterilmiştir.



Şekil 4.5. GEE konumsal veri setleri kataloğu (URL 15)

Bu çalışmada SENTINEL görüntüleri kullanıldığı için "**Copernicus /S2_SR_Harmonized**" katalog ismi kullanılmıştır. Katalog tanımlanmasının ardından çalışma alanı tanımı **".filterbounds"** kodu ile tanımlanarak çalışma bölgesi kapsamında bulunan SENTINEL 2A verilerinin bulunması sağlanmıştır. Bu filtreleme yapılırken **".filterdate"** ve **".filtermetadata"** kodları ile eşleşen SENTINEL 2A görüntülerinin

istenilen tarihleri ve bulutluluk oranlarına göre de bir filtreleme yapılması amaçlanmıştır. Tarih filtresi ile yaz ve kış ayları için yağışsız günler seçilerek bulutluluk oranının minimum olduğu görüntülerin kullanılması amaçlanmıştır. Bulutluluk oranı ise % 10'dan daha az olarak tanımlanmıştır. Böylece her iki filtre ile çalışma bölgesinin SENTINEL görüntüleri istenilen parametrelere göre filtrelenmiştir. Çizelge 4.2 ve 4.3'de hazırlanan kodlar verilmektedir.

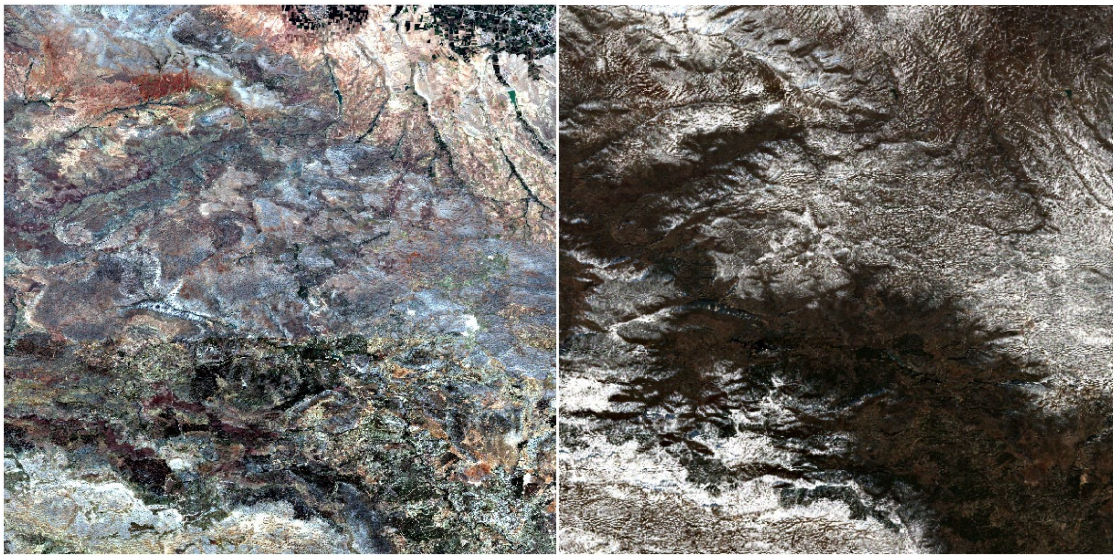
Çizelge 4.2. SENTINEL-2 Level-2A uyumlaştırılmış görüntülerini birleştirme ve kırpma işlemi

```
var s2Collection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
  .filterBounds(alan)
  .filterDate('2022-07-21','2022-07-24')
  .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'less_than', 1);
```

Çizelge 4.3. Görüntü detaylarının konsola yazdırılması

```
s2Collection.toList(s2Collection.size()).map(function(image) {
  return ee.Image(image).get('system:index');
}).getInfo().forEach(function(index) {
  print('Görüntü detayları:', ee.Image(s2Collection.filter(ee.Filter.eq('system:index', index)).first()));
});
var mosaicImage = s2Collection
  .sort('CLOUD_COVER')
  .mosaic()
  .clip(alan)
  .toFloat();
```

Çalışma alanına birden fazla SENTINEL görüntüsü girme ihtimali çok yüksek olduğundan, kodlara **".mosaic"** ve **".clip"** işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Farklı görüntülerin mozaik işlemi ile birleştirilmesi ve harmonize edilmesinin ardından çalışma bölgesine göre kesilerek tek bir raster veri olarak elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Mozaik işlemine tanımlama olarak **".sort"** tanımı ile bultululuk oranına göre görüntülerin sıralanması ve bulutsuz görüntülerin var ise bulutlu görüntülerin üzerine kullanılması belirtilmiştir. Mozaik işleminin ardından birleştirilen görüntüler çalışma alanına göre kesilmiştir. Yaz ve kış ayları için GEE platformunda elde edilen görüntüler Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Kış ayı için SENTINEL görüntüsü 23 Şubat tarihine ait iken yaz ayı için 22 Temmuz tarihinde elde edilen görüntüler kullanılmıştır.



Şekil 4.6. GEE platformunda elde edilen yaz ve kış SENTINEL uydu görüntüleri

4.5. Görüntülerden Albedo Değerlerinin Hesaplanması

GEE platformunda albedo değerlerinin hesaplanması için her bir band ayrı ayrı tanımlanması gerekmektedir. Böylece seçilen SENTINEL görüntülerindeki bantlar ayrıştırılarak işleme dahil edilebilmektedir. Birçok Uydu görüntüsünde olduğu gibi SENTINEL-2 görüntüleri için de dar banttan geniş bantta multispektral görüntüler kaydedebilmektedir. Yüzey albedosu dönüşüm formülü oluşturmak için genel hatlarıyla aşağıda verilen metodolojiyi takip ederek piksellerin albedosunun hesaplanabileceği tespit edilmiştir. Bu süreç genel olarak şu adımları içermektedir:

- **Uydu sensör verilerinin anlaşılması:** SENTINEL-2'nin sensör özellikleri, spektral bantları ve bu bantlardaki yansıma oranları anlaşılması.

- **Radyatif transfer simülasyonları:** Çeşitli radyatif transfer modelleri, SENTINEL-2 sensörlerinin spektral bantları için simülasyon yapmak üzere kullanılabilir. Bu simülasyonlar, farklı yüzey tipleri ve atmosferik koşullar altında yansıma oranlarını tahmin etmeye yardımcı olacaktır. Yüzeylerin radyasyonu soğurma, yansıtma ve dağıtma etkilerini hesaplamada önemli yer tutmaktadır.

- **Yüzey yansıma spektrumlarının toplanması:** SENTINEL-2'nin spektral bantlarına özgü yüzey yansıma spektrumları toplanmalıdır. Bu veri, farklı yüzey tipleri ve atmosferik koşulları yansıtmalıdır.

- **Dönüşüm formüllerinin geliştirilmesi**: Toplanan yüzey yansıma spektrumları ve radyatif transfer simülasyonlarından elde edilen veriler kullanılarak, dar banttan geniş bantta albedo dönüşüm formülleri geliştirilmelidir. Bu formüller, SENTINEL-2'nin dar bant verilerini geniş bant albedo değerlerine dönüştürmek için kullanılabilir.

- **Doğrulama ve karşılaştırma:** Geliştirilen formüllerin doğruluğunu ve güvenilirliğini test etmek için, yer ölçümleri veya diğer uydu verileriyle karşılaştırma yapılabilir.

Dönüşüm formüllerindeki bantların ağırlık katsayıları elde edilirken Vanino ve ark. (2018) yaptığı çalışma baz alınmıştır. Çalışma İtalya bölgesindeki tarımsal sulamanın optimize edilmesi üzerine olup, SENTINEL-2 uydu yansıma katsayılarını yersel ölçmelerle destekleyerek Çizelge 4.4.'deki bant ağırlık değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.4. SENTINEL-2 Uydu görüntü özellikleri ve ağırlık katsayıları

Bant Numarası	Bant Açıklama	Merkezi Dalga Boyu λ (µm)	Spektral Genişlik Δλ (µm)	Esun (W/m2)	ωbi (-)
B1	Kıyı aerosolü	0,443	0,02	1.893	
B2	Mavi	0,49	0,065	1.927	0,1324
B3	Yeşil	0,56	0,035	1.846	0,1269
B4	Kırmızı	0,665	0,03	1.528	0,1051
B5	Kızılötesi 1	0,705	0,015	1.413	0,0971
B6	Kızılötesi 2	0,74	0,015	1.294	0,0971
B7	Kızılötesi 3	0,783	0,02	1.190	0,089
B8	Yakın Kızılötesi (NIR)	0,842	0,115	1.050	0,0818
B8a	Kızılötesi 4	0,865	0,02	970	0,0722
B9	Su Buharı	0,945	0,02	831	
B10	-	1,375	0,03	360	
B11	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 1	1,61	0,09	242	0,0167
B12	Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 2	2,19	0,18	3	0,0002

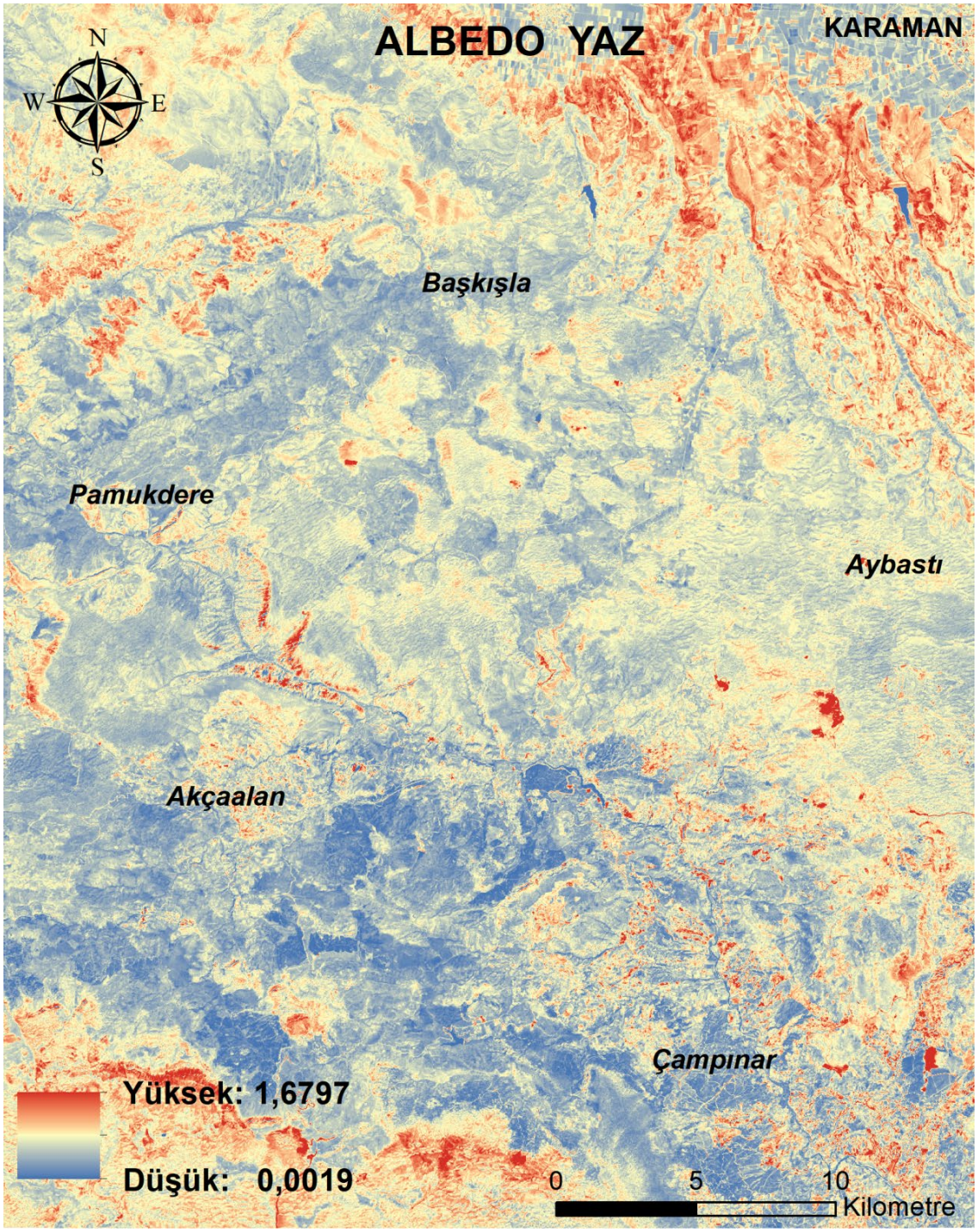
GEE platformu daha sonra "var albedo" kod bloğunda belirtildiği üzere füzyon yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir. Ölçek faktörünü uygulayabilmek için ise ağırlık katsayısı ile çarpılan her bant 10.000 sayısına bölünerek albedo değerlerinin 1 ve 0

değeri alabilmesi için ölçeklendirilmiştir. Çizelge 4.5'te albedo hesaplanması için uygulanan kodlar gösterilmiştir. Bant ağırlıkları toplamı bir olacak şekilde çarpan uygunlanmıştır.

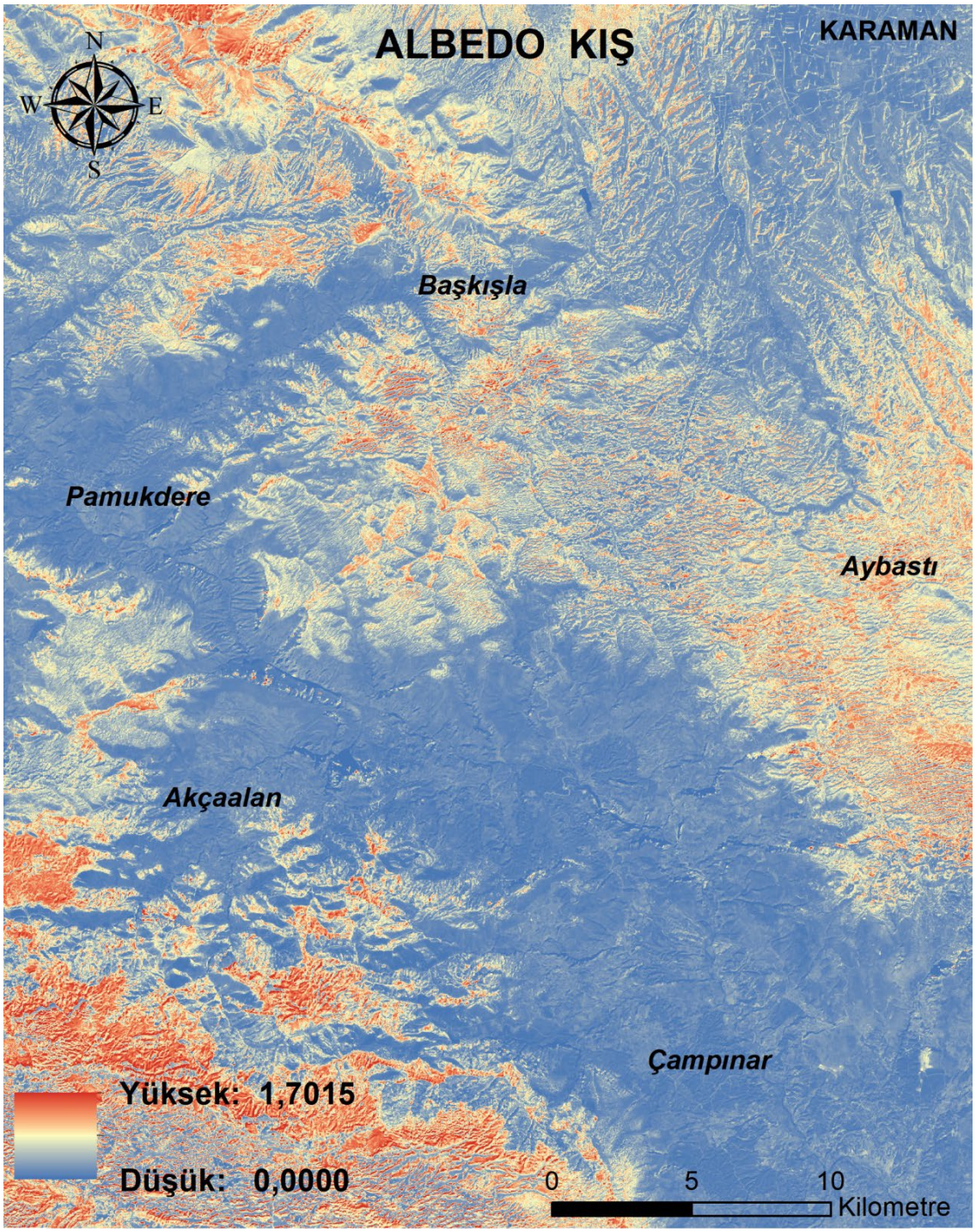
Çizelge 4.5. Albedo hesaplama kodları

```
function calculateAlbedo(image) {
  var blue = image.select('B2').multiply(0.1836).divide(10000);    // B2 bantı (Mavi)
  var green = image.select('B3').multiply(0.1759).divide(10000);   // B3 bantı (Yeşil)
  var red = image.select('B4').multiply(0.1456).divide(10000);     // B4 bantı (Kırmızı)
  var RedEdge1 = image.select('B5').multiply(0.1347).divide(10000); // B5 bantı (Kızılötesi 1)
  var RedEdge2 = image.select('B6').multiply(0.1233).divide(10000); // B6 bantı (Kızılötesi 2)
  var RedEdge3 = image.select('B7').multiply(0.1134).divide(10000); // B7 bantı (Kızılötesi 3)
  var nir = image.select('B8').multiply(0.1001).divide(10000);     // B8 bantı (Yakın Kızılötesi)
  var swir1 = image.select('B11').multiply(0.0231).divide(10000);   // B11 bantı (Kısa Dalga Kızılötesi 1)
  var swir2 = image.select('B12').multiply(0.0003).divide(10000);   // B12 bantı (Kısa Dalga Kızılötesi 2)
  var albedo = blue.add(green).add(red)
            .add(RedEdge1).add(RedEdge2).add(RedEdge3)
            .add(nir).add(swir1).add(swir2);
    return albedo.toFloat(); }
// 0-1 arası değer döndümek isteniyorsa return albedo.clamp(0, 1).toFloat(); uygulanır
// Albedo Değerleri hesaplanır ve görselleştirilir
var albedo = calculateAlbedo(mosaicImage);
```

Hesaplama sonucunda elde edilen albedo raster verileri yaz ve kış SENTINEL görüntüsü için ayrı ayrı hesaplanmış ve Şekil 4.7 ve 4.8'de verilmiştir. Yaz ayı albedo değeri minimum 0,0019 ve maksimum 1,67975 olarak hesaplanmıştır. Kış dönemi albedo değeri ise minimum 0 ve maksimum 1,7015 olarak hesaplanmıştır. Kış dönemi albedo verisi incelendiğinde karla kaplı bölgeleri en yüksek albedo değerine sahip olduğu görülmektedir. Yaz döneminde ise albedo değerleri genellikle boş araziler, yollar ve açık renkli arazi yüzeylerinde en yüksek çıktığı görülmektedir. Görsel olarak yapılan incelemede, düşük ve yüksek albedo değerlerinin doğru arazi yüzeylerinde oluştuğu, dolayısıyla yapılan hesaplamanın doğru olduğunu göstermektedir. Ancak albedo değerleri kaynaklarda 1 ve 0 arasında lineer bir ölçek ile temsil edildiğinden, bu çalışmada elde edilen değeler bu skalaya uymamaktadır. Bu nedenle bir sonraki bölümde albedo raster verilerine filtreleme işlemi uygulanmış ve detayları açıklanmıştır. SENTINEL görüntülerinde herhangi bir düzeltme değeri yapılmadığından görüntülerinde %0.7'sinde bozuk bant değerlerinin bulunmasından dolayı albedo değerleri 1'in üzerinde çıktığından çeşitli adımlarla filtreleme işlemi yapılarak bozuk bant değerli piksellerdeki tüm değerlerin 0 ila 1 arasında elde edilmesi sağlanmıştır.



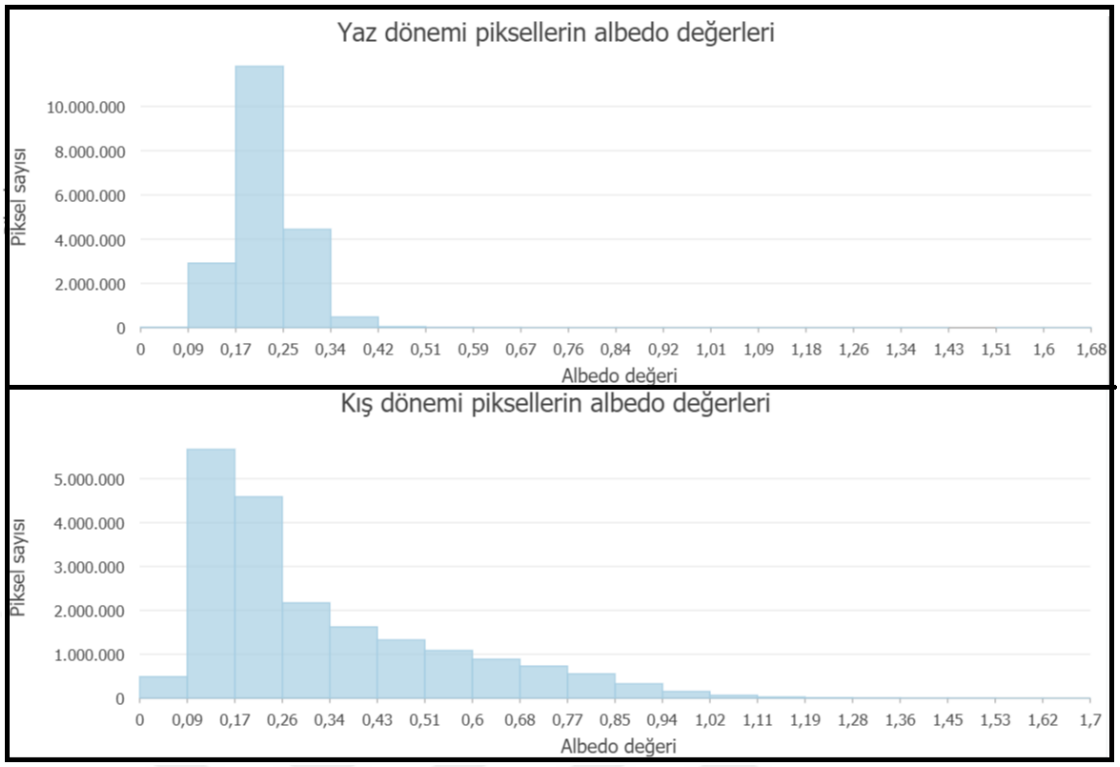
Şekil 4.7. Hesaplanan yaz dönemi albedo değerleri



Şekil 4.8. Hesaplanan kış dönemi albedo değerleri

4.6. Bozuk Albedo Piksellerinin Düzenlenmesi

Kaynaklarda albedo değerlerinde 0 değeri hiç yansımama olmamasını temsil ederken, 1 değeri tam yansımayı temsil etmektedir. Albedo değerlerinin maksimum 1 ve minimum 0 değerleri arasında bir skala ile temsil edilmesinden dolayı elde edilen albedo raster verilerinin piksel bazlı kontrolünden sonra yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Burada, 0 değeri hiç yansıma olmadığını, 1 değeri ise tam yansımayı temsil eder. GEE'den elde edilen rasterda bazı piksellerin albedo değerleri maksimum değer olan 1'i aşmaktadır. Gerçekten de, çalışma alanında tam olarak 0 yansıma katsayısına sahip bölgelerin olması pek mümkün olmayabilirken, 1'den yüksek değerler bazı piksellerin aşırı yüksek yansıma değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Sonuç raster verilerinin minimum ve maksimum değerleri incelendiğinde ve istatistikleri gözden geçirildiğinde, bazı piksellerin tanımsız veya eksik değerler içerdiği bulunmuştur. Bu boş değerler 0-1 ölçeğini bozarak bazı piksellerin beklenenden yüksek değerlerle hesaplanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle her bir sonuç albedo verisi incelenerek bu skalayı bozan piksellerin bulunması amaçlanmıştır. Bu süreçte, kış mevsimi albedo haritalarında 43 piksel ve yaz mevsimi albedo haritalarında 142.718 pikselin 1'den fazla değere sahip olduğu bulunmuştur. Kış mevsimindeki yüksek değerlerin ana nedeni, geniş kar örtüsüyle kaplı yüzeylerin varlığıdır. Her raster verisinin 20.000.000 pikselden oluştuğu göz önüne alındığında, 1'den yüksek değerlere sahip piksellerin bulunma oranı kış mevsiminde yaklaşık %0,7'dir. Şekil 4.9’da yaz ve kış ayları için yapılan sınıflandırmaya göre her iki veride piksellerin albedo değerlerinin histogramı görünmektedir.



Şekil 4.9. Hesaplanan albedo raster verilerinin albedo değeri dağılım histogramı

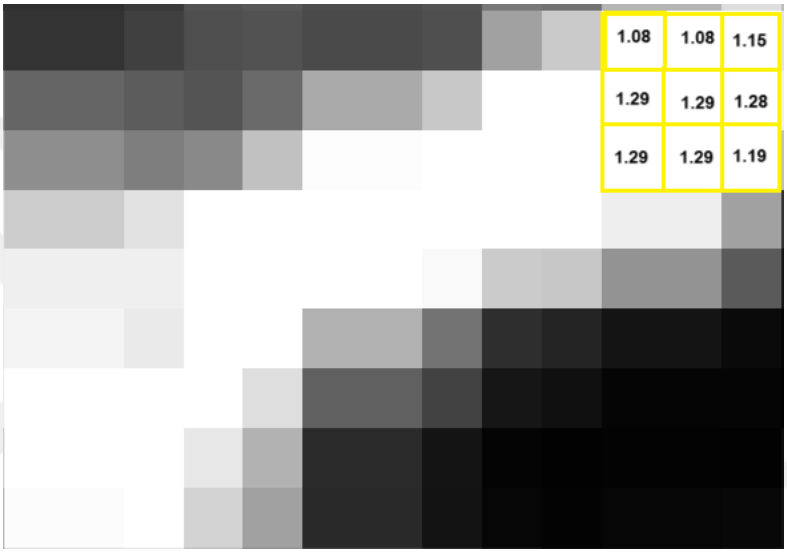
Her iki raster veride 1 değerini aşan pikseller genellikle bozuk görüntü yada aşırı parlak piksellerden oluştuğu görülmektedir. Bu nedenle bu piksellerin albedo raster verileri yeniden düzenlenerek 0-1 aralığı arasında elde edilebilecektir.

Bu amaçla 1 değerini aşan tüm pikseller "nodata" olarak atanarak verilerinin tamamen silinmesi sağlanmıştır. ArcGIS Pro 2.8 yazılımı bünyesinde yazılan Eşitlik 4.1 ile değeri 1 den yüksek olan tüm piksellerin "nodata" olarak değiştirilmesi sağlanmıştır.

Con("Raster" > 1, SetNull("Raster", "Raster", "VALUE > 1")) (4.1)

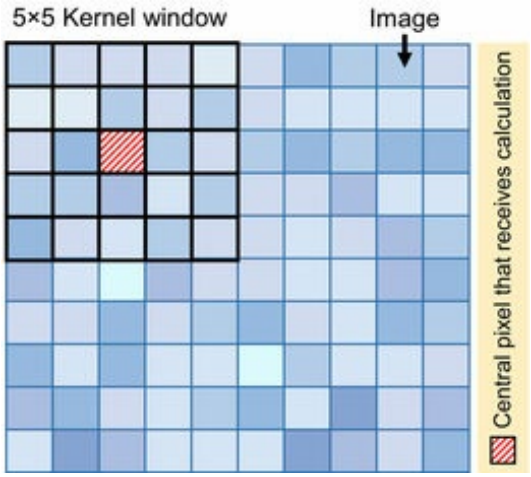
Bu noktadan sonra ise tüm piksellerin doğru albedo değerini korumak ve aynı zamanda maksimum 1 değerini elde edebilmesi için bu piksellerin doğru albedo değerlerinin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kernel penceresi mantığına benzer bir şekilde komşu pikseller yardımı ile boş piksellere değer atanması gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar bu piksellerin kesin değeri bilinmiyor olsa da etrafındaki piksellerin ortalaması alınarak gerçekte değere en yakın albedo değerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Enterpolasyon işlemi için genel de 3x3, 5x5, 8x8 ve 11x11

gibi kernel pencereleri kullanılmaktadır. Öncesinde yapılan denemelerde 8 komşu pikselden değer alması planlanmış, fakat yan yana olan 1 değerinden büyük piksellerden dolayı işlem başarısız olmuştur. Bu neden enterpolasyon işlemi 11x11 pikselin komşuluğu ile yapılmıştır. Böylece boş piksel etrafındaki çok sayıda pikselin ortalaması alınarak aritmetik ortalamanın gerçek değere yaklaştırılması amaçlanmıştır. Öncelikli olarak 8 komşu pikselden değer alması planlanmış, fakat şekil 4.10'da gösterildiği üzere yan yana olan 1 değerinden büyük piksellerden dolayı işlem başarısız olmuştur.



Şekil 4.10. Kış dönemi albedo haritasından alınan bazı piksel albedo değerleri

Bu neden enterpolasyon işlemi 11x11 pikselin komşuluğu ile yapılmıştır. Şekil 4.11'de 5x5 kernel penceresi için bir örnek verilmektedir.

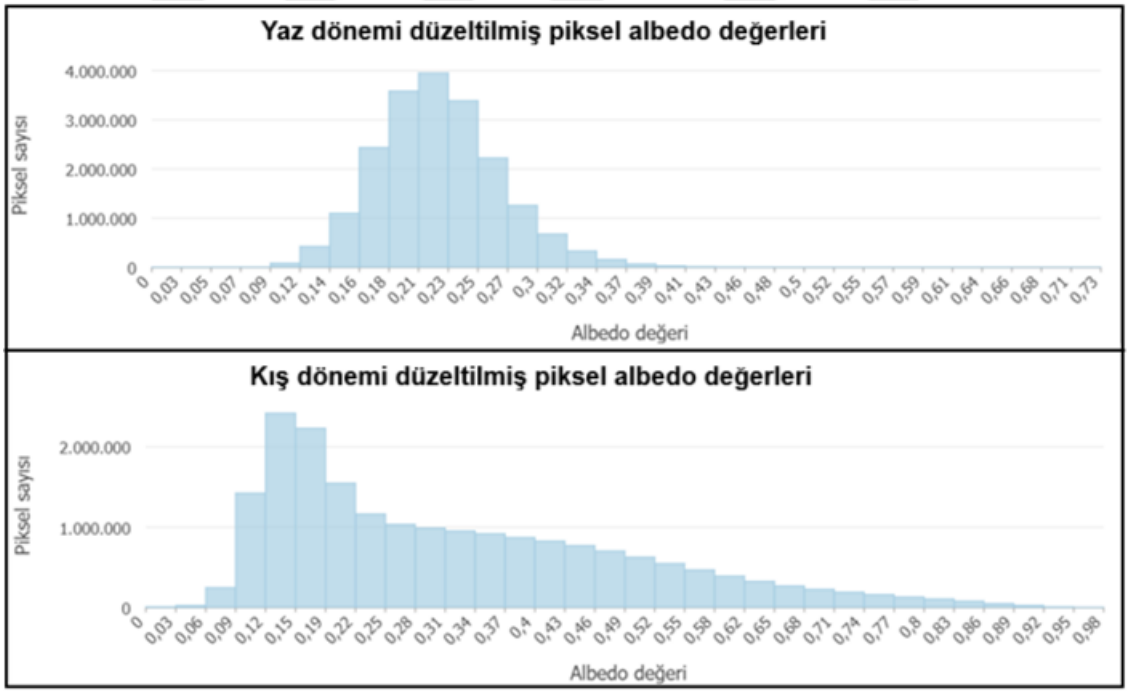


Şekil 4.11. Örnek bir 5x5 kernel penceresi

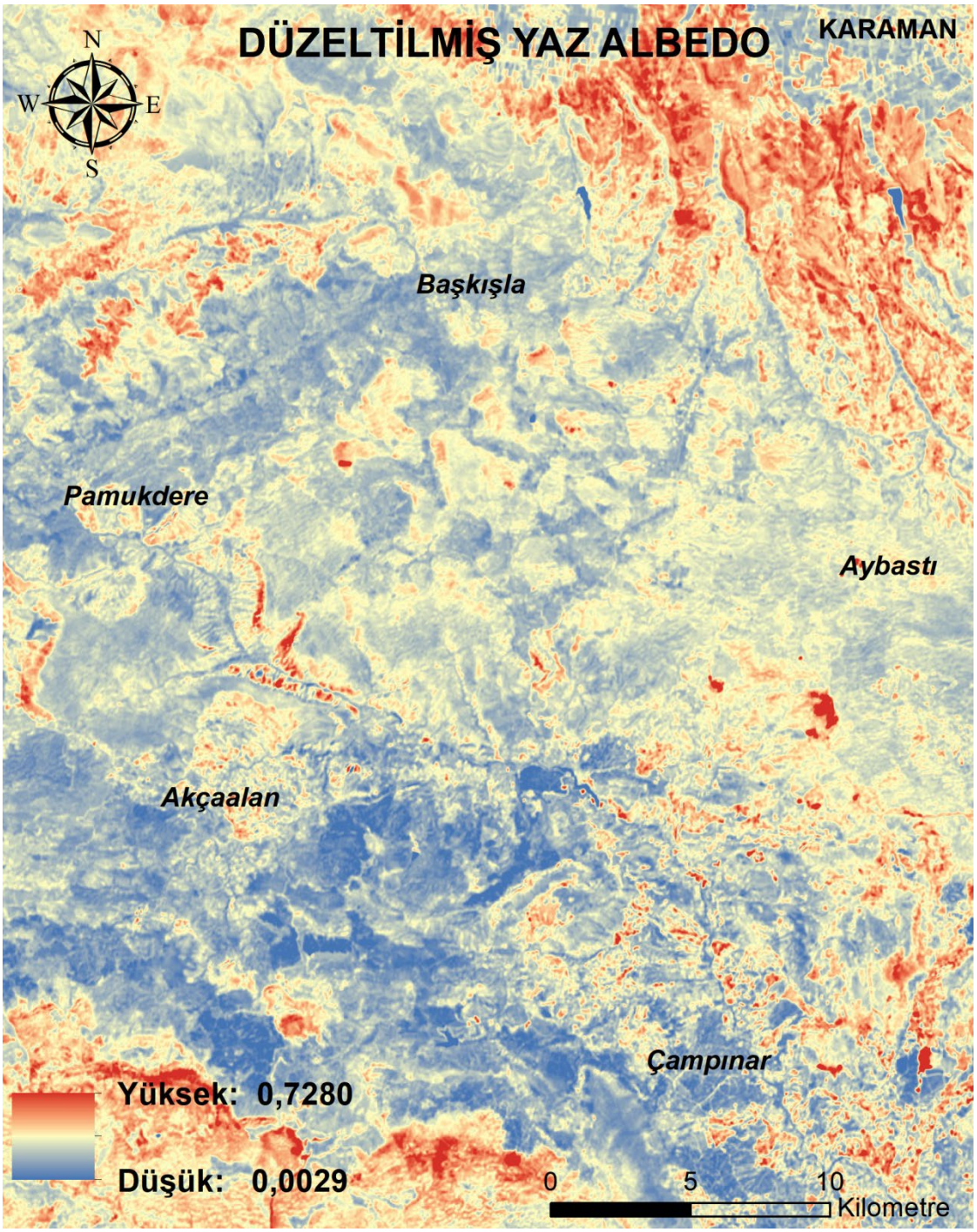
11x11 kernel penceresinin uygulanması için Eşitlik 4.2 kullanılmıştır. Kodlarda değeri “NoData” olan piksellere etrafındaki 11x11 sayısındaki pikselin ortalama değerinin atanması belirtilmektedir.

FocalStatistics(Con("Raster" > 1, SetNull("Raster", "Raster"), "Raster"), NbrRectangle(11, 11, "CELL"), "MEAN") (4.2)

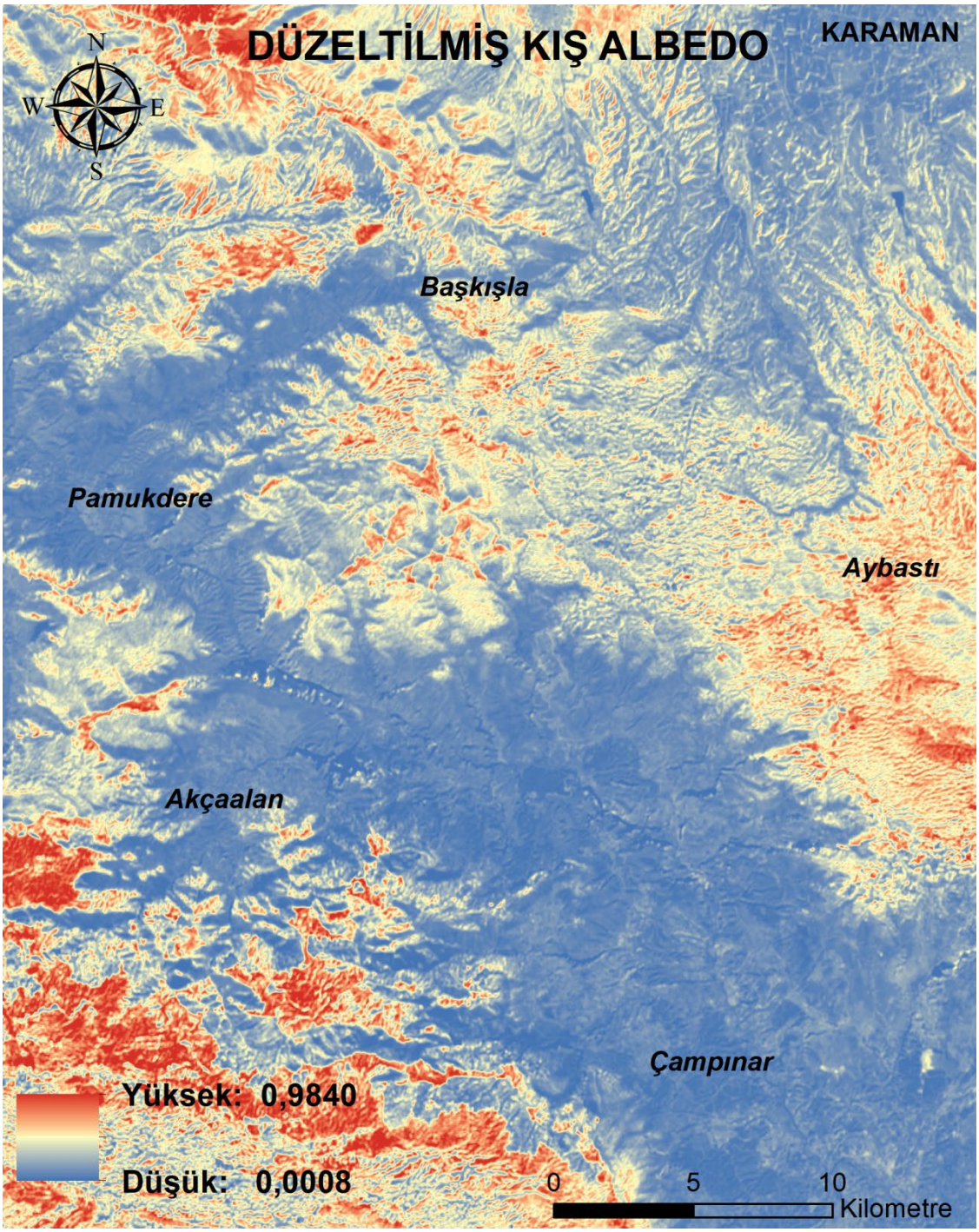
Eşitliğin uygulanması sonucu elde edilen albedo raster verileri Şekil 4.13 ve 4.14’da verilmektedir. Yaz ayı albedo değeri olarak maksimum 0,7280 elde edilirken, kış ayı için 0,9840 değeri elde edilmiştir. Yaz albedo raster verisi incelendiğinde en yüksek albedo değerinin parlak ve beyaza yakın arazi yüzeylerinde elde edildiği görülürken, kış aylarında ise beyaz karlı yüzeylerin en yüksek albedo değerini aldığı görülmektedir. Her iki veride de minimum albedo değeri 0 olarak elde edilmiştir. Böylece hem yaz dönemi hem de kış dönemi için nihai albedo raster görüntüleri elde edilmiştir. Şekil 4.12’de ise 1 üzeri albedo değeri düzeltilmiş raster görüntülerindeki piksellerin albedo değeri histogramları gösterilmiştir. Böylece hem yaz dönemi hem de kış dönemi için nihai albedo raster görüntüleri elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Düzeltilmiş albedo raster verilerinin sınıf değerleri dağılım grafiği



Şekil 4.13. 1 üzeri albedo değerleri düzeltilmiş yaz dönemi albedo haritası



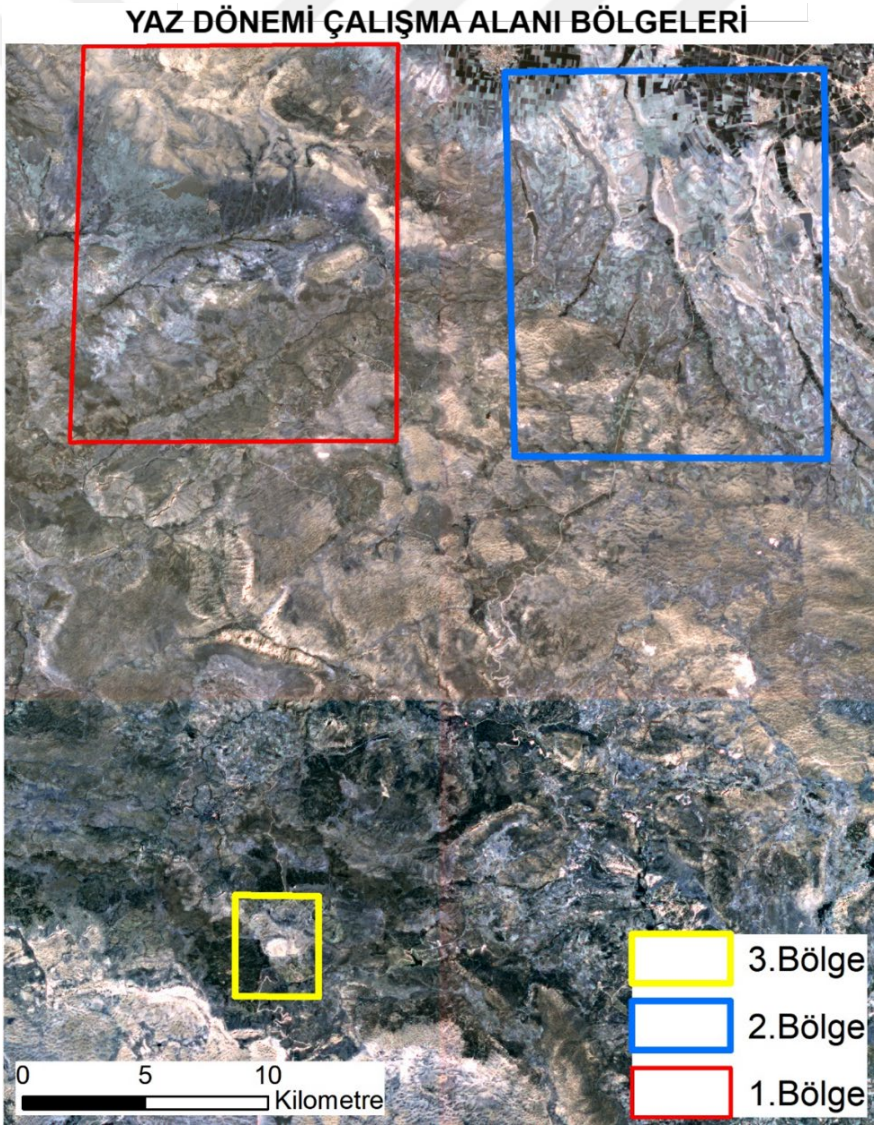
Şekil 4.14. 1 üzeri albedo değerleri düzeltilmiş kış dönemi albedo haritası

Hesaplanan albedo değerlerinin doğruluğunu incelemek için çalışma bölgesi 3 alt bölgeye ayrılmıştır. Çalışma bölgesinin farklı bölgelerinde kontrastı fazla olan, başka bir deyişle yansıma değerleri düşük ve fazla olan Şekil 4.15'de gösterilen bölgelerdeki albedo değerleri gözden geçirilerek hesaplanan albedo değerleri kontrol edilmiştir.

1. Bölge yaz dönemi için hem eğimli hem de düz arazi yüzeylerini barındırmakta olup, bölgenin bir kısmı orman ve bir kısmı ise çıplak arazilerden oluşmaktadır. Bölgede eğimini en fazla değiştiği bölge olmasından dolayı seçilmiştir.

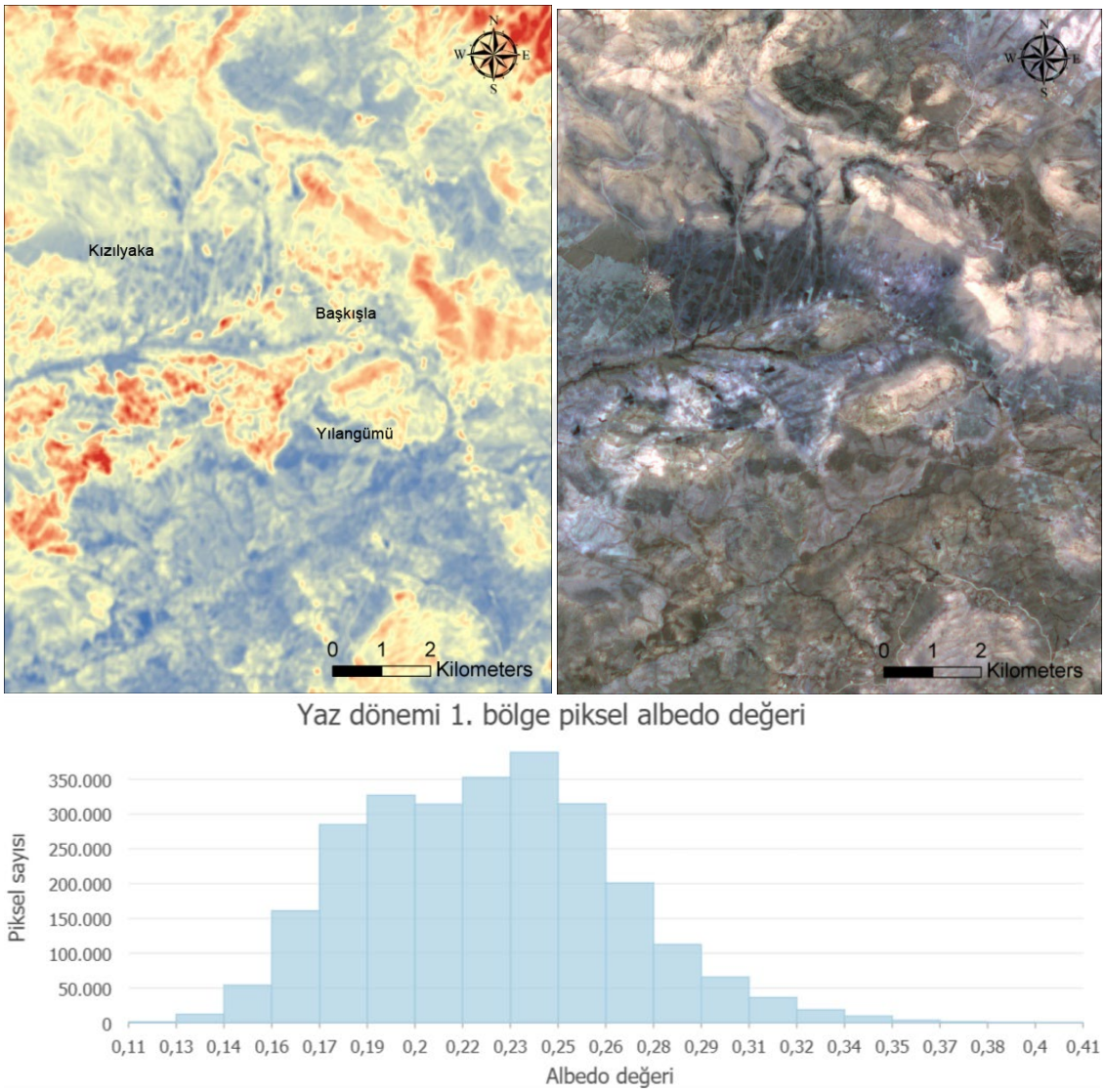
2. Bölge yaz döneminde tarımsal alanları ve aynı zamanda yükseltinin fazla olduğu çıplak arazileri içermektedir. Albedo açısından farklılığın en fazla olduğu bölge olması nedeniyle seçilmiştir.

3. Bölge yaz dönemi açısından hem yüksek dağlık bölgeleri içermesi ve aynı zamanda hem orman hem de çıplak ve açık renkli kayalıkların olması nedeniyle albedo farklılıklarını ortaya çıkarmak için seçilmiştir.



Şekil 4.15. Farklı kontrasta değerlerine sahip yaz dönemi haritası çalışma bölgeleri

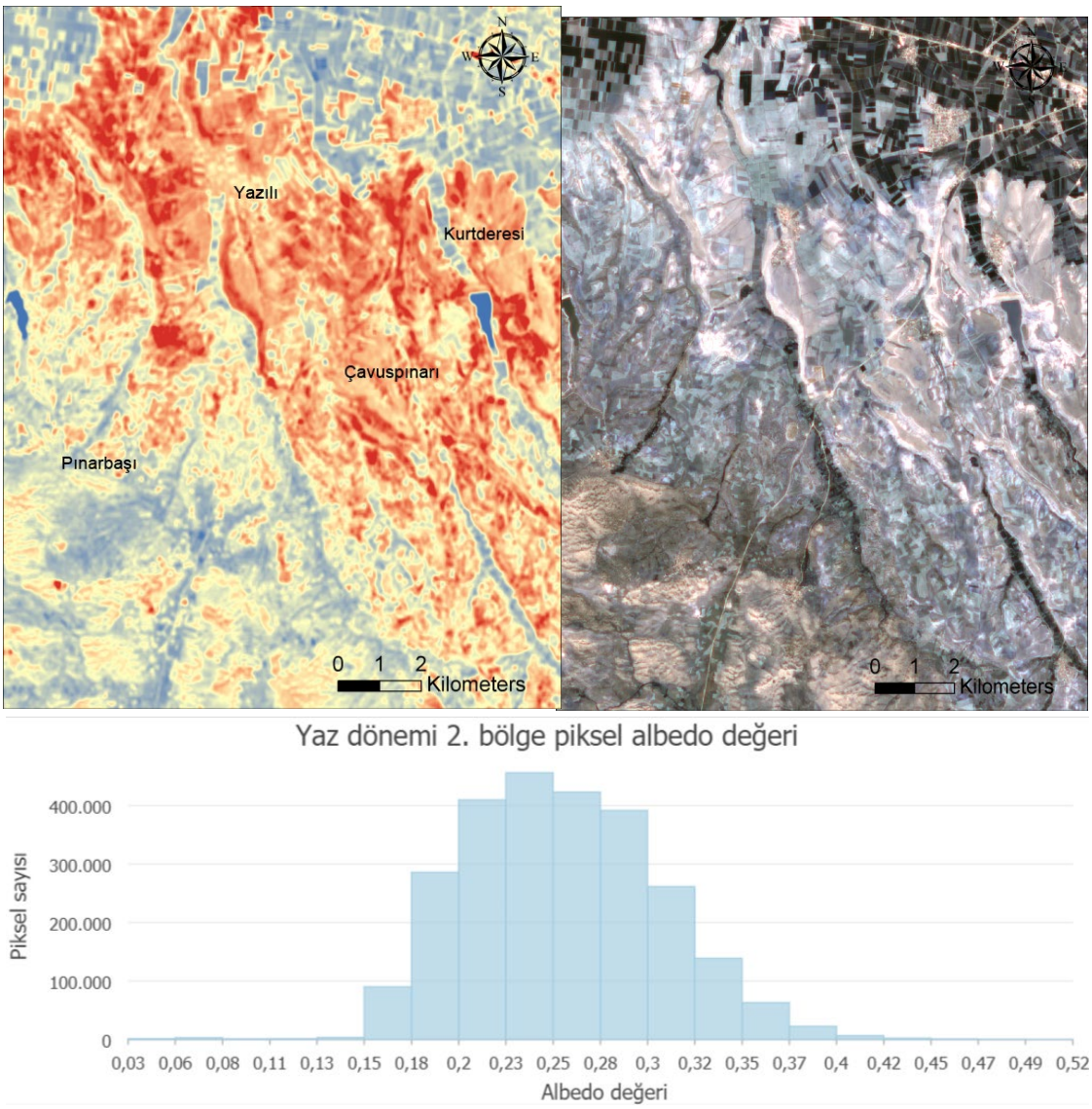
Yaz ayı için 1. Bölgede çıplak dağlık alanlar, tarımsal araziler ve bitki örtüsü ile kaplı çayırlıklar bulunmaktadır. Şekil 4.16'da görüldüğü üzere, albedo değerleri çıplak kayalıkların olduğu bölgelerde ortalama 0,82 değerine sahip olmaktadır. Bu bölgede en çok yansıtımı sağlayan kısım ise tarımsal alanlar içerisinde bulunan ve beyaza yakın bir renge sahip olan tarım alanları sağlamaktadır. Ortalama 0,90 albedo değerine sahip olan bu bölgele, tüm çalışma bölgesinde yaz dönemi için en yüksek albedo değerlerine sahip bölge olarak belirlenmiştir. Vadi içinde kalan yeşil ve çok fazla gölgelenme etkisine maruz kalan kısımlar için ise ortalama 0,15 albedo değeri hesaplanmıştır.



Şekil 4.16. Yaz dönemi 1. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı

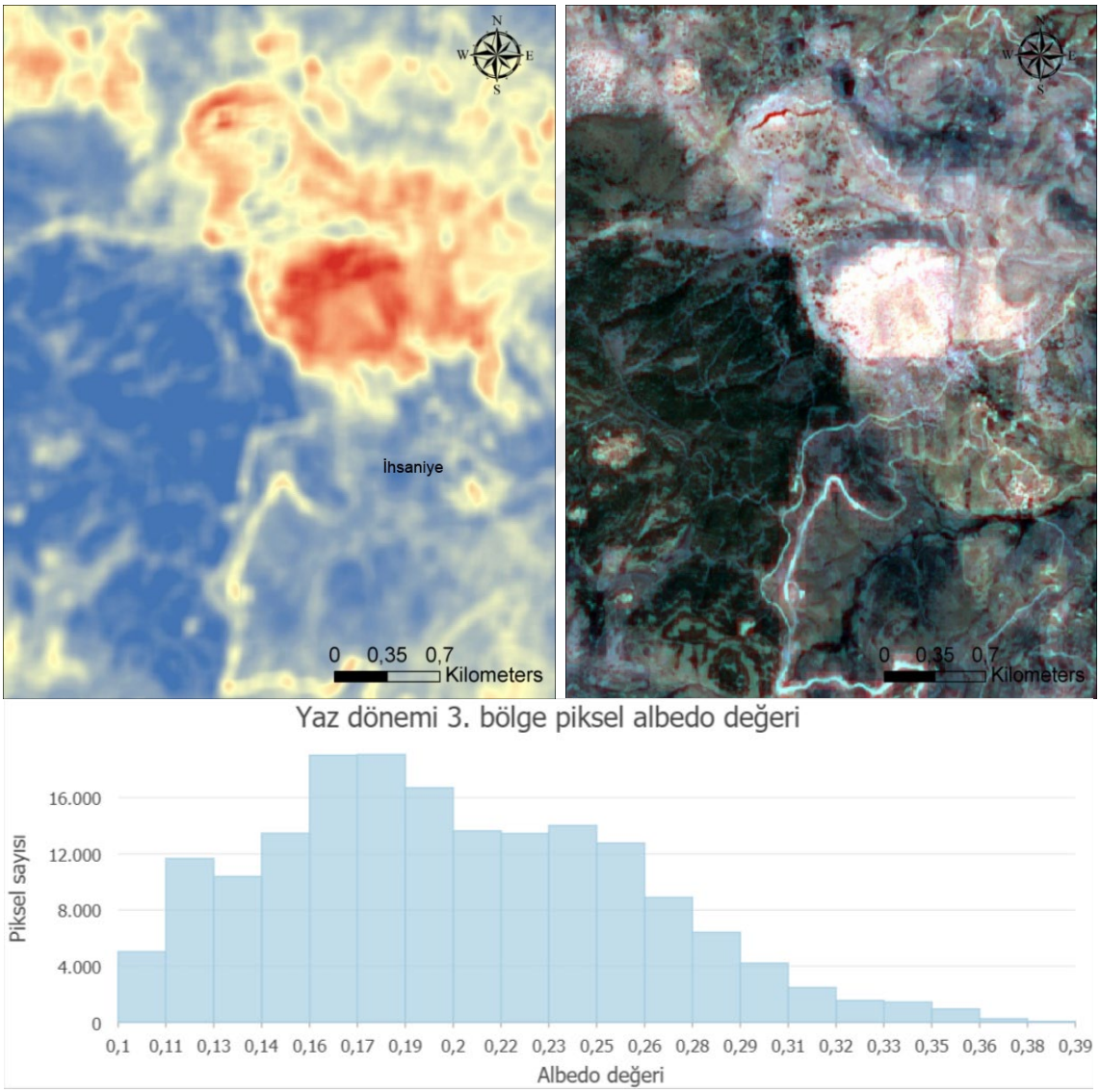
Yaz dönemi 2. Bölge için ise tarımsal alanlar ve çıplak arazilerin bulunduğu bir bölge belirlenmiştir. Bölge incelendiğinde yolların albedo değerinin ortalama düzeyde

hesaplandığı, ekili tarım arazilerin ise ortalama 0,15-0,20 arası bir albedo değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bölgede yer alan su kaynakları 0 albedo değeri ile en düşük albedo değerine sahip arazi kullanım sınıfı olduğu belirlenmiştir. Bölgenin toprak yapısının kireçli olması nedeni ile bazı çıplak arazi yüzeylerinde yer alan ara bölgelere, çok yüksek albedo değeri atanmıştır. Özellikle yüksek kesimlerde yer alan, açık renkli ve nispeten geniş alanlar en yüksek albedo değerine sahip olmuşlardır. Bölgede bulunan binalar küçük boyutlu ve seyrek yapıda olduğu için net olarak bu bölgede binaların albedo etkisi tespit edilememiştir. Şekil 4.17'de yaz dönemi 2. Bölge için elde edilen albedo değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.17. Yaz dönemi 2. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı

Yaz dönemi 3. Bölge için ise oldukça eğimli olan bir arazi yüzeyi seçilmiştir. Bölgenin büyük bir kısmı ormanla kaplı, bir kısmı ise açık toprak yüzeyine sahiptir. Özellikle orman kesiminde kalan ve gölgelenme etkisi altında olan ormanlık alanlar koyu bir renk sergilediği için bu bölgeler ortalama 0,05-0,15 albedo değerine sahiptir. Toprak ve açık renkli orman yollarının albedo etkisi ise sonuç raster veride görülebilmektedir. Bölgede en açık ve parlak yüzeye sahip olan toprak kesimi 0,88 ile en yüksek albedo değerine sahip olmuştur. Şekil 4.18'de yaz dönemi 3. Bölge için elde edilen albedo değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Yaz dönemi 3. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı

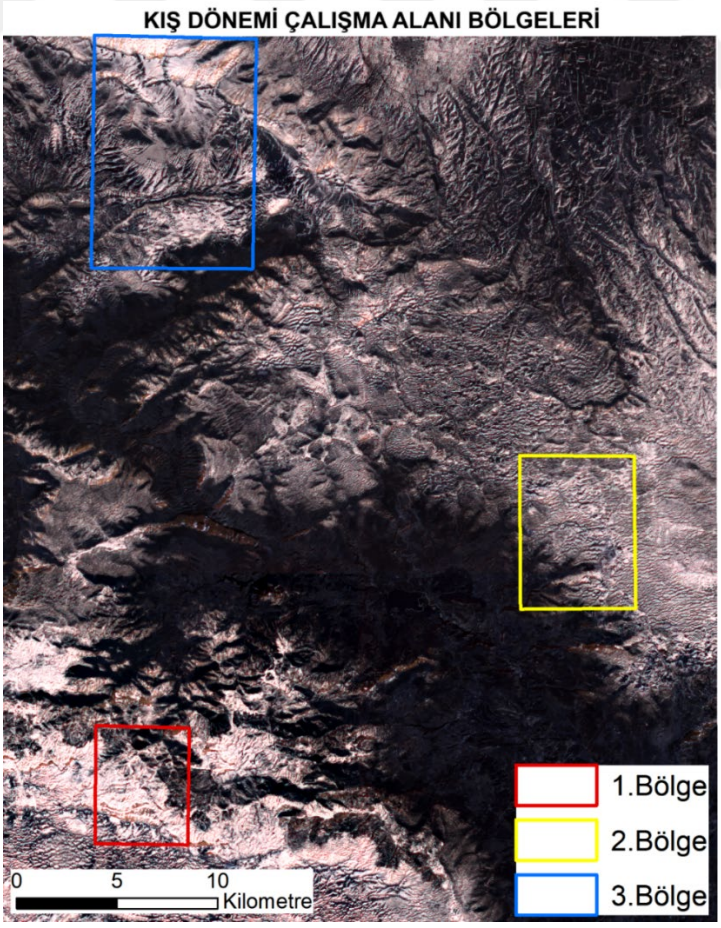
Kış dönemi için oluşturulan albedo verileri 3 farklı bölgede incelenmiştir. Bölgeler seçilirken kış dönemi olmasından dolayı kar örtüsü göz önüne alınarak seçim yapılmıştır.

1.bölge, kar kalınlığının en fazla olduğu bölge olmasından dolayı seçilmiş olup, bölge aynı zamanda yoğun orman örtüsü de barındırmaktadır. Böylece kalın kar kütlesinin albedo değerine etkisi bu bölgede ortaya çıkarılabilecektir.

2.bölge, yüksek dağların üst kesimlerinde yer alan çok fazla kalınlığa sahip olmayan bögelerde bulunan kar örtüsünün albedoya etkisinin araştırılması için seçilmiştir. Bu bölge diğer bölgelere nispeten çok daha az bitki örtüsüne sahiptir.

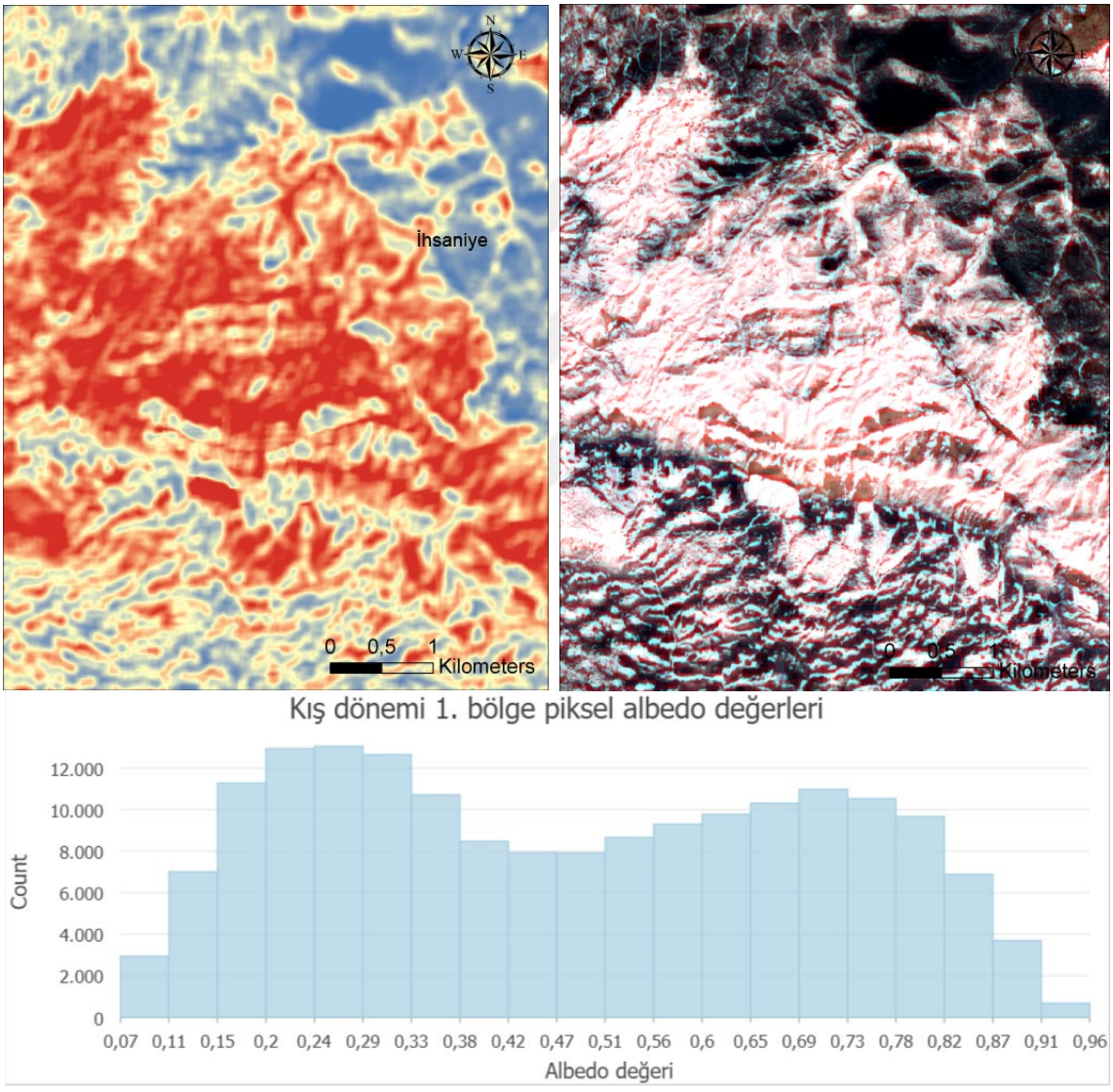
3.bölge, eğim olarak çok fazla değişkenlik gösteren, yamaçlarda ve düz bölgelerde farklı kar kalınlığına sahip olan bir bölge olmasından dolayı seçilmiştir. Bölgede bitki örtüsü, çıplak arazi yüzeyleri ve farklı kalınlıkalrda kar örtüsü mevcuttur.

Bölgelere göre albedo değerlerinin incelenmesi aşağıda gösterilmiştir. Şekil 4.19'da farklı özelliklere sahip oldukları için kış döneminde seçilen bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Farklı kontrasta değerlerine sahip kış dönemi haritası çalışma bölgeleri

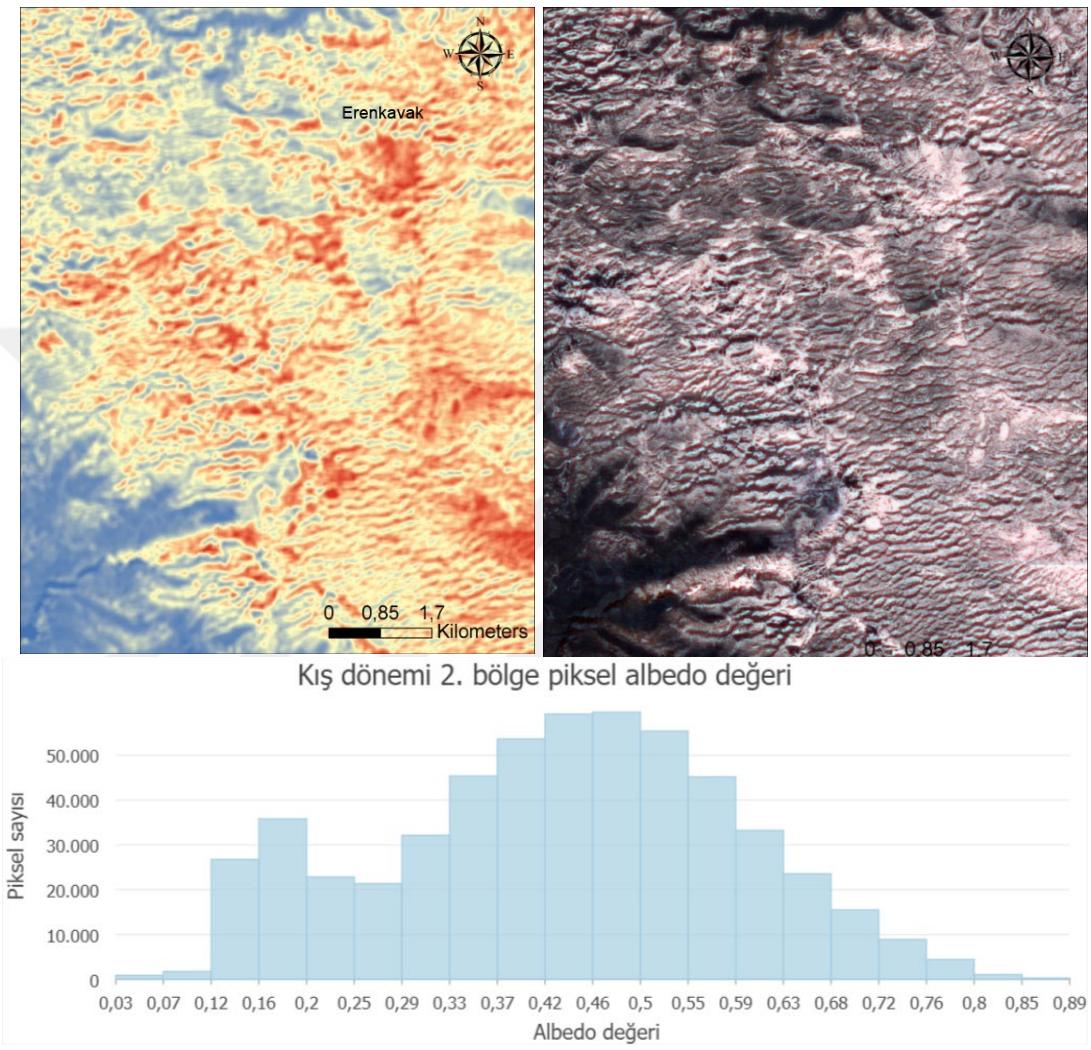
1.Bölge hesaplanan albedo verisi ve SENTINEL uydu görüntüsü Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Bölge geneli çok yoğun kar örtüsü ile kaplı olup, kar kütleleri hem eğimini hem de gölgelenmenin etkisi ile farklı parlaklık değerlerine sahip şekilde elde edilmiştir. Kar kütlesinin yoğun ve beyaz olan bölgeleri en yüksek albedo değerine sahiptir. Bu bölgeler için ortalama 0,85-0,95 albedo değeri hesaplanmıştır. Karların daha eğimli kısımlarda kalan kesimleri ise ortalama 0,65-0,70 albedo değerine sahip oldukları belirlenmiştir. Özellikle güneş ışının geliş yönündeki beyaz kar kütleleri en yüksek albedo değerini vermişlerdir.



Şekil 4.20. Kış dönemi 1. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı

2. bölge olarak seçilen kısımda ise nispeten daha az kar örtüsü bulunmaktadır. Kar kütlesi çok daha ince olduğundan zeminin rengini belirli bir oranda yansıtmaktadır. Üretilen albedo verisi incelendiğinde kar kalınlığının fazla olduğu ve renk olarak açık

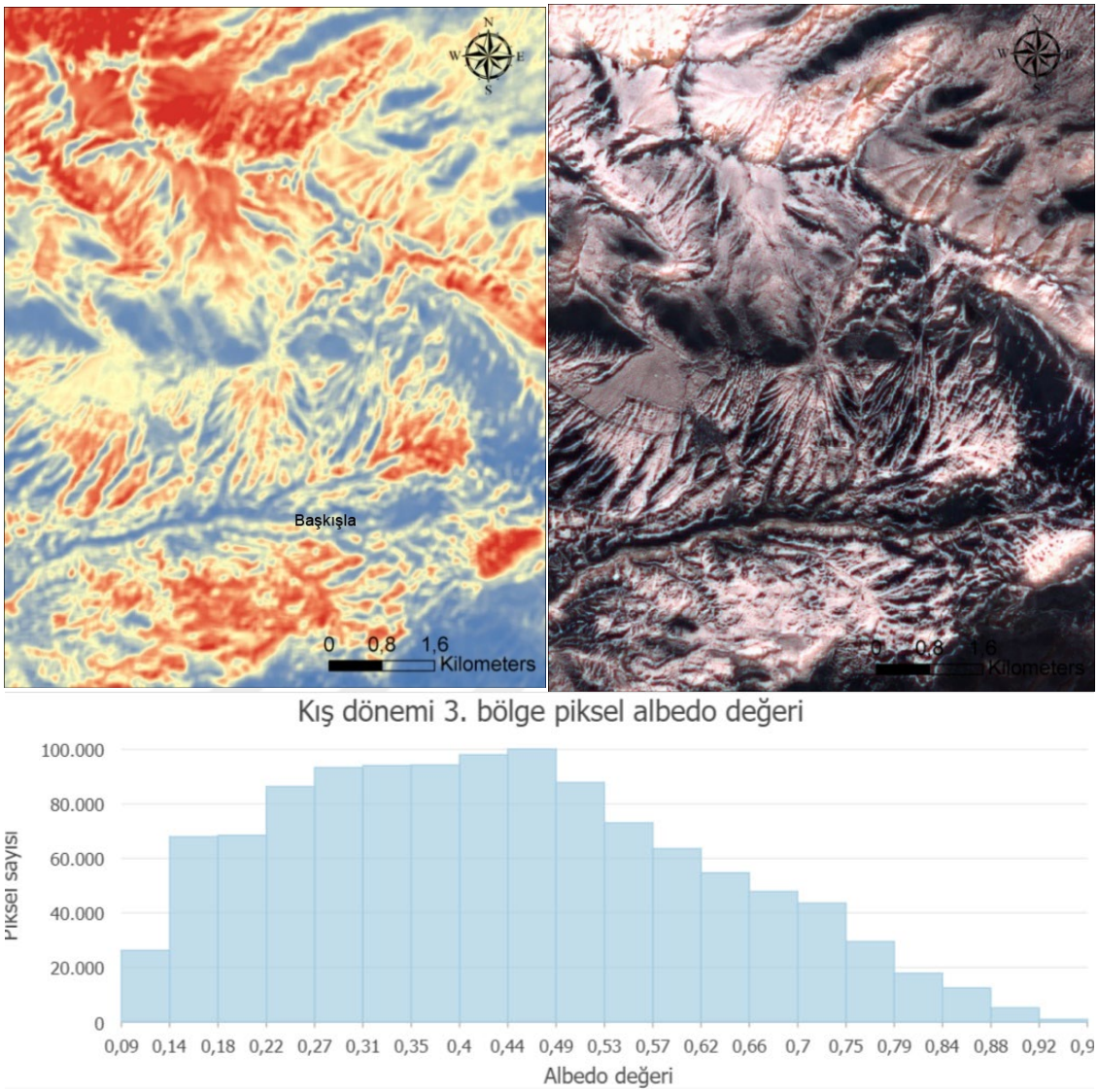
tonlarda olan bölgelerin en yüksek albedo değerine sahip olduğu görülmektedir. Ormanlık ve gölgede kalan kısımın ise en düşük albedo değerine sahip olduğu belirlenmiştir. En yüksek albedo değeri bu bölge için 0,75 olarak hesaplanırken, en düşük albedo değeri ise 0,15 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.21'de 2. Bölge için verilen kış dönemi albedo verisi ve SENTINEL görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 4.21. Kış dönemi 2. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı

3. bölge olarak seçilen kısımda ise hem karlı hem de çok eğimli bir bölge ele alınmıştır. Karlı ve aynı zamanda çıplak arazinin bulunduğu bölgelerde yamaçların en yüksek kesiminde bulunan karlı alanların 0,90 gibi yüksek bir albedo değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Yamaçların dip kısımlarında kar olmasına rağmen bu bölgelerdeki albedo değerinin ortalama 0,60 değerine kadar düştüğü görülmektedir. Gölgede kalan ve kar kütlesi olmayan bölgelerin ise minimum 0,10 albedo değerine

sahip olduğu belirlenmiştir. 3. Bölge için elde edilen albedo verisi ve SENTINEL görüntüsü Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Kış dönemi 3. bölgenin albedo değerlerinin incelenmesi ve histogramı

Çizelge 4.6'da yüzey albedo katsayısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. Hesaplanan albedo değerleri

Yüzey	Hesaplanan Albedo Değerleri	
	Yaz	Kış
Kar	-	0,85
Açık renkli bina yüzeyleri	0,36	0,28
Kırmızı bina yüzeyleri	0,27	0,23
Yollar	0,20	0,19
Su kaynakları	0,06	0,05

4.7. Area Solar Radiation(ASR) Eklentisi ile Radyasyon Haritalarının Üretilmesi

ASR eklentisi, belirli bir bölgenin güneş radyasyonunu hesaplayabilmek için o bölgeye ait hassas sayısal yükseklik modeline ihtiyaç duymaktadır. Böylece gölgelenme etkileri ve topoğrafyanın güneş enerjisine olan etkileri de hesaplanabilmektedir. ASR modülü ile işlem yapmadan önce analiz için gerekli bazı parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. ASR modülü ile elde edilecek olan güneş radyasyonu verisinin çözünürlüğü, hassasiyeti ve işlemin süreceği zaman dilimi tamamen bu parametrelere bağlı olmaktadır.

- **Enlem değeri :** Analiz, yalnızca yerel arazi ölçekleri için tasarlandığından, tüm SYM için tek bir enlem değeri kullanmak genellikle kabul edilebilmektedir. Daha büyük veri setleri, örneğin eyaletler, ülkeler veya kıtalar için, farklı enlemlerdeki bölgelerde izolasyon sonuçları önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir (genelde 1 dereceden fazla). Daha geniş coğrafi bölgeleri analiz etmek için çalışma alanını farklı enlem bölgelerine ayırmak gereklidir. Çalışma alanının enlemi (birimler: ondalıklı derece, kuzey yarımkürede pozitif ve güney yarımkürede negatif) güneş deklinasyonu ve güneş pozisyonu gibi hesaplamalarda kullanılmaktadır. Bir mekânsal referansa sahip giriş yüzey rasterları için ortalama enlem otomatik olarak hesaplanır; aksi takdirde, enlem 45 derece olarak varsayılmaktadır.

- **Sky size:** Gökyüzü genişliği olarak da adlandırılan bu parametre, gökyüzü boyutu, radyasyon hesaplamalarında kullanılan görsel alan, gökyüzü haritası ve güneş haritası rasterlarının çözünürlüğüdür. Bunlar yukarı bakan, yarı küresel raster temsilcilerdir ve coğrafi koordinat sistemi içermezler. Bu rasterlar kare şeklindedir. Gökyüzü boyutunu artırmak, hesaplama doğruluğunu artırır ancak hesaplama süresini de önemli ölçüde uzatmaktadır. Gün aralığı ayarı küçük olduğunda (örneğin, < 14 gün), daha büyük bir gökyüzü boyutu kullanılmalıdır. Analiz sırasında, güneş pozisyonlarını (izlerini) belirlemek için kullanılan güneş haritası (gökyüzü boyutuna göre belirlenir) doğrudan radyasyon hesaplamak için kullanılmaktadır. Küçük gün aralıklarında, gökyüzü boyutu çözünürlüğü yeterli değilse, güneş izleri örtüşebilir ve bu izler için sıfır veya daha düşük radyasyon değerlerine neden olabilmektedir. Çözünürlüğü artırmak daha doğru sonuçlar

elde etmeyi sağlamaktadır. Maksimum gökyüzü boyutu değeri 10.000'dir. 200 değeri varsayılan olup, büyük gün aralıkları (örneğin, > 14 gün) olan tüm SYM için yeterlidir. 512 gökyüzü boyutu, hesaplama süresinin daha az sorun olduğu nokta konumları için yeterlidir. Küçük gün aralıklarında (örneğin, < 14 gün) daha yüksek değerler kullanılması tavsiye edilir. Örneğin, ekvatordaki bir yer için gün aralığı = 1 olduğunda, 2.800 veya daha fazla bir gökyüzü boyutu kullanılması önerilmektedir.

- **Day interval/ Hour interval:** Gün aralığı olarak adlandırılan bu parametre, çok günlük zaman yapılandırmaları için maksimum gün aralığı bir yıl (365 gün veya artık yıllar için 366 gün) ile sınırlıdır. Başlangıç günü bitiş gününden büyükse, zaman hesaplamaları bir sonraki yıla devam etmektedir. Örneğin, [başlangıç günü, bitiş günü] = [365, 31], Aralık 31'den bir sonraki yılın Ocak 31'ine kadar olan süreyi temsil eder. [1, 2] örneğinde ise süre 0:00 (1 Ocak) ile 0:00 (2 Ocak) arasındaki ilk günü kapsamaktadır. 3'ten büyük gün aralıkları önerilir, çünkü üç gün içindeki güneş izleri genellikle gökyüzü boyutuna ve yılın zamanına bağlı olarak örtüşür. Tüm yıl hesaplamaları için, aylık aralıkta gün aralığı devre dışı bırakılır ve program, takvim ayı aralıklarını kullanır. Varsayılan değer 14'tür. Başlangıç günü ve bitiş günü birbirine eşit olamaz. Zaman yapılandırması için yıl değeri, artık yılı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Güneş radyasyonu analizine başka bir etkisi yoktur çünkü hesaplamalar Julian günleri tarafından belirlenen zaman diliminin bir fonksiyonudur. Gün içi zaman yapılandırmaları için maksimum zaman aralığı bir gündür (24 saat). Hesaplamalar günler arası yapılmaz (örneğin, 12:00 ö.s. ile bir sonraki gün 12:00 ö.s. arasında). Başlangıç saati bitiş saatinden küçük olmalıdır. Gün içi zaman yapılandırmalarında, başlangıç ve bitiş saatleri güneş saati olarak görüntülenmektedir. Yerel standart saati güneş saatine dönüştürürken, program zaman denklemini dikkate almaktadır.

- **Directions:** Görüş alanı hesaplaması oldukça yoğun olabileceğinden, ufuk açıları yalnızca belirtilen hesaplama yön sayısı kadar izlenmektedir. Geçerli değerler 8'in katları olmalıdır (8, 16, 24, 32, vb.). Genellikle, yumuşak topoğrafyaya sahip alanlar için 8 veya 16 değeri yeterlidir, ancak karmaşık topoğrafya için 32 değeri seçilmelidir. Gerekli hesaplama yön sayısı, giriş SYM

çözünürlüğü ile ilişkilidir. 30 metrelik çözünürlüğe sahip doğal araziler genellikle oldukça düzgün olduğundan, çoğu durumda daha az yön yeterlidir (16 veya 32). Daha yüksek çözünürlüklü SYM'lerde insan yapımı yapılarla birlikte yön sayısının artırılması gerekmektedir. Yön sayısını artırmak doğruluğu artırır ancak hesaplama süresini de önemli ölçüde uzatmaktadır.

- **Zenith divisions:** Gökyüzü haritaları oluşturulurken (Sky Size) zenith açısına göre kaç bölüme ayrılacağını belirleyen parametredir. Standart olarak 8 değeri gelmektedir. Sky size değerinin yarısından küçük seçilmesi önerilmektedir.

- **Azimuth divisions:** Gökyüzü haritaları oluşturulurken (Sky Size) azimut açısına göre kaç bölüme ayrılacağını belirleyen parametredir. Standart olarak 8 değeri gelmektedir. Sky size değerinin yarısından ve 160 değerinden küçük seçilmesi gerektiği belirtilmektedir.

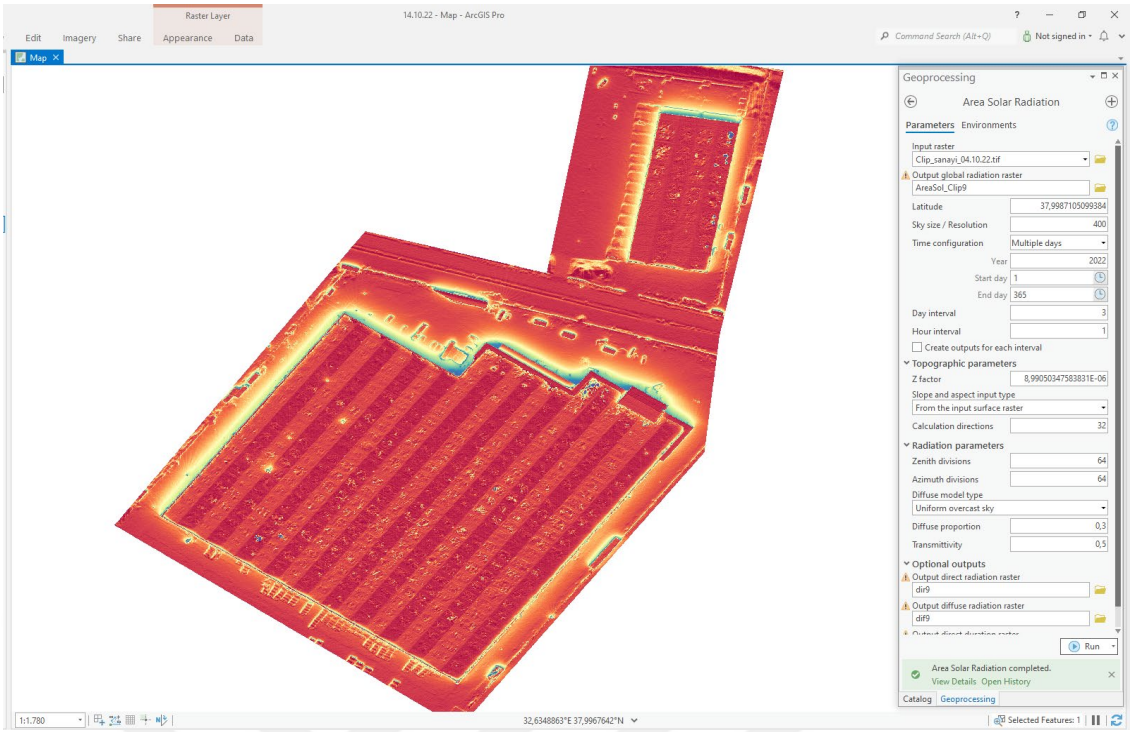
- **Diffuse proportion:** Hava'nın geçirgenliğine göre belirlenen parametredir. 0 ile 1 arası değer almaktadır. Standart olarak 0,3 değeri gelmektedir. 0,2 değeri çok açık hava koşullarında, 0,3 değeri ise genel olarak açık hava koşulları temsil eder. Dağınık radyasyonun hesaplanmasında kullanılmaktadır.

- **Z values:** Yüzey z birimleri, z ve yer yüzeyi x,y birimleri farklı birimler olduğunda hesaplamaları düzeltmek için z-faktörü kullanımı gereklidir. Doğru sonuçlar elde etmek için, z birimleri x,y yüzey birimleriyle aynı olmalıdır. Birimler aynı değilse, z birimlerini x,y birimlerine dönüştürmek için bir z-faktörü kullanılmaktadır. Örneğin, x,y birimleri metre ve z birimleri feet ise, feet'i metreye dönüştürmek için 0,3048 z-faktörünü kullanılmaktadır. Verileri metre birimlerinde projeksiyon koordinat sistemi içinde tanımlanması tavsiye edilmektedir. Eğer analiz sferik(küresel) koordinat sistemi ile çalıştırılacaksa, o enlem için uygun bir z-faktörü belirlenmesi gerekecektir.

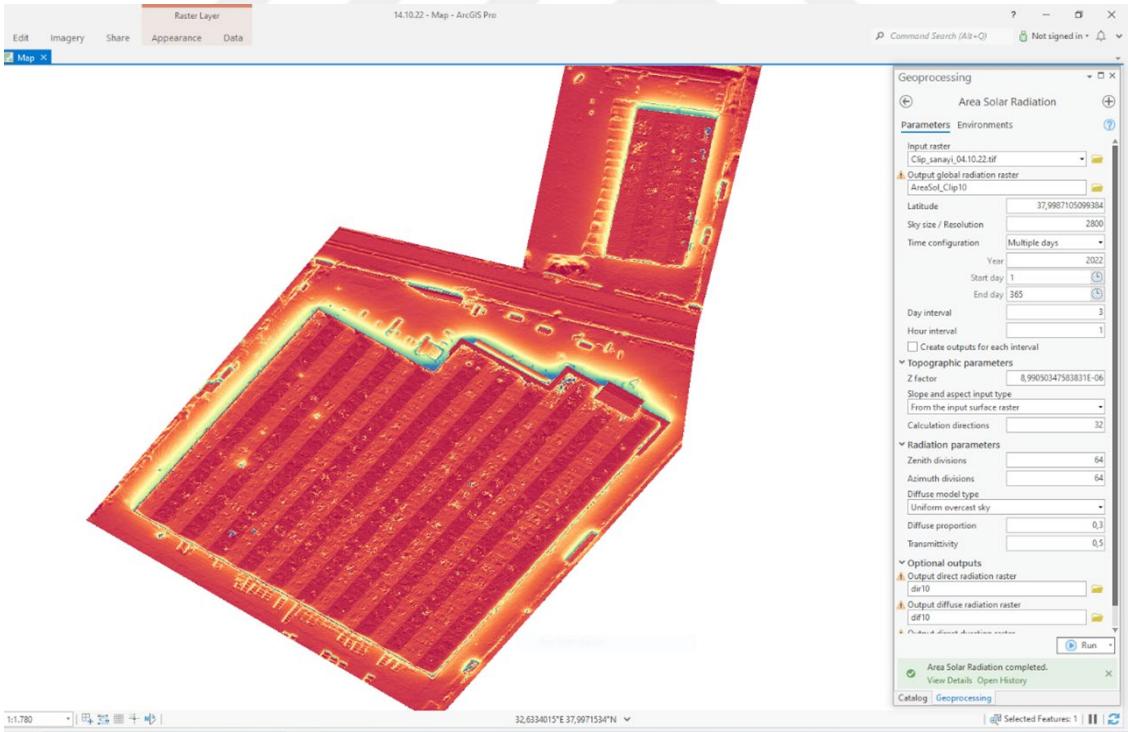
- **Transmittivity:** Geçirgenlik, dünya yüzeyine ulaşan enerjinin (ortalama genel dalga boylarının) atmosferin üst sınırında (dünya dışı) alınan enerjiye oranı olarak ifade edilen değerdir. Değerler 0 (aktarım yok) ile 1 (tam aktarım) arasında değişir. Tipik olarak gözlemlenen değerler, çok açık gökyüzü koşulları

için 0,6 veya 0,7 ve yalnızca genel olarak açık bir gökyüzü için 0,5'tir. İndirgeme değerleri için 1 değeri seçilmesi uygun olacaktır.

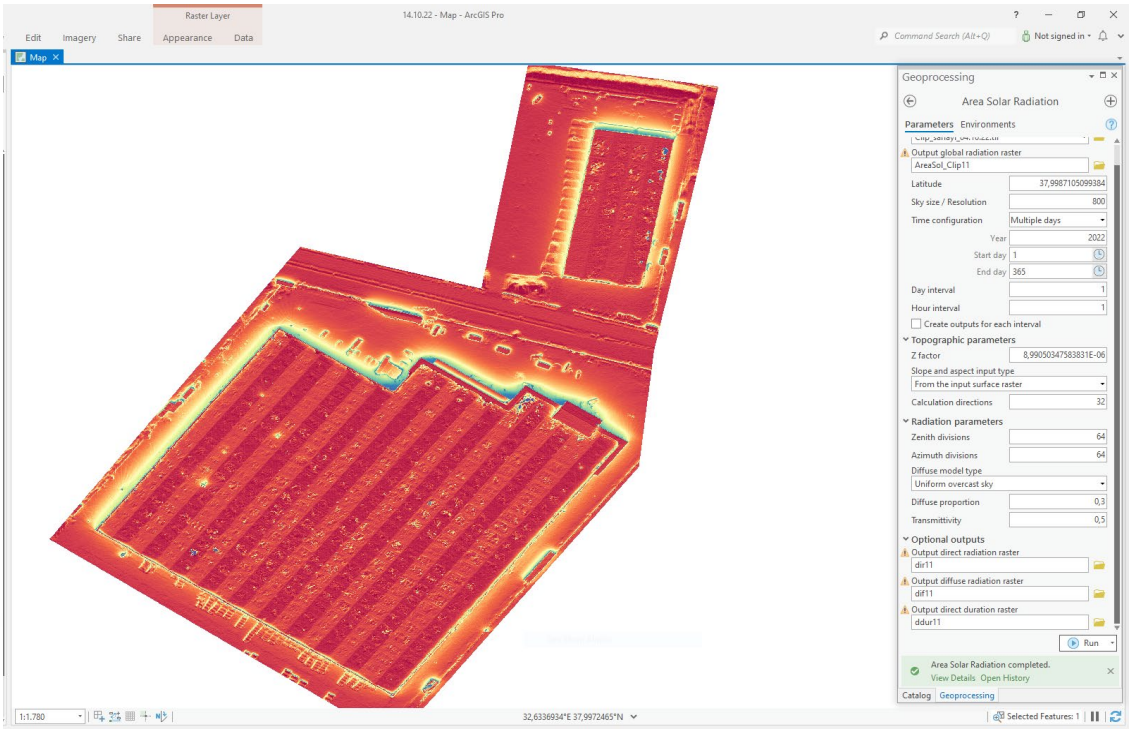
ASR eklentisinde yukarıda bahsedilen parametrelerin belirlenmesinde genel bir kural olmayıp, genelde çıktı sonuçların çözünürlük ve hassasiyet ile ilgili alanlarda belirleyici olmaktadır. Özellikle çözünürlüğün artması işlem süresini büyük oranda artırmakta olup, parametrelerin maksimum değerlerine göre işlem yapılması, normal bilgisayarlarda gerçekleştirilmesi imkânsız boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle parametrelerin çıktı ürünleri üzerindeki etkisini görebilmek, farklılıkları ortaya çıkartabilmek ve optimum değer kombinasyonlarını anlayabilmek için çok küçük bir alanda parametrelerin denemeleri gerçekleştirilmiştir. Deneme alanı bir sanayi tesisi olup, hem küçük alanda etkileri görmek hem de gölgelenme etkileri üzerindeki değişimleri anlayabilmek için geniş ve yüksek bir bina tercih edilmiştir. Denemeler gerçekleştirilirken özellikle sky size, day interval ve directions parametreleri değiştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Sky size minimum 400 ve maksimum 2.800 değerleri arasında seçilirken, day interval parametresi ise 1 veya 3 değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Directions parametresinde ise sadece 32 ve 128 değerleri kullanılmıştır. Zenith ve azimuth parametreleri ise 64 ve 256 değerleri kullanılarak incelenmiştir. Şekiller 4.23-4.30’da elde edilen sonuçlar ve ASR ara yüzündeki verilen değerler gösterilmektedir.



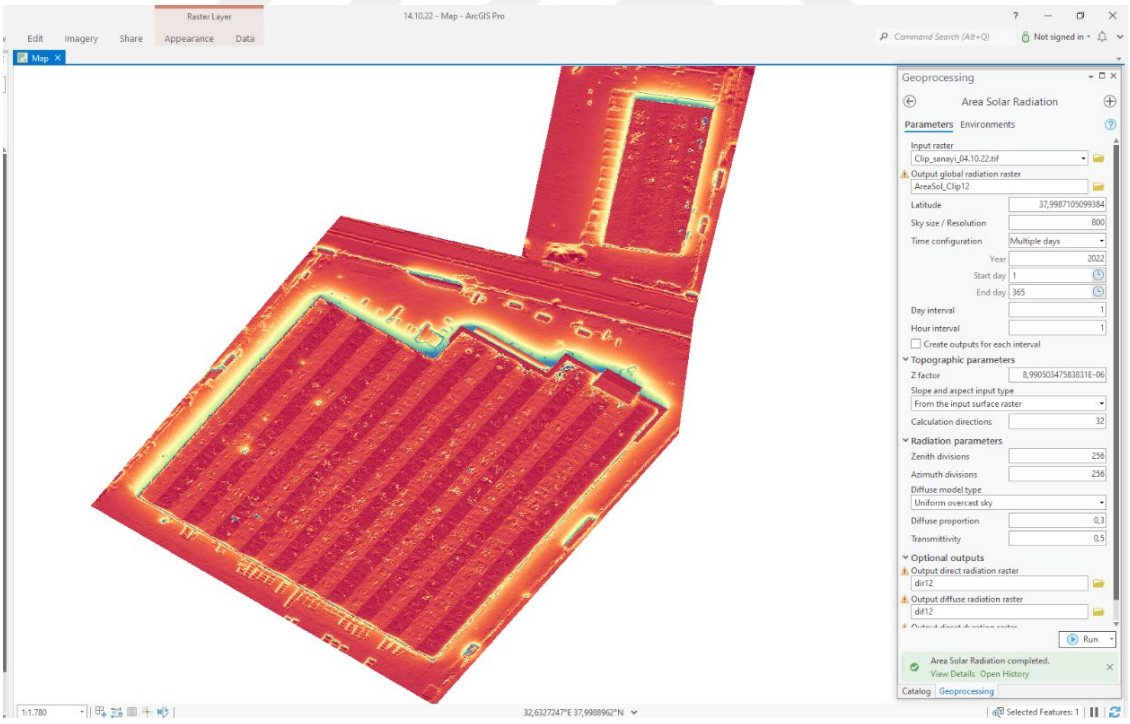
Şekil 4.23. ASR parametreleri uygulama 1



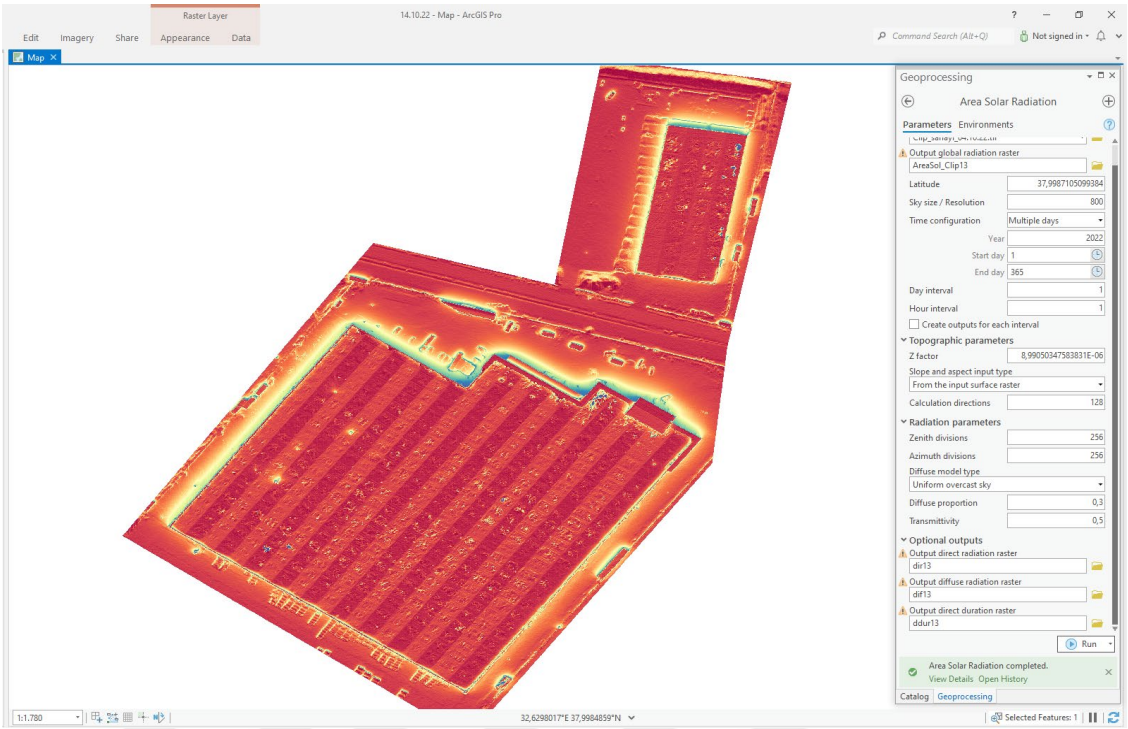
Şekil 4.24. ASR parametreleri uygulama 2



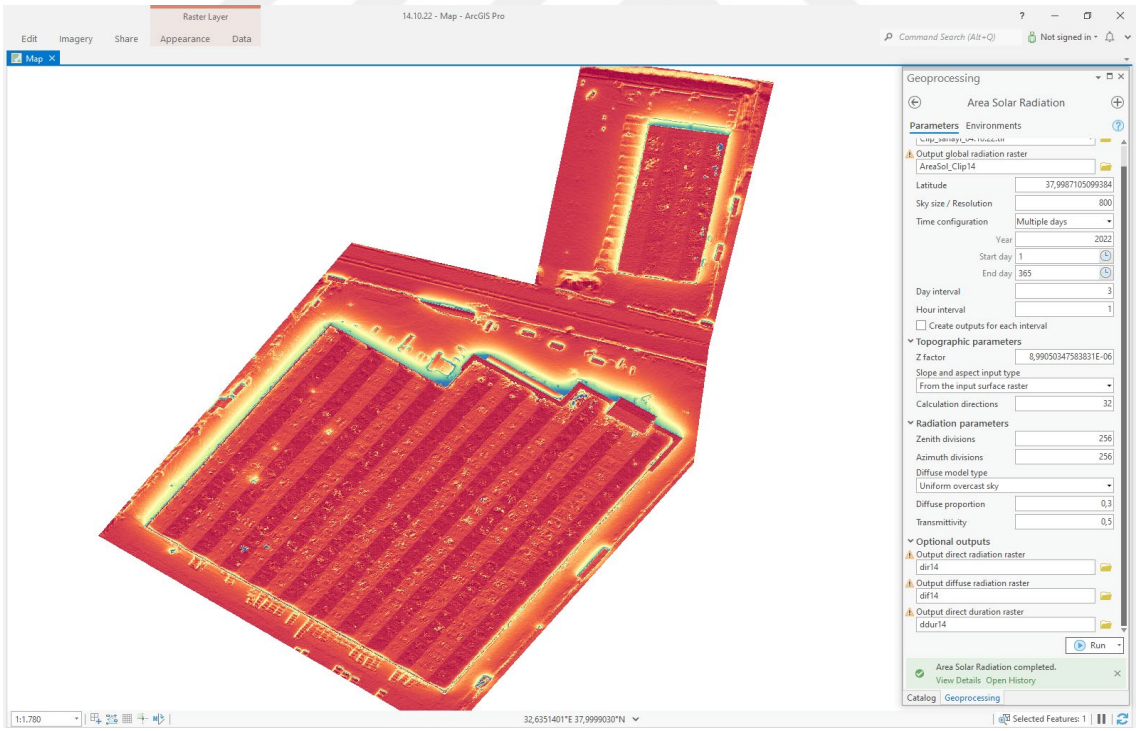
Şekil 4.25. ASR parametreleri uygulama 3



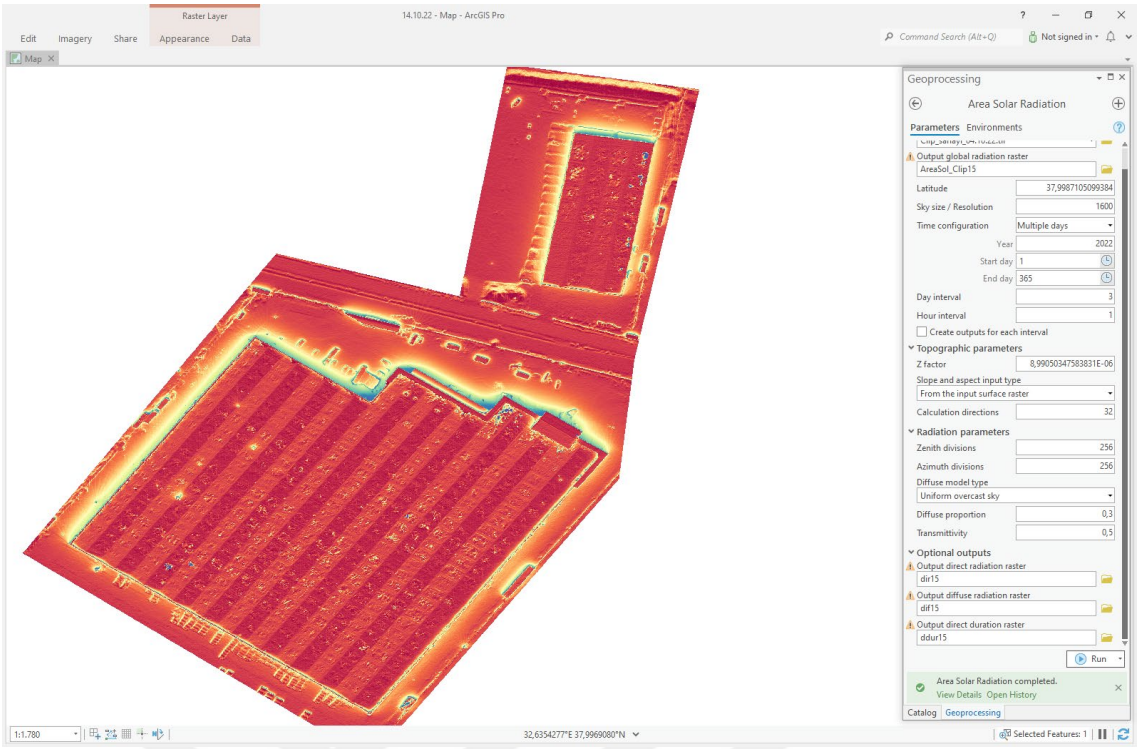
Şekil 4.26. ASR parametreleri uygulama 4



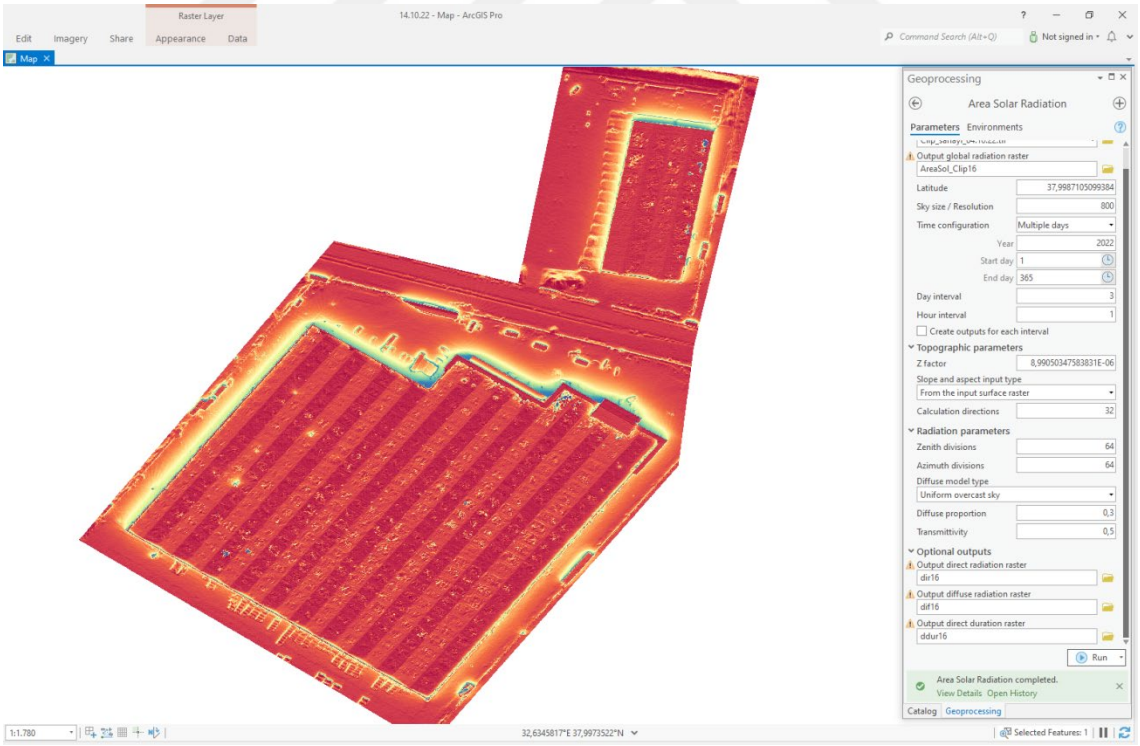
Şekil 4.27. ASR parametreleri uygulama 5



Şekil 4.28. ASR parametreleri uygulama 6



Şekil 4.29. ASR parametreleri uygulama 7



Şekil 4.30. ASR parametreleri uygulama 8

Çizelge 4.7'de ise her bir versiyon için kullanılan parametreler özetlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde çalışma alanı için parametrelerin sonuç ürünler üzerinde çok

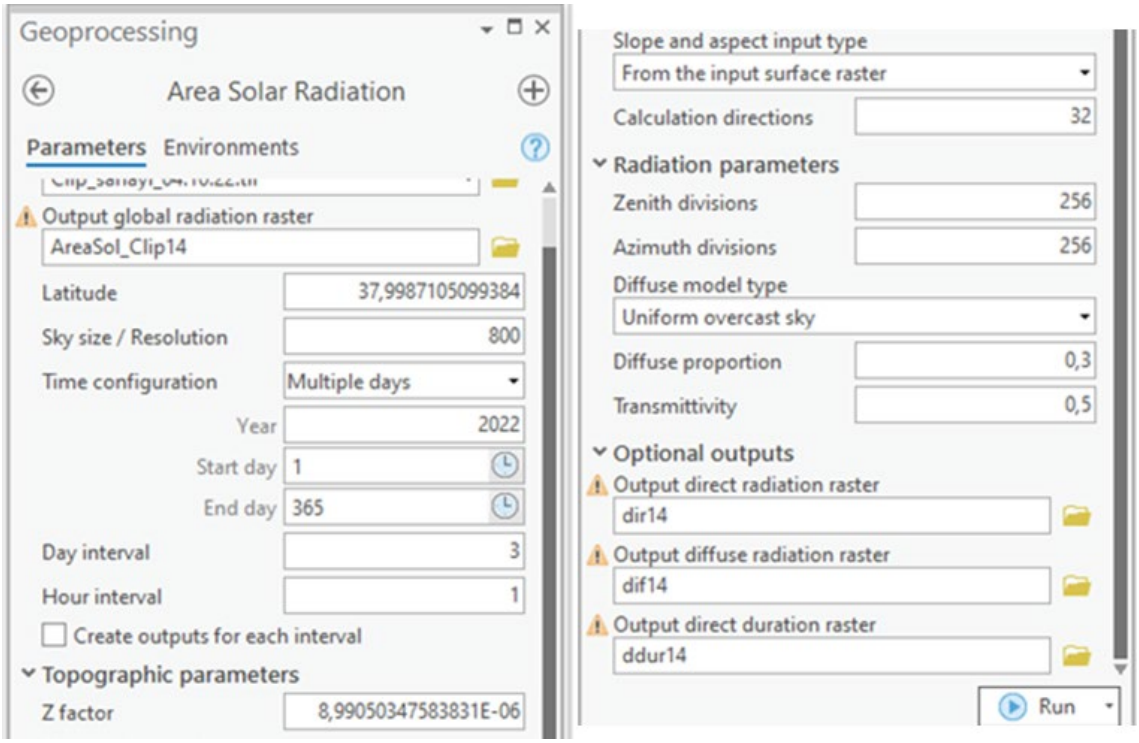
gözle görülebilecek farklılıklar ortaya çıkarmadığı anlaşılmıştır. Özellikle binanın arka kısmına kalan gölgeli alanın tüm parametre versiyonlarında yaklaşık aynı değer sahip olduğu, en çok güneşlenme süresine sahip çatı bölümünün ise tüm versiyonlarda en yüksek değeri aldığı görülmüştür. Ancak sonuç ürünlerin elde edilme zamanı incelendiğinde, sky size ve calculation directions parametresinin analiz süresini çok büyük oranda etkilediği belirlenmiştir. Özellikle sky size ve directions parametresinin aynı zamanda yüksek seçilmesi, analizin tamamlanma süresini veya kullanılan bilgisayarların işlemi gerçekleştirme ihtimalini doğrudan belirlemektedir. Day interval parametresi ise işlemi süresini uzatan bir diğer parametre olduğu belirlenmiştir. Yapılan 8 farklı parametre versiyonundaki işlem süresi ve sonuçlar dikkate alındığında 3 gün aralıklı, 800 sky size değerinde 64 directions değeri, 128 zenith ve azimuth açı değeri, 0,2 diffuse proportion ve 1 transmittivity değerlerinin analizlerde kullanılmasının en optimum sonuçları vereceği öngörülmüştür. Çizelgede 8 farklı versiyonda belirlenen parametreler gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. ASR modülünde denenen parametre uygulamaları

Parametre	Uyg. 1	Uyg. 2	Uyg. 3	Uyg. 4	Uyg. 5	Uyg. 6	Uyg. 7	Uyg. 8
Sky Size	400	2800	800	800	800	800	1600	800
Day interval	3	3	1	1	3	3	3	3
Calculation directions	32	32	32	32	128	32	32	32
Zenith divisions	64	64	64	256	256	256	256	64
Azimuth divisions	64	64	64	256	256	256	256	64
Diffuse proportion	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Transmittivity	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

ASR modülünün ara yüzünde çalışma bölgesi enlemi olarak 38 seçilmiştir. Böylece tüm hesaplamalar, çalışma bölgesinin orta enlemi olan 38 dereceye göre yapılmıştır. Sky size değeri ise hesaplamaların çok uzun sürmemesi nedeni ile 800 seçilmiştir. Çıktı ürünlerin elde edilme zamanını doğrudan etkileyen sky size parametresi maksimum 10.000 seçilebilmekte olup, bu çalışmada 800 değeri kullanılmıştır. Tarih parametreleri ise 2022 yılının tüm günlerini kapsayacak şekilde 3 günlük aralıklarla elde edilmiştir. Esasen ASR modülü ile tüm yıl için her saat göz önüne alınarak hesaplama yapılabilmektedir. Ancak 24 saat x 365 gün olarak düşünüldüğünde toplamda 8.760 adet hesaplama yapması gerekmektedir. Bu nedenle 3 günlük aralık değeri ile toplamda 2.880 hesaplama yapılarak küresel güneş radyasyonu hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Z factor değeri doğrudan koordinat sisteminden

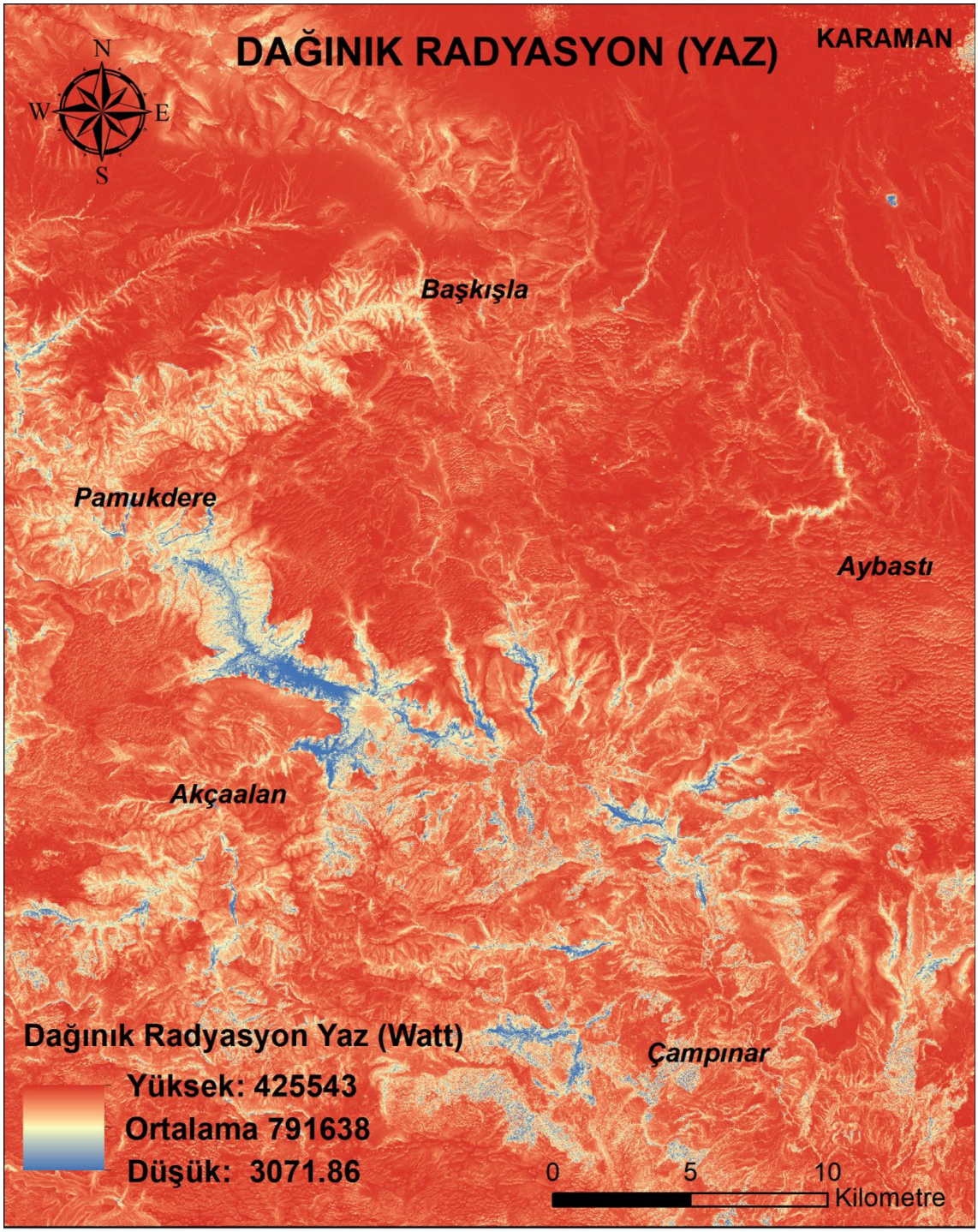
alındığından 0 olarak seçilmiştir. Yön sayısı parametresi ise 32 girilerek daha detaylı gölgelenme ve küresel güneş radyasyonu değerlerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Zenith ve azimuth bölümleme parametreleri ise 256 ile maksimum oranda seçilmiştir. Diffuse proportion ve transmittivity değerleri ise sırasıyla 0,3 ve 0,5 olarak belirlenmiştir. ASR modülü ayrıca küresel güneş radyasyonuna ek olarak dağınık ve doğrudan güneş radyasyonu dosyalarını da ayrıca isteğe bağlı olarak hesaplayabilmektedir. Bu çalışmada bu veriler ayrıca oluşturulmuştur. Şekil 4.31'de ASR ara yüzü ve belirlenen parametreler gösterilmektir.



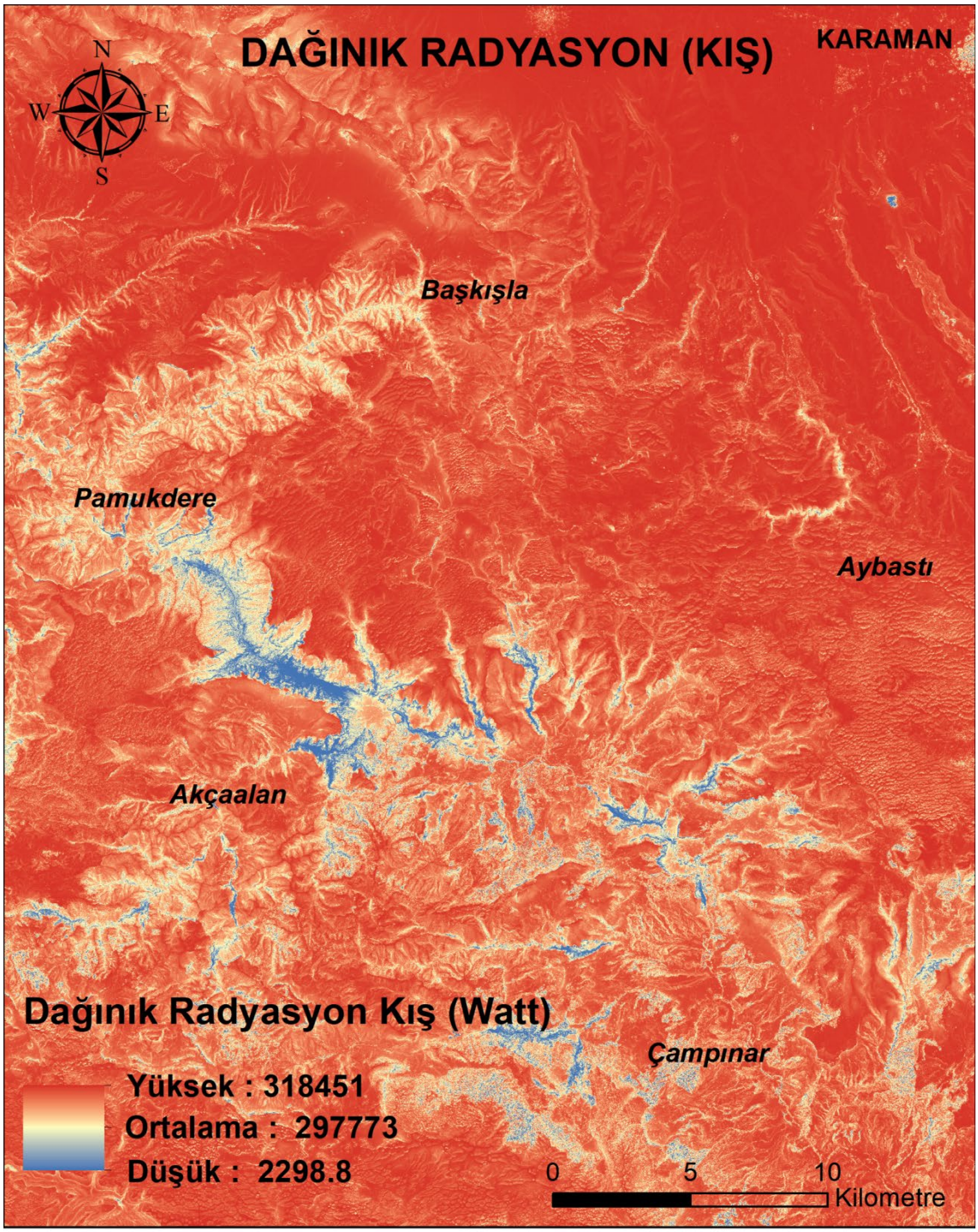
Şekil 4.31. ASR eklentisi parametre giriş arayüzü

Analiz sonucunda dağınık, doğrudan güneş radyasyonu verilerine ek olarak güneşlenme süresi verisi de üretilmiştir. Dağınık güneş radyasyonu verisi yaz ayı için maksimum yıllık 425.543 W/m^2 olarak belirlenmişken kış ayında bu değer 318.451 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Minimum değerler açısında yaz ayı yıllık 3.071,86 W/m^2 değerini verirken kış ayında minimum değer 0 olarak hesaplanmıştır. Yaz aylarında çalışma bölgesinin büyük çoğunluğu yüksek dağınık güneş radyasyonuna sahip iken, kış aylarında sadece yüksek dağlık alanların tepesi ve karlı alanların yüksek dağınık güneş radyasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir. Her iki mevsimde de gölgede kalan ve ağaçlık vadi içlerinin en düşük dağınık güneş radyasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir.

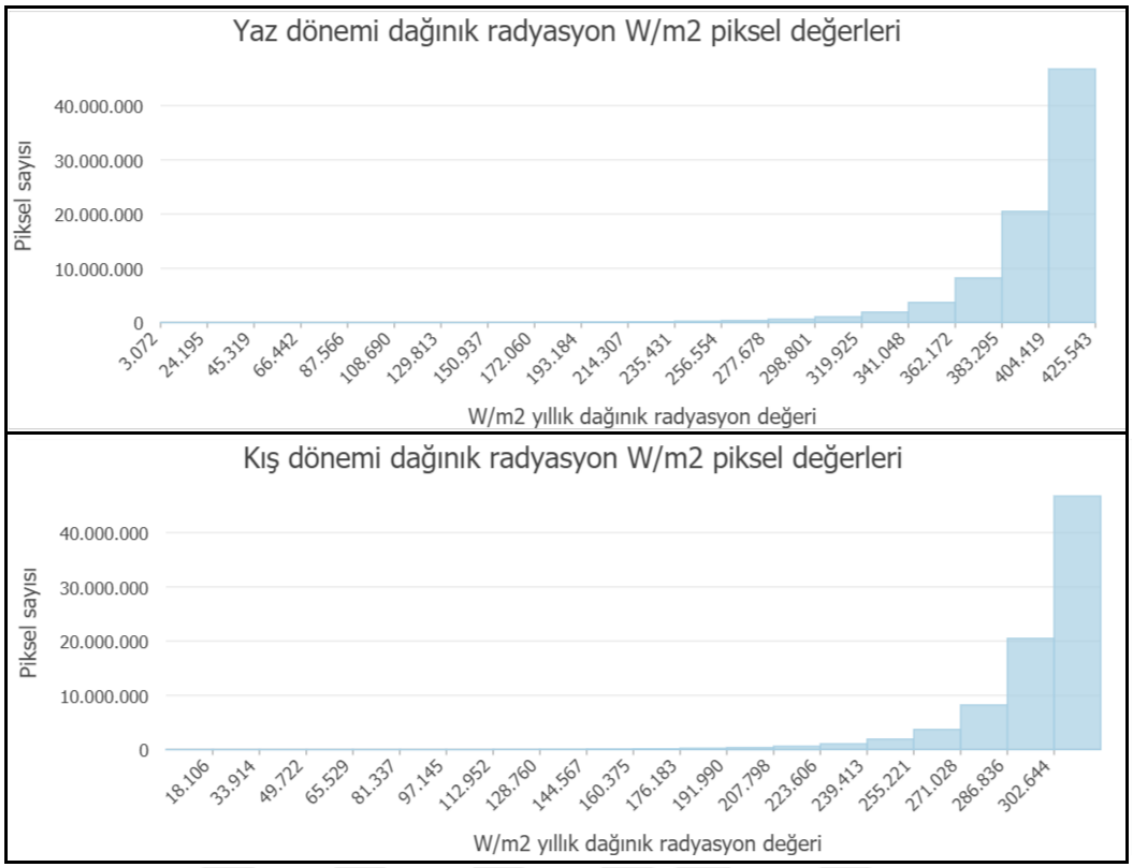
Şekil 4.32 ve 4.33'de yaz ve kış ayı için dağınık güneş radyasyonunu haritaları, Şekil 4.34'de ise dağınık radyasyon haritalarının radyasyon değerlerinin histogramı verilmektedir.



Şekil 4.32. Dağınık radyasyon yaz dönemi verisi

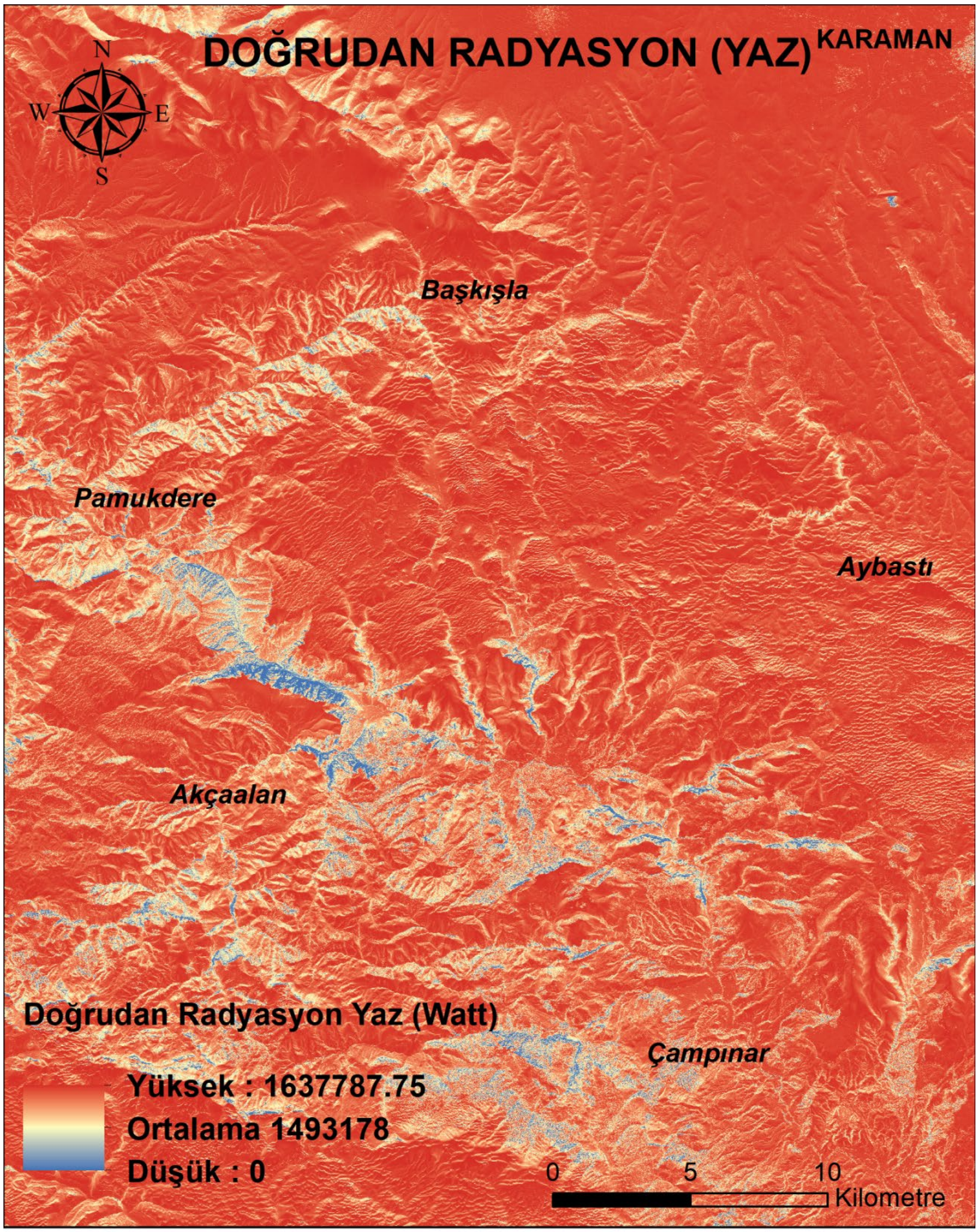


Şekil 4.33. Dağınık radyasyon kış dönemi verisi

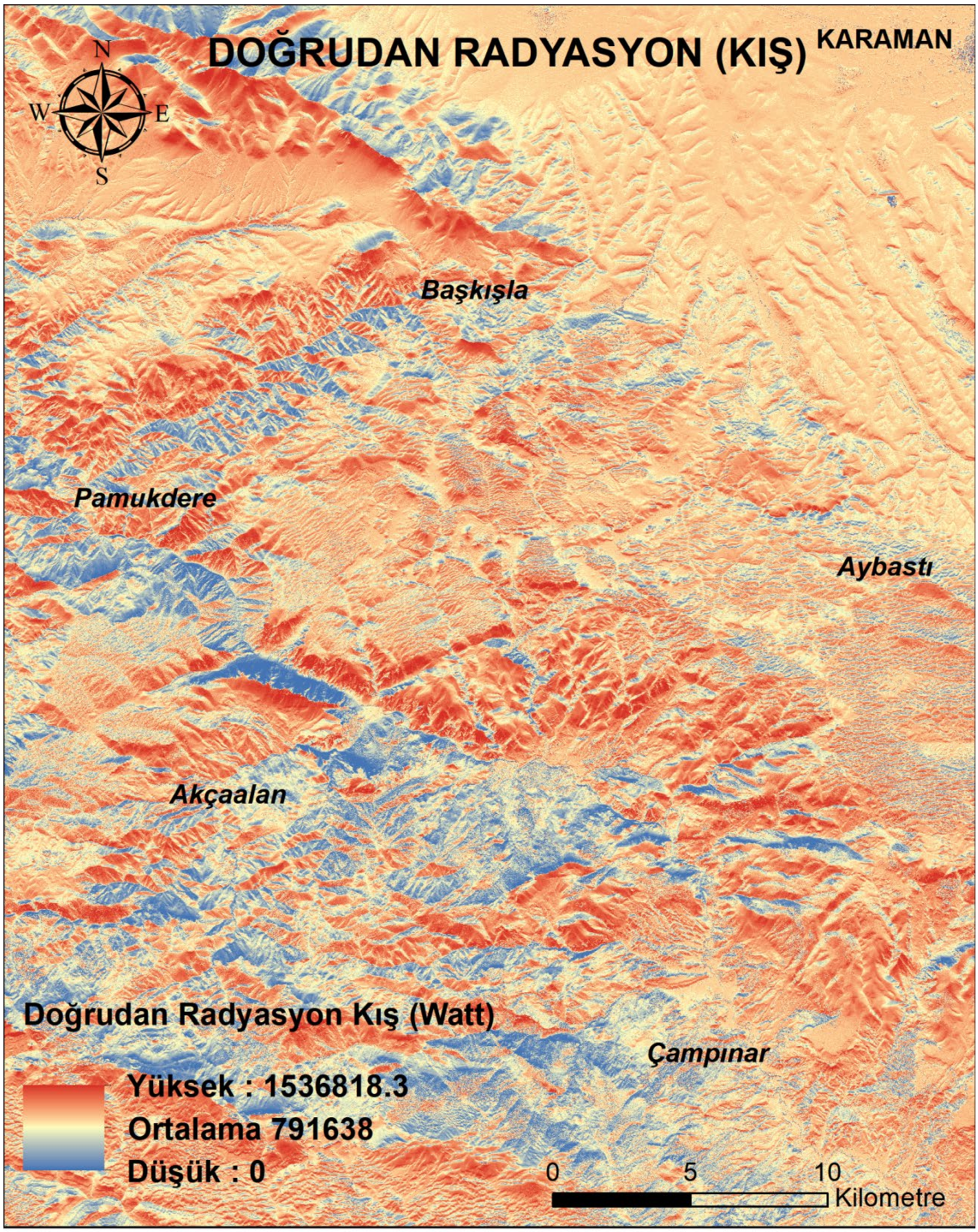


Şekil 4.34. Piksellerin dağınık radyasyon yaz ve kış dönemi yıllık W/m^2 radyasyon değerleri

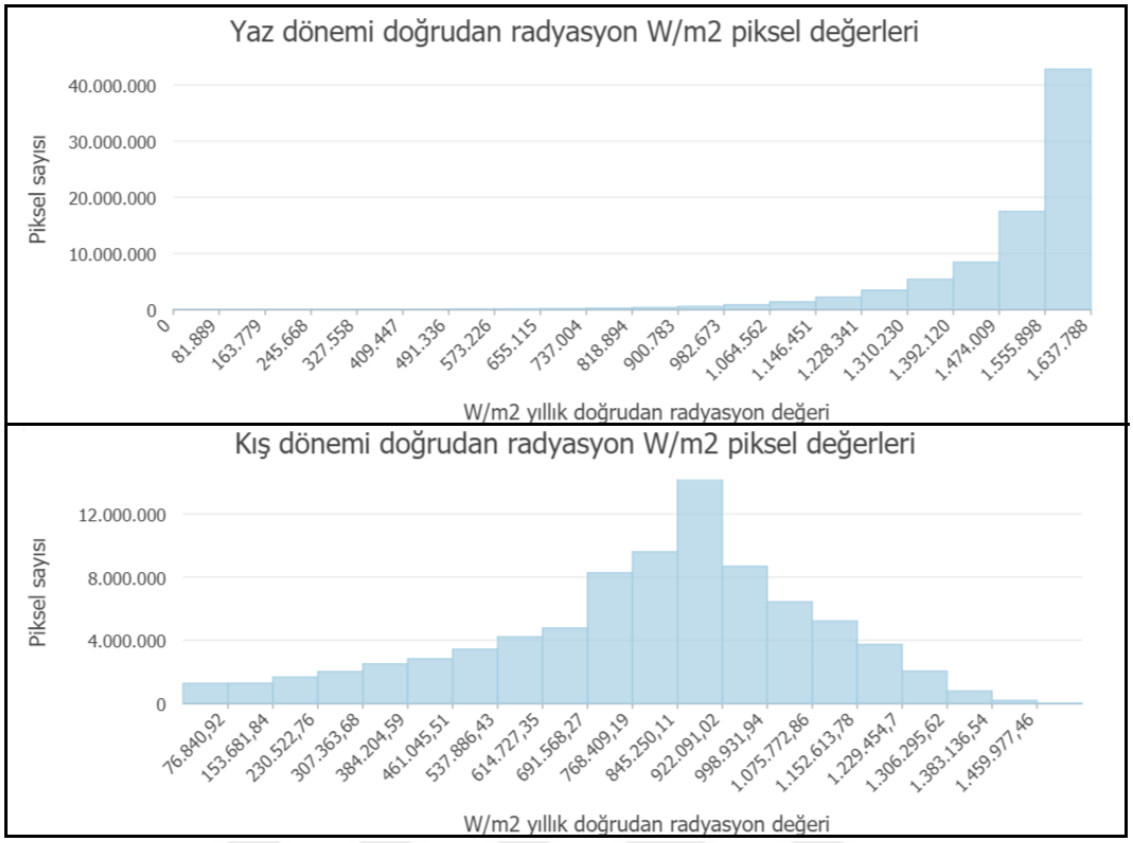
Doğrudan güneş radyasyonu verileri incelendiğinde yaz ayı için çalışma bölgesinin çok büyük çoğunluğunun yüksek doğrudan güneş radyasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir. Sadece gölgede kalan vadi içleri ve dağ yamaçları düşük değere sahip olurken, maksimum 1.637.787 W/km^2 ve minimum 0 W/km^2 değeri hesaplanmıştır. Kış ayı için ise maksimum 1.536.817 W/km^2 ve minimum 0 W/km^2 doğrudan güneş radyasyonu değerleri elde edilmiştir. Dağınık güneş radyasyonuna benzer olarak dağlık alanların tepe noktaları ile karlı alanların en çok doğrudan güneş radyasyonu değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.35 ve 4.36'da yaz ve kış ayı için doğrudan güneş radyasyonunu haritaları, Şekil 4.37'de ise doğrudan radyasyon haritalarının radyasyon değerlerinin histogramı verilmektedir.



Şekil 4.35. Doğrudan radyasyon yaz dönemi verisi ve histogramı

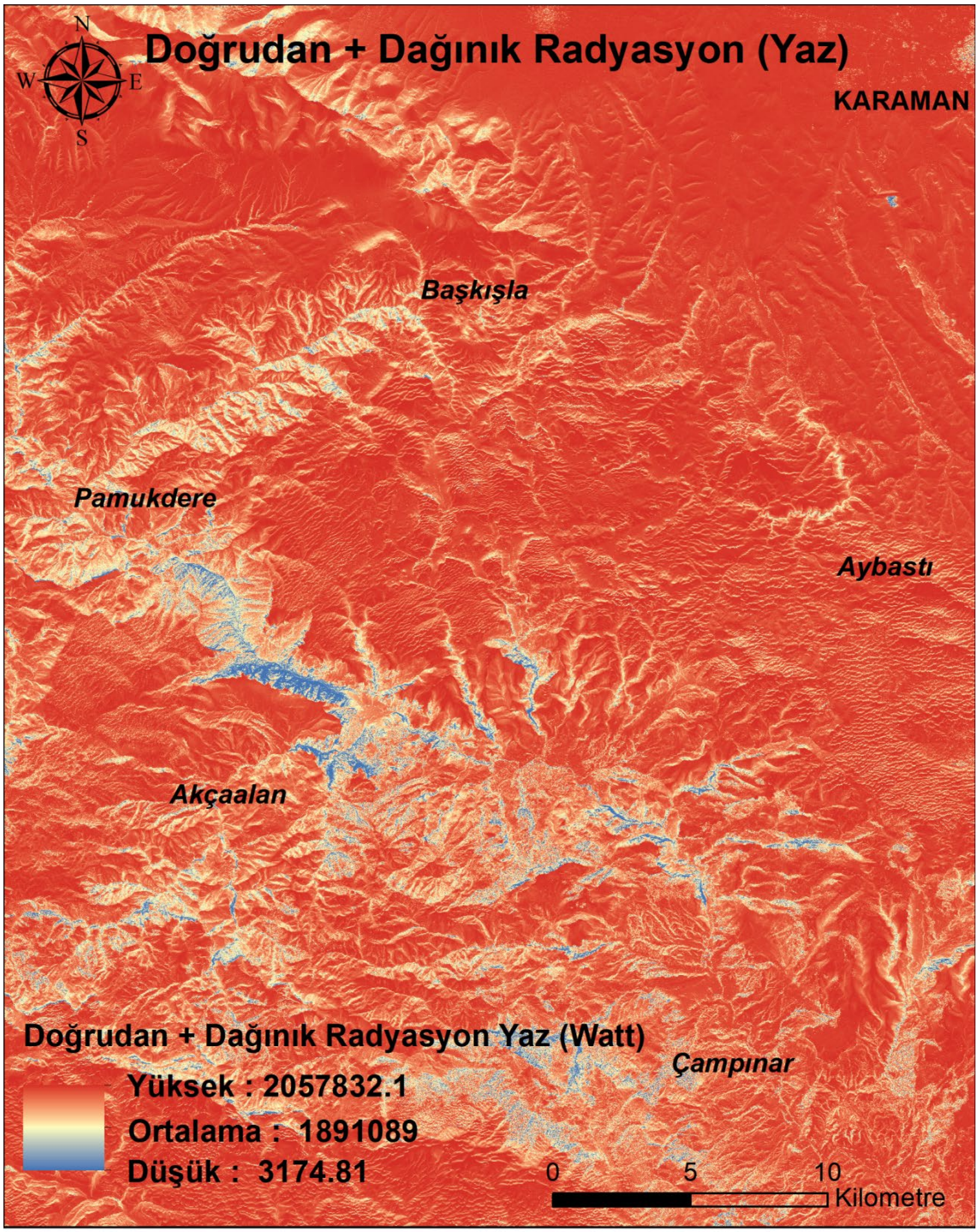


Şekil 4.36. Doğrudan radyasyon kış dönemi verisi

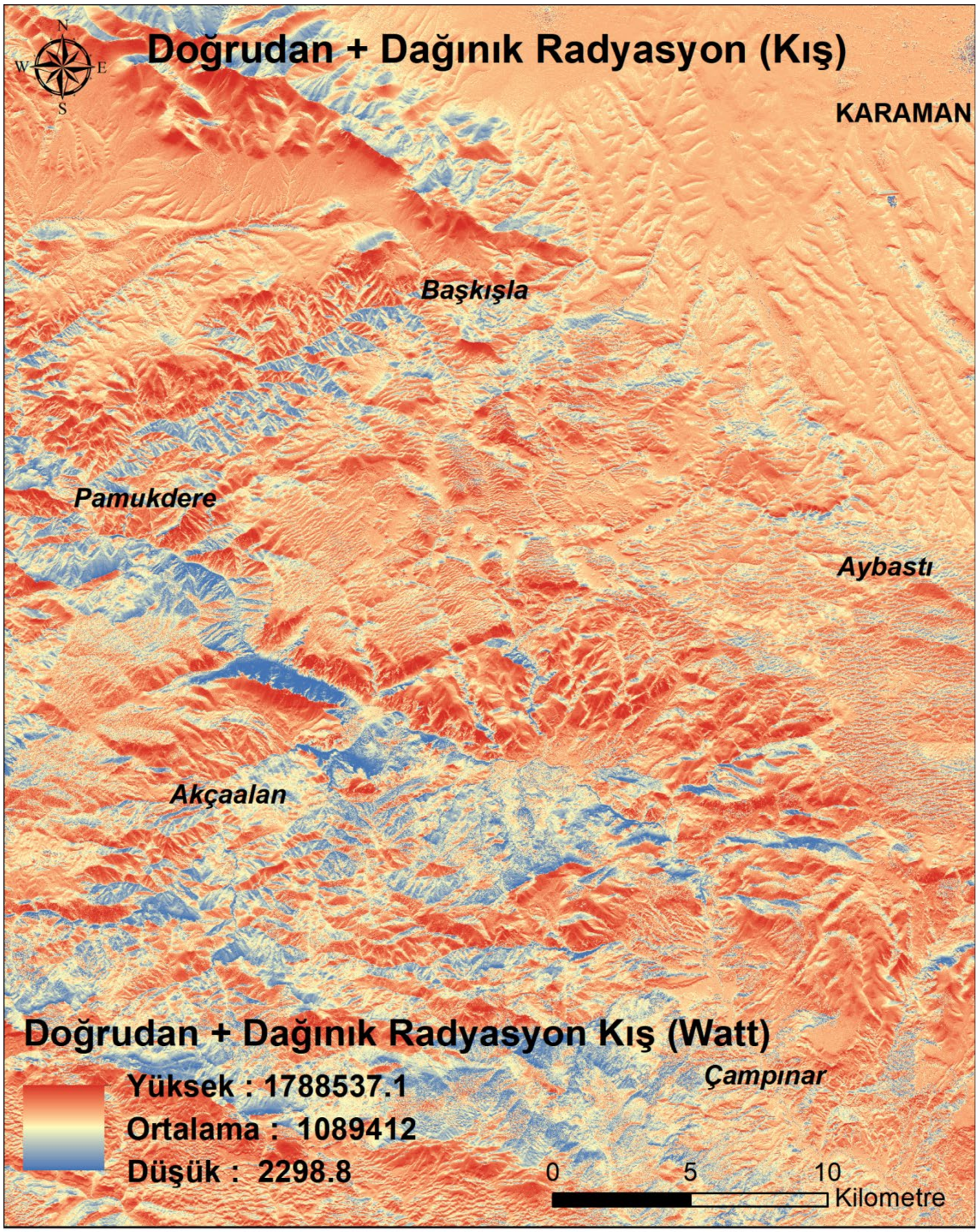


Şekil 4.37. Piksellerin doğrudan radyasyon yaz ve kış dönemi yıllık radyasyon değerleri

Güneş radyasyon haritaları oluşturulurken doğrudan ve dağınık radyasyon değerleri toplanarak toplam radyasyon değeri bulunmaktadır. Şekil 4.38 ve 4.39'da yaz ve kış ayı için doğrudan ve dağınık güneş radyasyonun toplam haritaları, Şekil 4.40'da ise bu radyasyon haritalarının radyasyon değerlerinin histogramı verilmektedir.



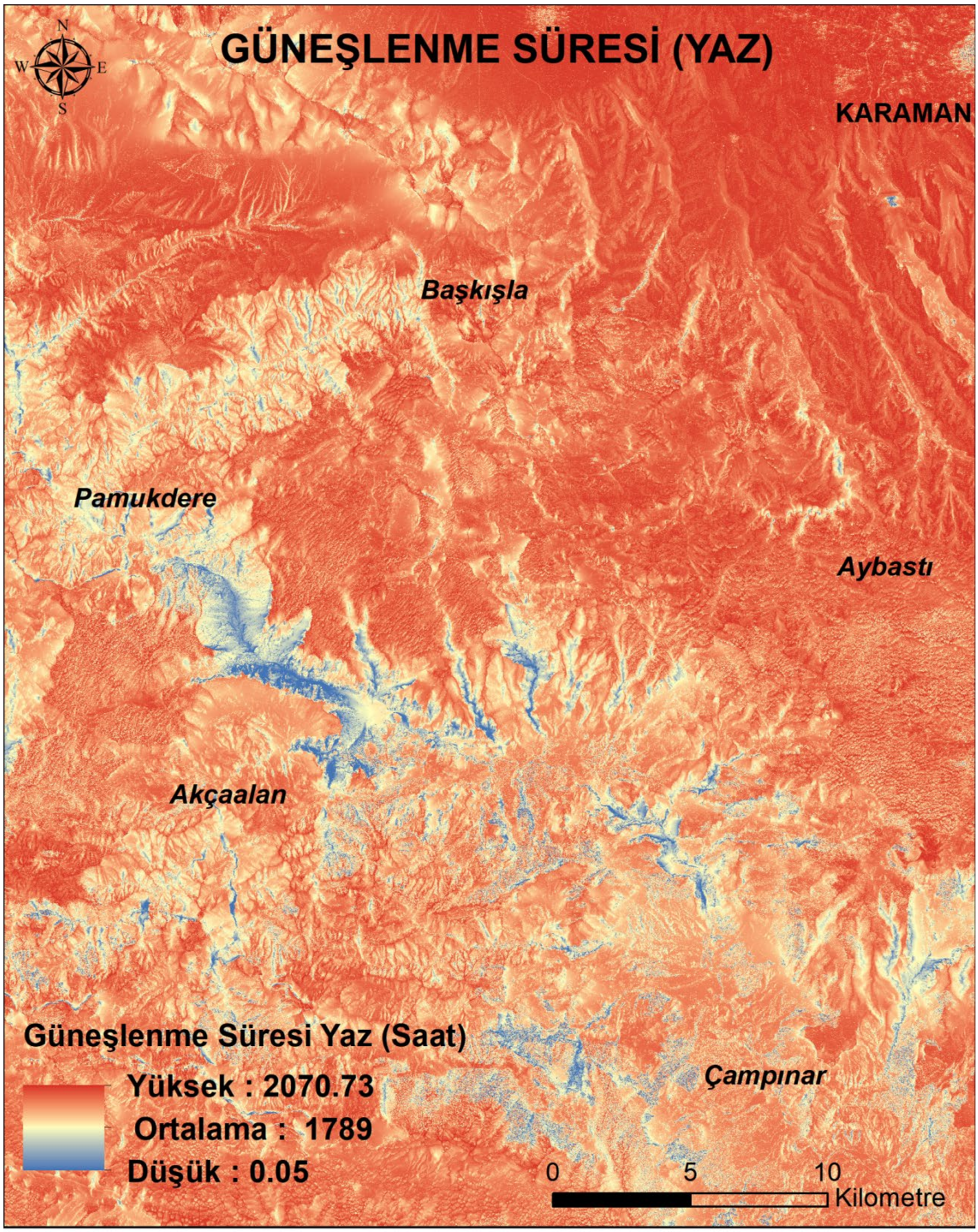
Şekil 4.38. Doğrudan+dağınık radyasyon yaz dönemi verisi



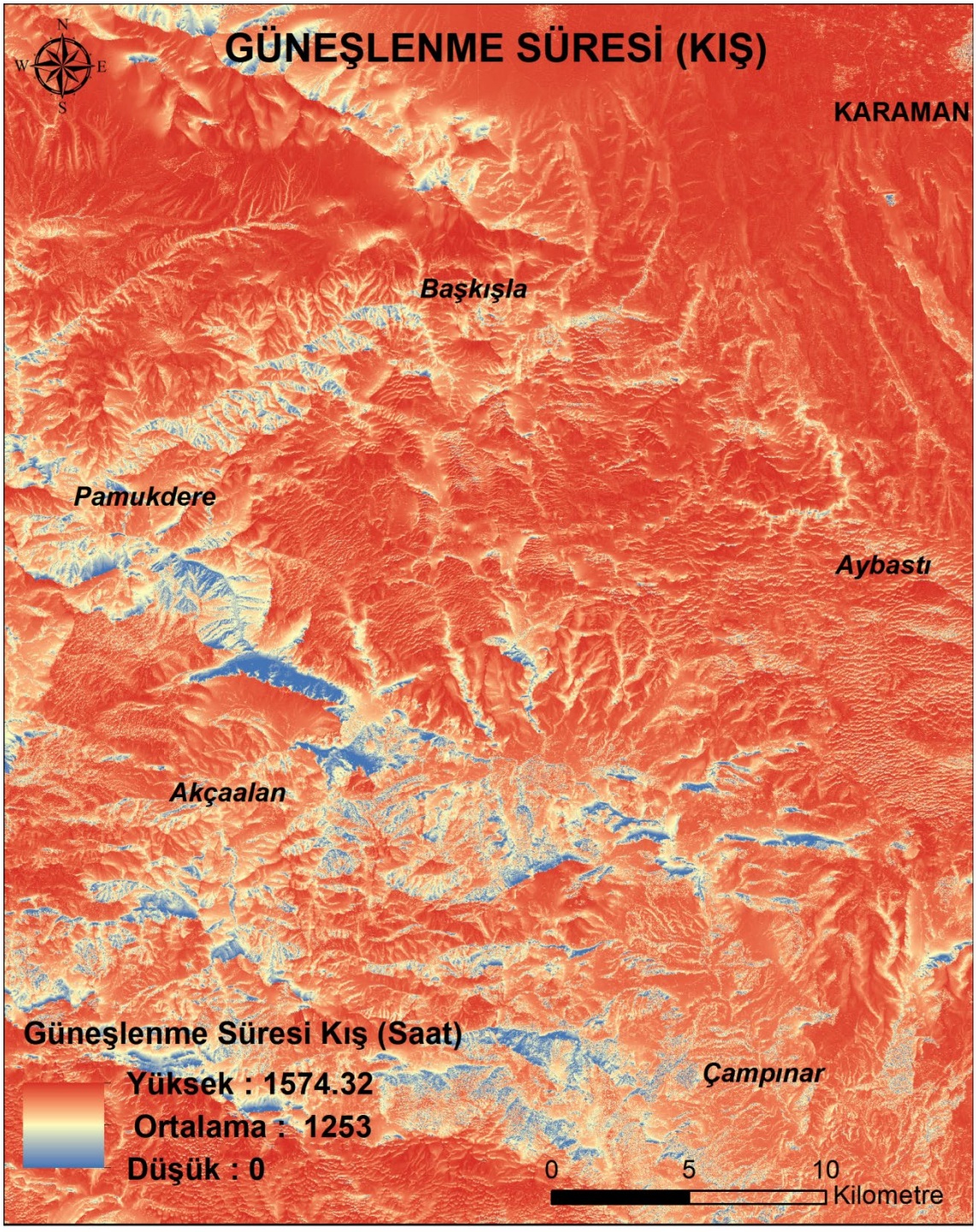
Şekil 4.39. Doğrudan+dağınık radyasyon kış dönemi verisi

Şekil 4.40. Piksellerin doğrudan+dağınık radyasyon yaz ve kış dönemi yıllık radyasyon değerleri

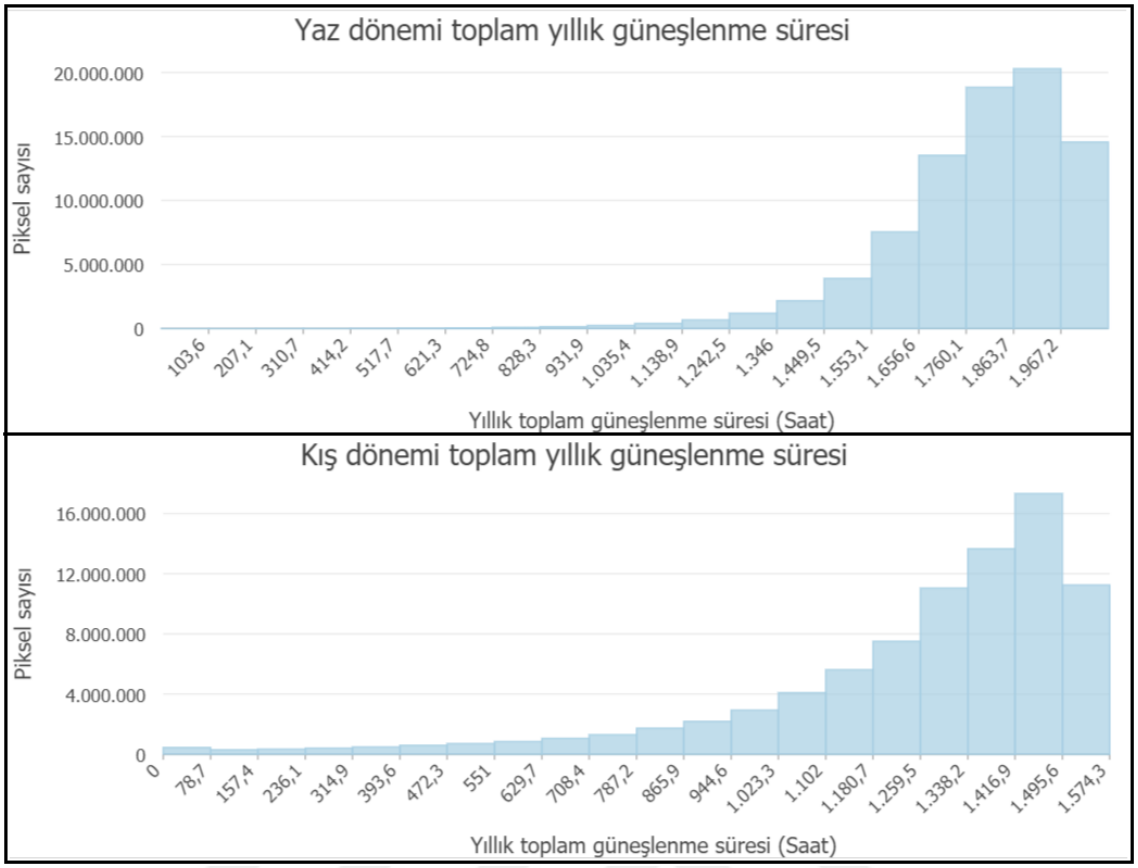
Güneşlenme süresi verisi, yaz ve kış ayı için bir yılda her bir pikselin alacağı güneşin toplam saatini vermektedir. Yaz ayı için maksimum 2.070,73 saat/yıl değeri elde edilirken, bölgede hiç güneş görmeyen derin vadilerin tabanında bu değerin 0 olduğu görülmektedir. Kış aylarında ise güneşlenme süresi, maksimum 1.574,32 saat/yıl değerine düşmektedir. Her iki veride birbirine oldukça yakın olup, güneşlenme süreleri mevsimlerdeki günlerin uzunluk ve kısalık oranı nedeniyle değiştiği görülmektedir. Şekil 4.41 ve 4.42'de yaz ve kış ayı için doğrudan güneşlenme süresi haritaları, Şekil 4.43'de ise doğrudan güneşlenme süresi değerlerinin histogramı verilmektedir.



Şekil 4.41. Doğrudan güneşlenme süresi yaz dönemi verisi



Şekil 4.42. Doğrudan güneşlenme süresi kış dönemi verisi



Şekil 4.43. Yaz ve kış dönemi yıllık toplam saatlik güneşlenme süreleri

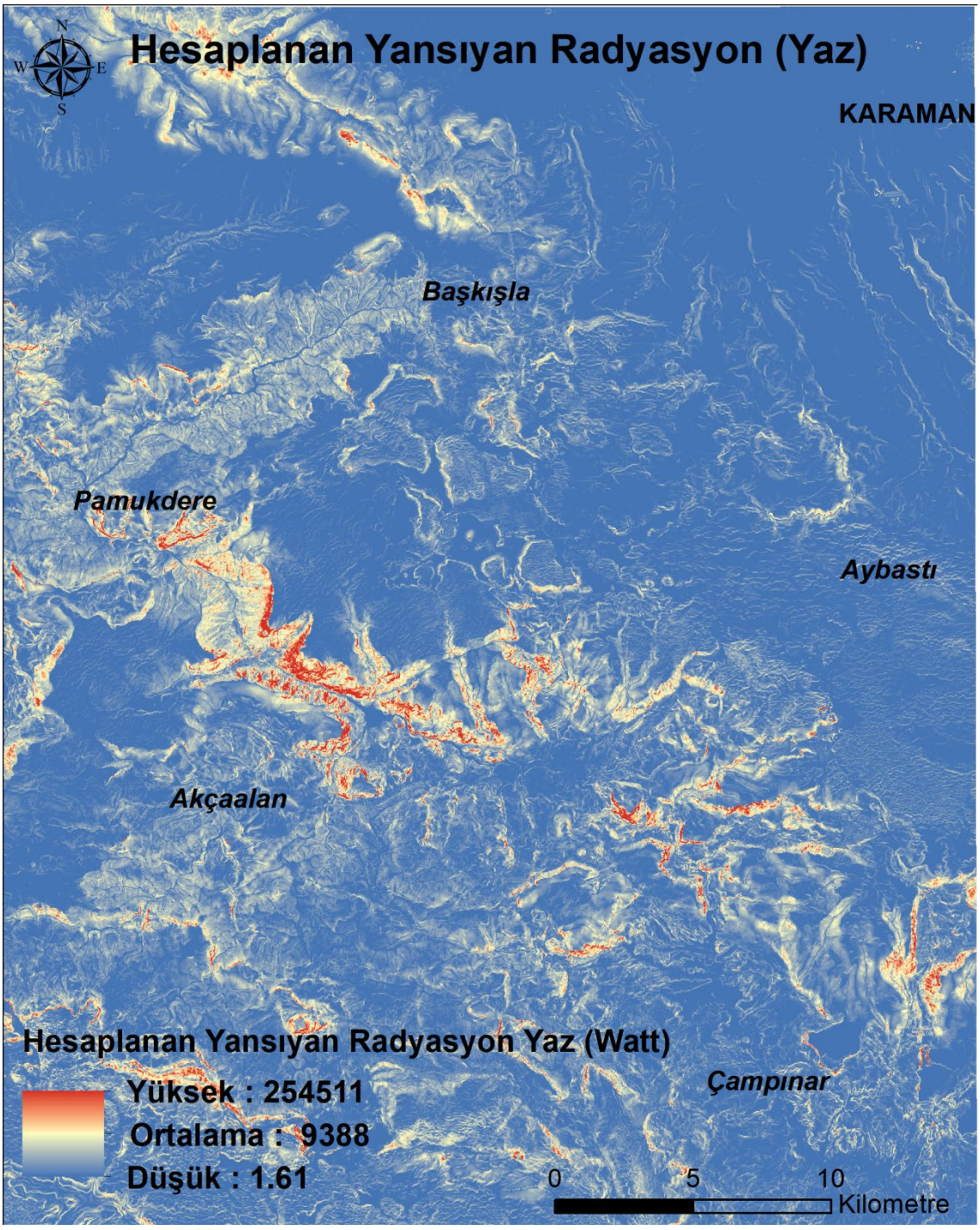
4.8. Çalışma Alanının Albedo Etkisi Hesaplanmış Yansıyan Radyasyon Değerleri ile Küresel Güneş Radyasyonunun Belirlenmesi

Yansıtılan radyasyon değerleri, arazi özellikleri ve eğimlerden dolayı gölgelemeden etkilenir. Bu nedenle, yatay olarak değerlendirilen albedo, arazi yüzeyi ile farklılık gösterebilir. Bu varyasyonu ele almak için, albedo değerlerine eğim düzeltme formülü (Eşitlik 4.3) uygulanmıştır.

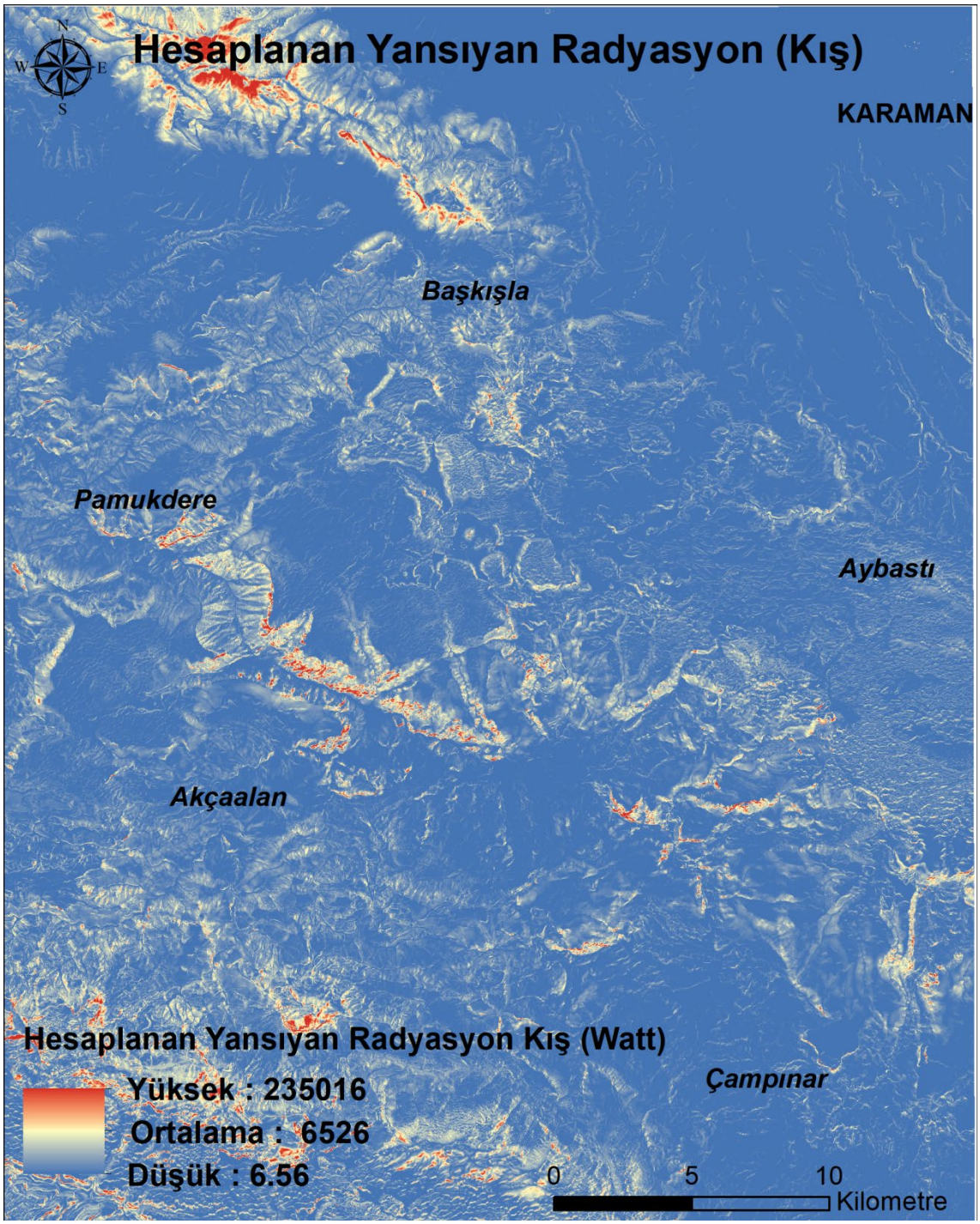
$$\text{Albedo} * (\sin\ (slope\ aim) * \frac{(\frac{\pi}{180})}{2})^2 * \text{Total Radiation} \qquad (4.3)$$

Formülde, SYM haritasından elde edilen eğim açısı değerleri eğim yüzdelerine dönüştürülmüş ve her pikselin albedo değeri ile çarpılmıştır. Böylece, eğim etkisi için düzeltilmiş albedo değeri her piksel için hesaplanmıştır. Bu düzeltilmiş değer bir çarpan olarak işlev gördüğünden, toplam radyasyon verisi ile çarpıldığında üç boyutlu yüzeyler için toplam güneş radyasyonu elde edilmiştir. Bu yaklaşım, bölge için daha doğru ve

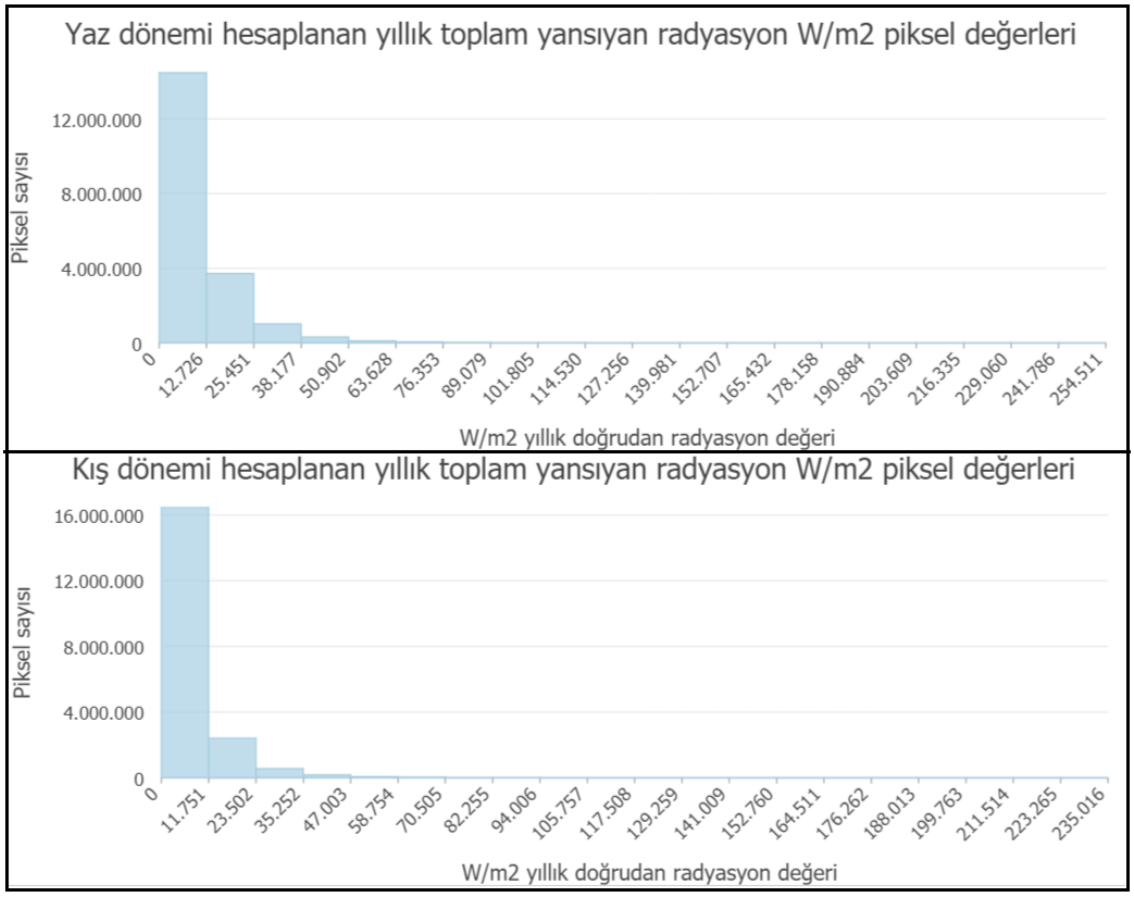
gerçekçi güneş radyasyonu verileri sağlamakta ve küresel ile yatay radyasyon verilerinden daha doğru sonuçlar vermektedir. Şekil 4.44 ve 4.45'de yaz ve kış ayları için hesaplanan eğim düzeltilmiş albedo değerleri kullanılarak elde edilen toplam radyasyon değerlerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre yaz mevsimi için maksimum 254.511 KW/m^2 değeri elde edilirken, kış ayında 235.016 KW/m^2 değeri elde edilmiştir. Vadi içleri en düşük toplam güneş radyasyonuna sahip olurken, açık alanlar ve albedosu yüksek bölgeler en yüksek toplam güneş radyasyonu değerine sahip olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.44 ve 4.45'de yaz ve kış ayları için elde edilen toplam güneş radyasyonu verileri, Şekil 4.46'da ise doğrudan güneşlenme süresi değerlerinin histogramı gösterilmektedir.



Şekil 4.44. Albedo etkili yansıyan radyasyon yaz dönemi verisi

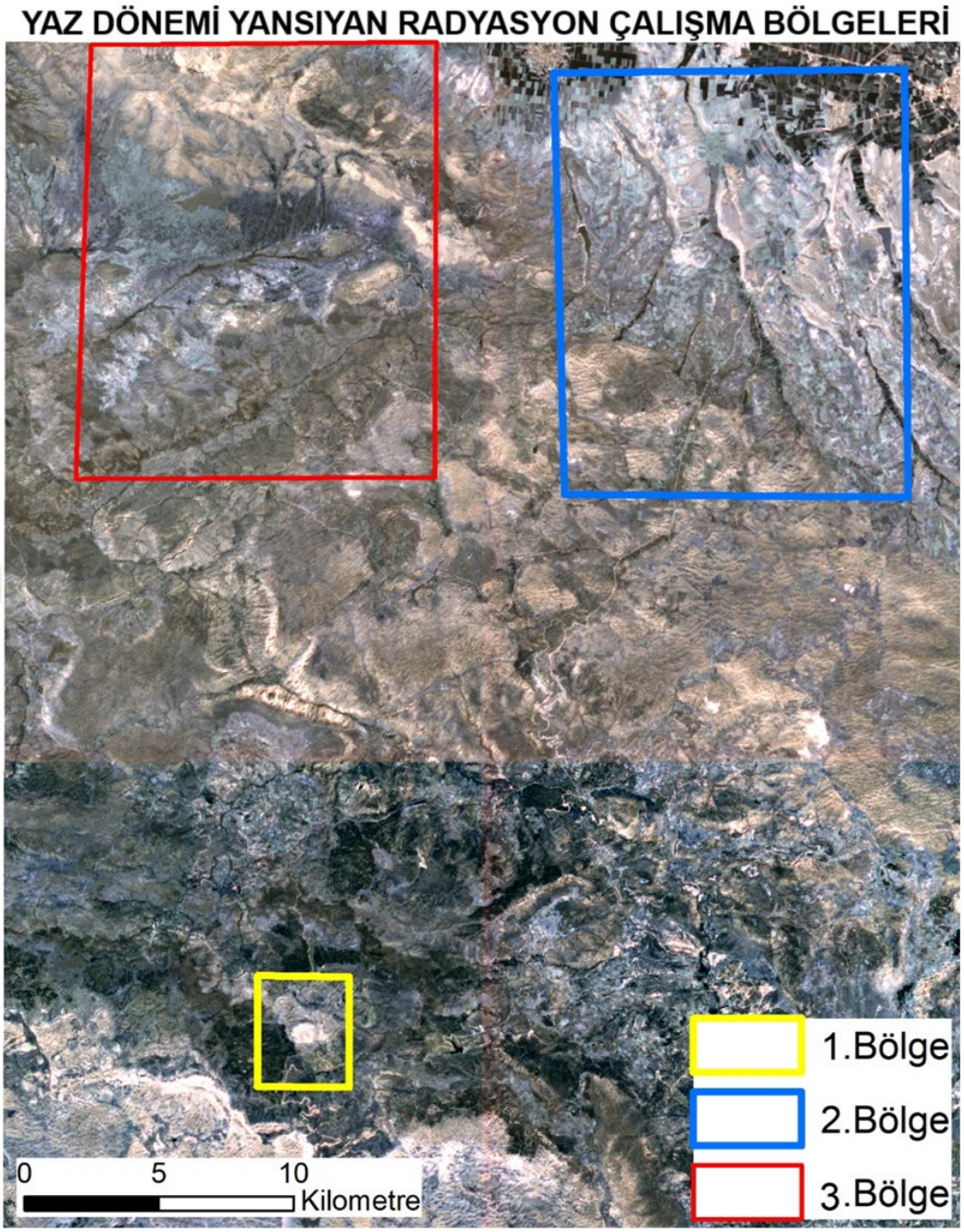


Şekil 4.45. Albedo etkili yansıyan radyasyon kış dönemi verisi



Şekil 4.46. Piksellerin hesaplanan yansıyan radyasyonu yaz ve kış dönemi yıllık değerleri

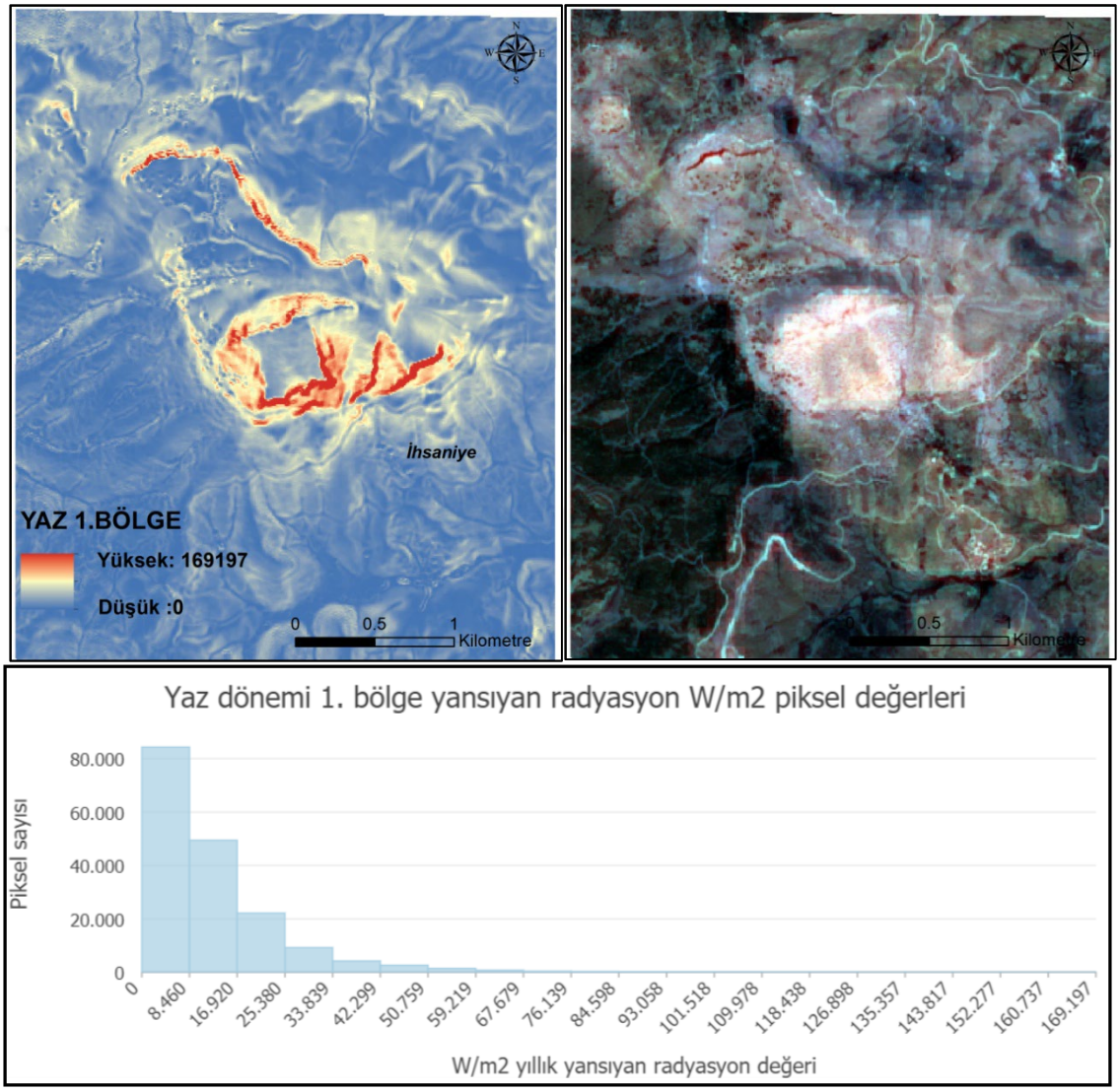
Eğim etkisi hesaplanmış yansıyan güneş radyasyon verilerinin sonucunun belirlenmesi için yaz ve kış dönemine ait 3 farklı bölge seçilerek sonuçlar incelenmiştir. Toplam güneş radyasyonunun eğim ile ilişkisini ortaya koymak için eğimli bölgeler seçilmiştir. Yaz Döneminde Şekil 4.47'de gösterilen bölgeler kullanılmıştır.



Şekil 4.47. Piksellerin Yaz Dönemi hesaplanan yansıyan radyasyonu çalışma alanı bölgeleri

Yaz dönemi için seçilen 1. Bölge bir dağ tepesinin bulunduğu bir bölgeyi kapsamaktadır. Dağın bir yamacı ormanlık ve gölgede iken bir kısmı çıplak arazi olup parlak bir yüzeye sahiptir. Elde edilen albedo verisi incelendiğinde dağın güneşe bakan ve güneşlenme süresi en uzun olan bölgesinin toplam güneş radyasyonunun en fazla olduğu bölge olduğu belirlenmiştir. Hem gölgede kalan hem de eğimli olan bölgelerde ise albedo değeri çok düşük olarak hesaplanmıştır. Ayrıca eğim etkisi hesaplanmamış albedo verilerinde yollar ortalamadan yüksek albedo değerine sahip olarak

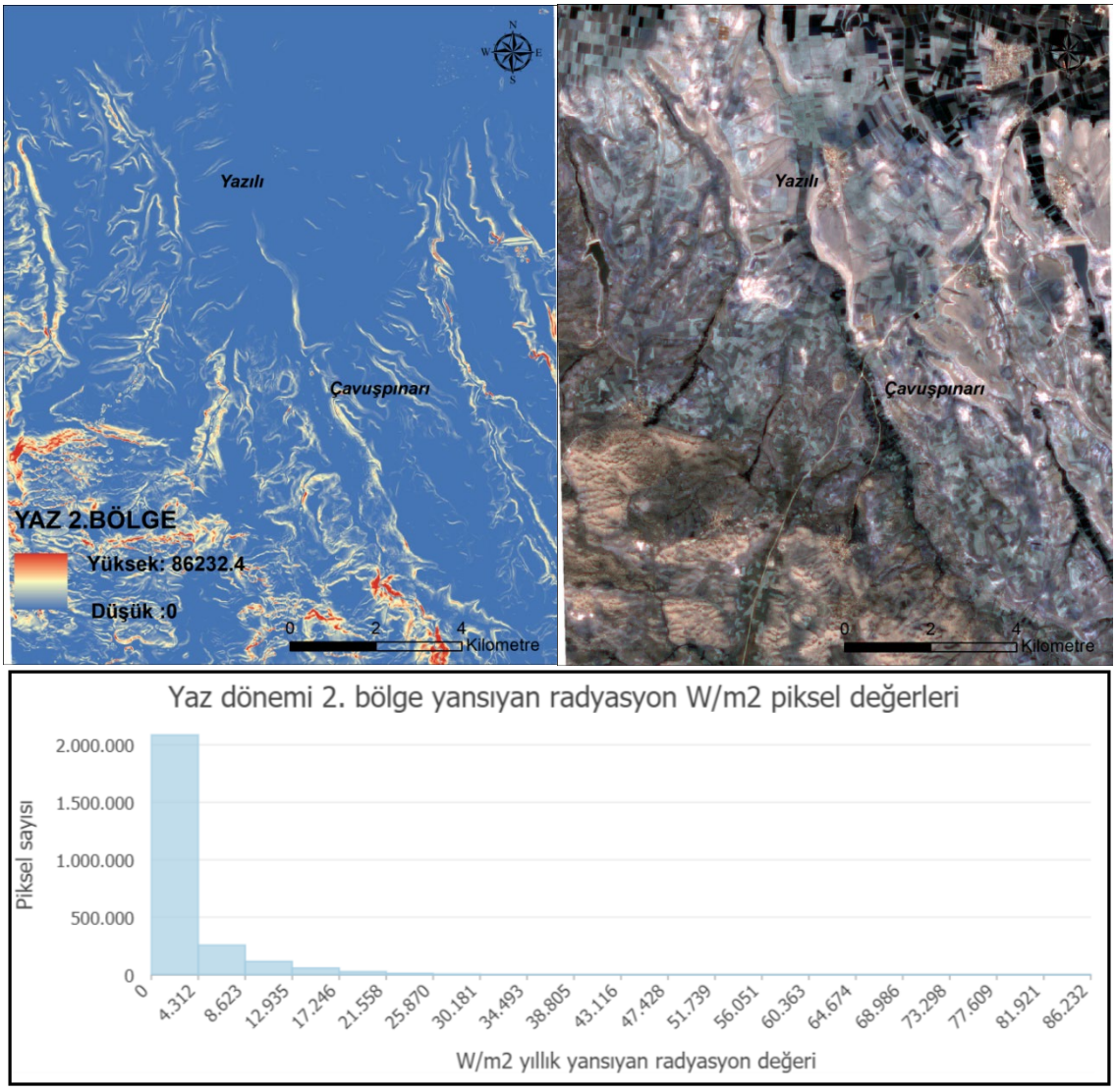
hesaplanmışken, eğim etkisi nedeniyle ve yolların eğimli bölgelerde kalması nedeniyle çok daha düşük bir albedo değerine sahip olmuşlardır. Bunun en büyük nedeni ise eğim etkisi ile güneşlenme süresinin azalması ve dolayısıyla toplam güneş radyasyonu değerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.48'de görüldüğü üzere ormanlık yolların güneş radyasyonu değeri oldukça düşük hesaplandığından raster veri üzerinde yolların ayırt edilmesi oldukça zorlaşmıştır.



Şekil 4.48. Yaz dönemi 1. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı

Yaz dönemi için seçilen 2. Bölge ise düz eğimin az olduğu tarım arazileridir. Güney-batı kısmında tepelik kısımlar bulunmakla beraber genel itibariye düz ve az eğimli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle dağın tepe noktasında elde edilen toplam güneş radyasyonu verisi ile düz alanlarda farklılık göstermektedir. Güneşlenme süresinin ve

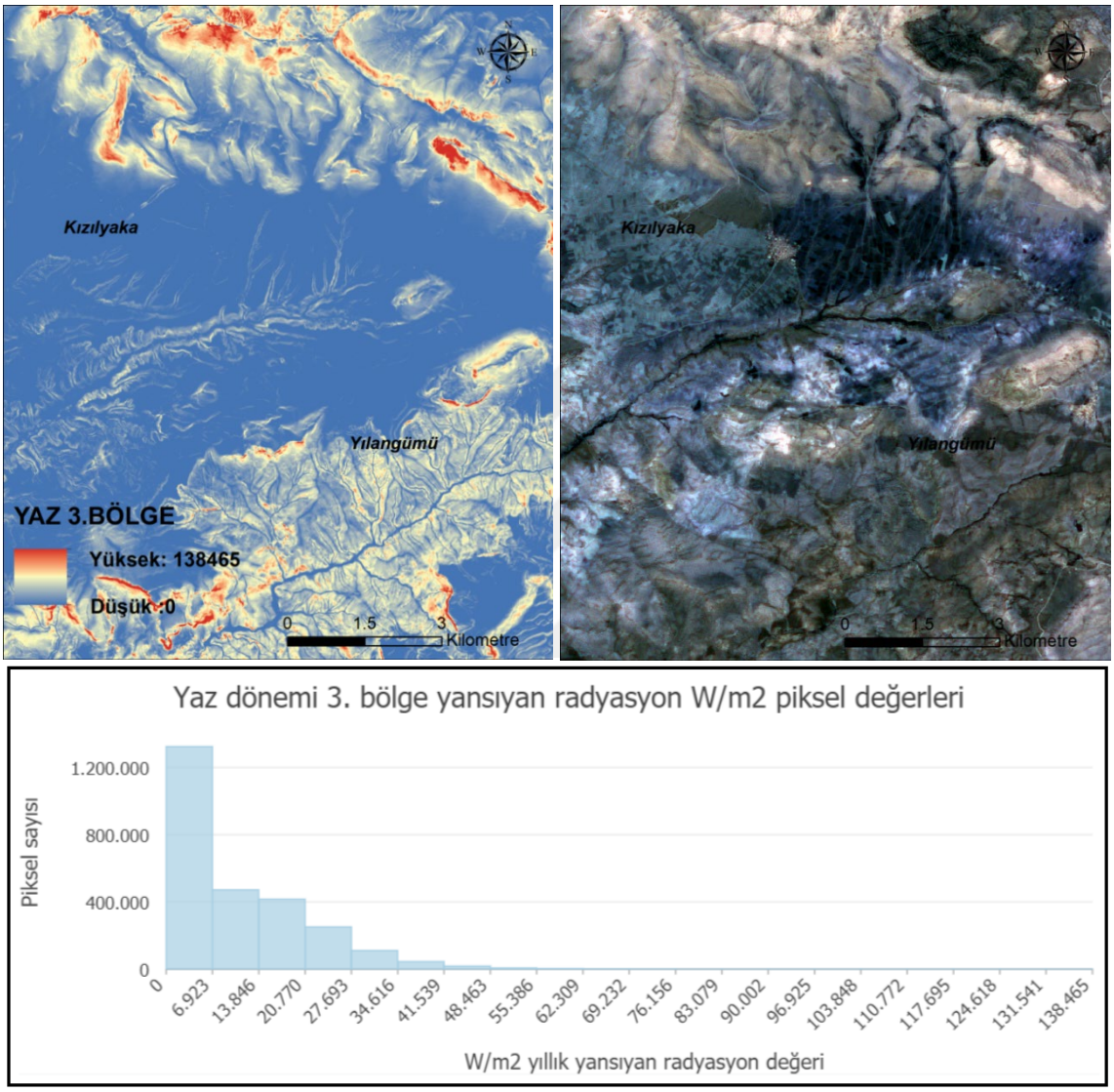
eğimin fazla olduğu bölgeler en yüksek yansıyan güneş radyasyonu değerine sahip olurken diğer düzlük olan kısımları ise düşük bir yansıyan güneş radyasyonu verisine sahip olmuşlardır. Yine dağlık bölgenin nispeten daha düz olan kısımları incelendiğinde eğim etkisinde dolayı yansıyan güneş radyasyonunun farklılık gösterdiği ve eğim noktalarında çok daha fazla değere sahip oldukları belirlenmiştir. Şekil 4.49'de belirlenen 2. Bölgeye ait yansıyan güneş radyasyonu ve SENTINEL görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.49. Yaz dönemi 2. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı

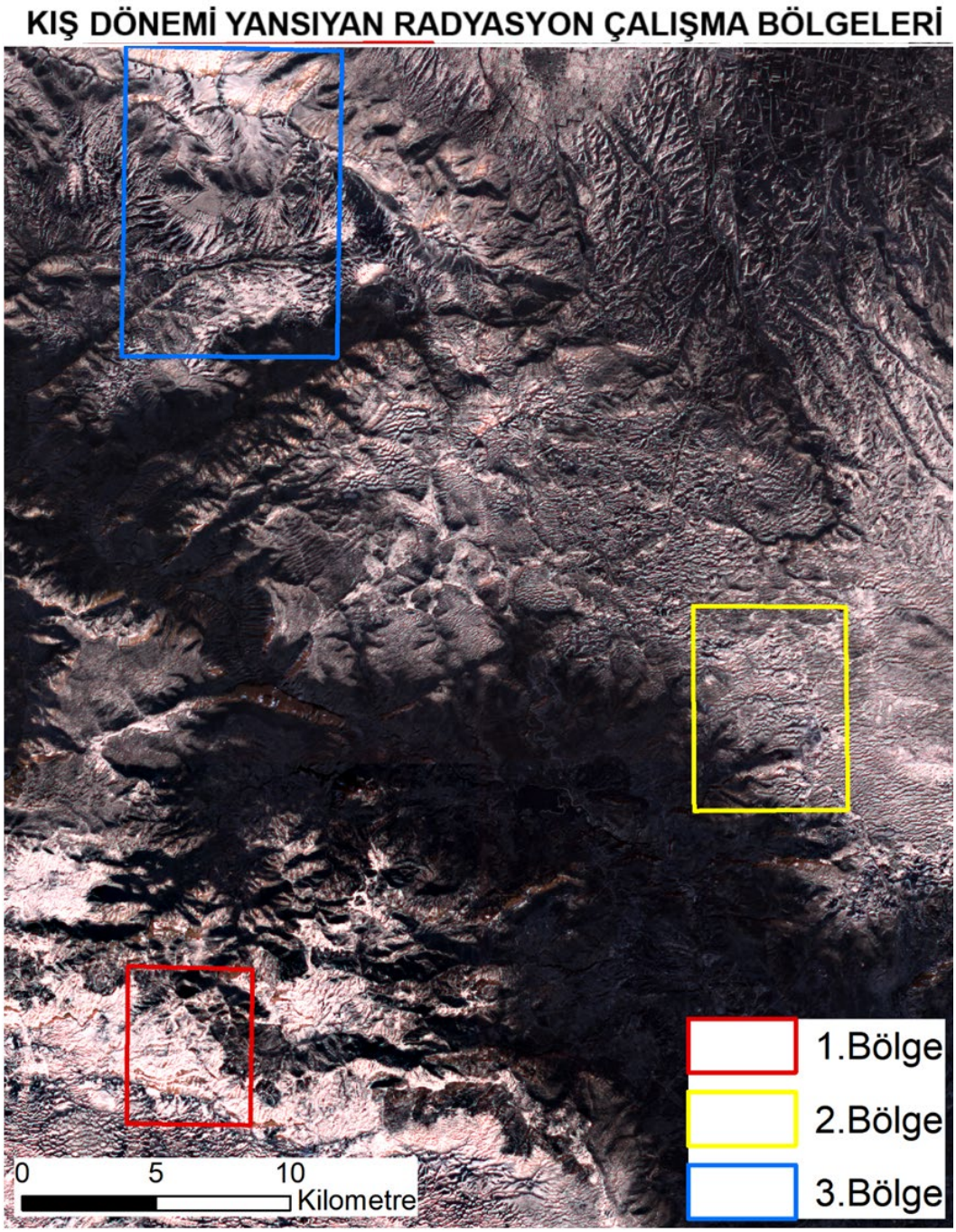
Yaz dönemi için seçilen 3. Bölge ise eğimli bir kısım seçilmiştir. Güney ve kuzey kısımlarında tepelik kısımlar bulunmaktadır. Güneşlenme süresinin ve eğimin fazla olduğu bölgeler en yüksek yansıyan güneş radyasyonu değerine sahip olurken diğer düzlük olan kısımları ise düşük bir yansıyan güneş radyasyonu verisine sahip

olmuşlardır. Yine dağlık bölgenin güney cepheye bakan eğimli kısımları incelendiğinde yansıyan güneş radyasyonunun en yüksek değere sahip oldukları belirlenmiştir. Şekil 4.50'de belirlenen yaz dönemi 3.bölgeye ait yansıyan güneş radyasyonu ve SENTINEL görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.50. Yaz dönemi 3. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı

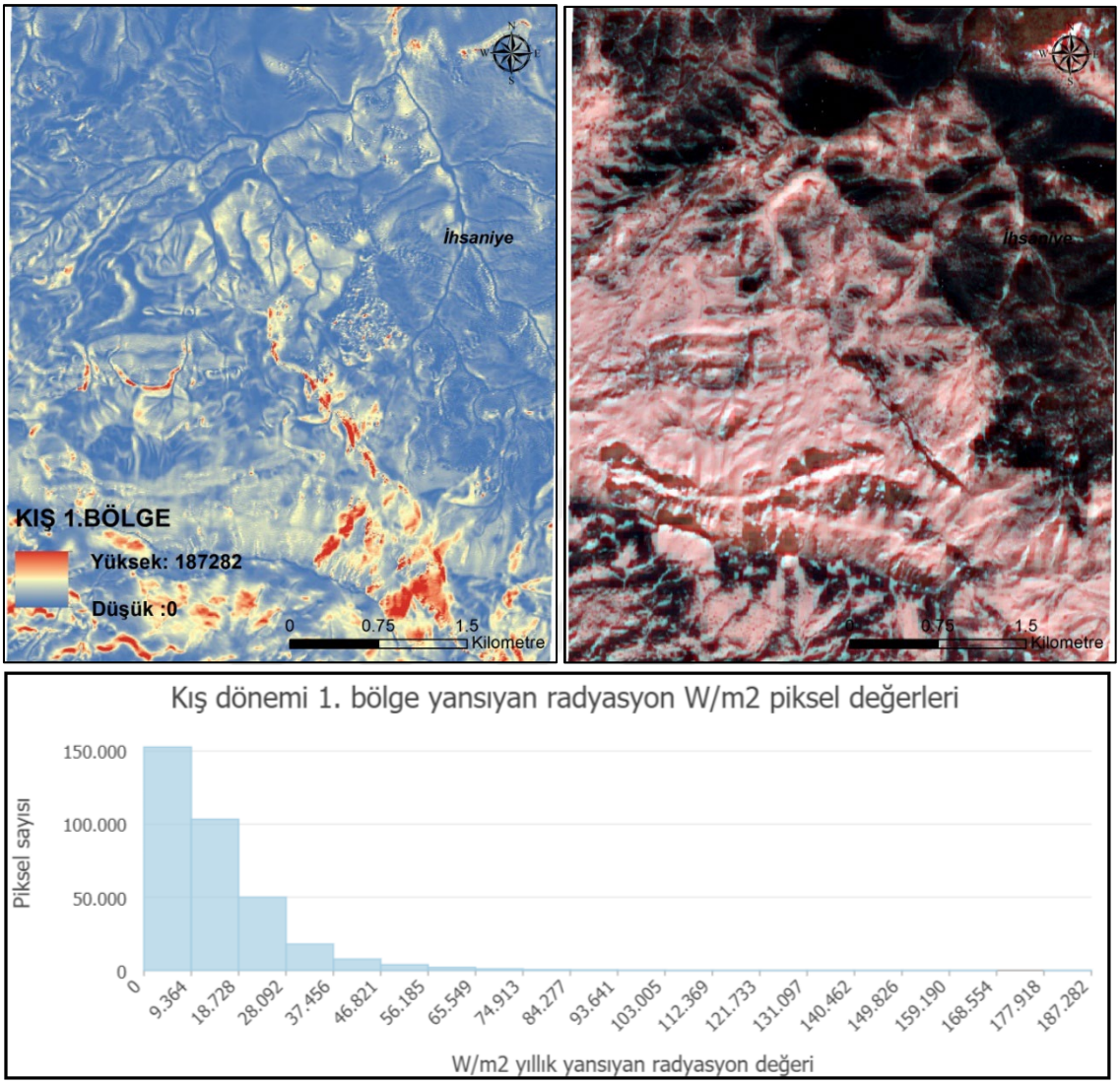
Kış dönemine ait 3 farklı bölge seçilerek sonuçlar incelenmiştir. Toplam güneş radyasyonunun eğim ile ilişkisini ortaya koymak için eğimli bölgeler seçilmiştir. Yaz Döneminde Şekil 4.51'de gösterilen bölgeler kullanılmıştır.



Şekil 4.51. Piksellerin Kış Dönemi hesaplanan yansıyan radyasyonu çalışma alanı bölgeleri

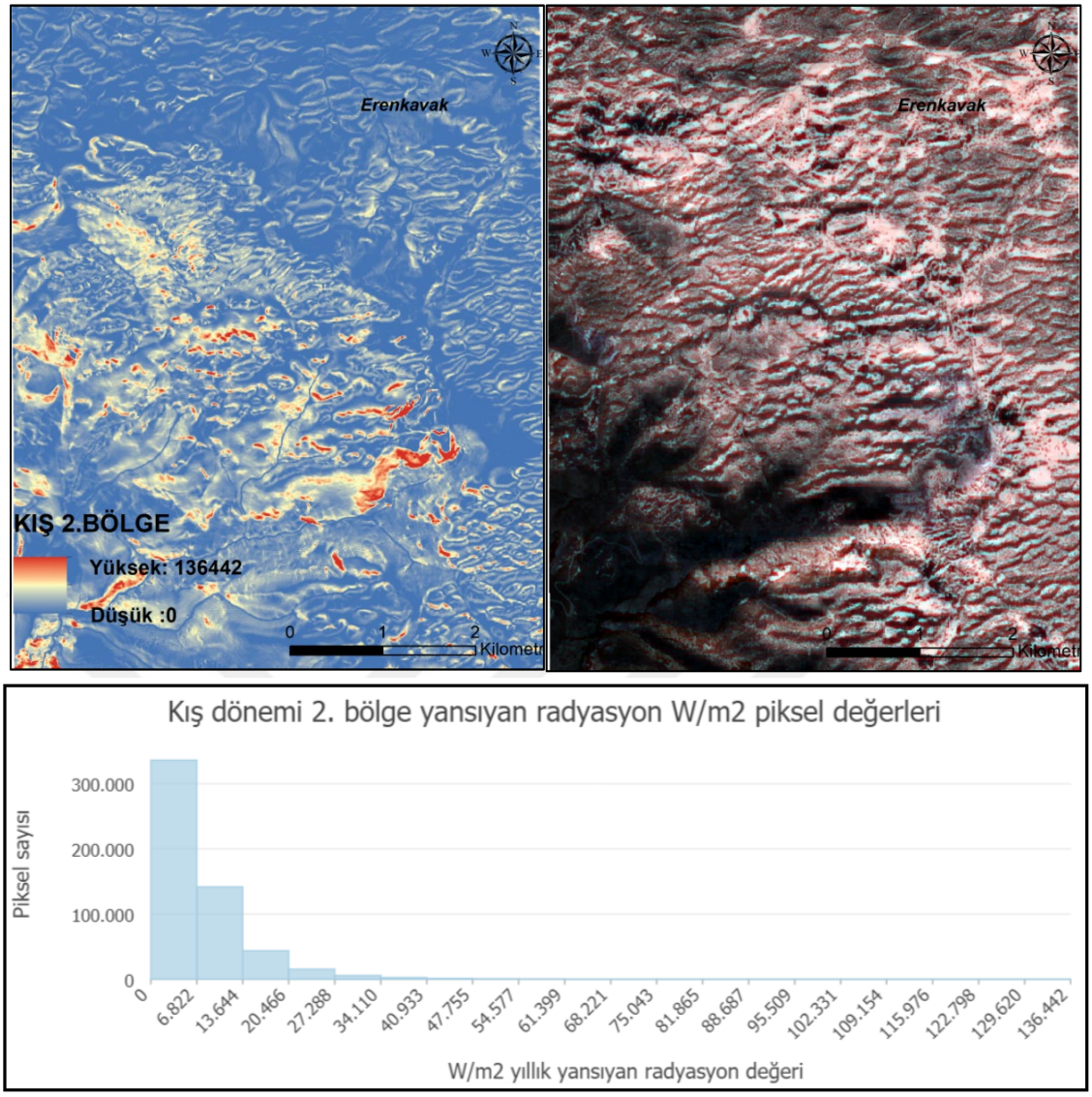
Kış dönemi 1.bölge içinse nispeten düz, güney kısımlarında ise tepelerden oluşan bir kısım seçilmiştir. Burada yapılan incelemelerde yüksekte bulunan güney yamaçlarında en yüksek yansıyan radyasyon değeri görülürken, nispeten daha alçakta kalan düzlük alanlarda ise kış döneminde güneş geliş açısından dolayı daha az güneşlendiğinden ve eğimin az olmasından kaynaklı düşük yansıyan radyasyon

değerleri tespit edilmiştir. Şekil 4.52'de belirlenen kış dönemi 1.bölgeye ait yansıyan güneş radyasyonu ve SENTINEL görüntüsü verilmiştir.



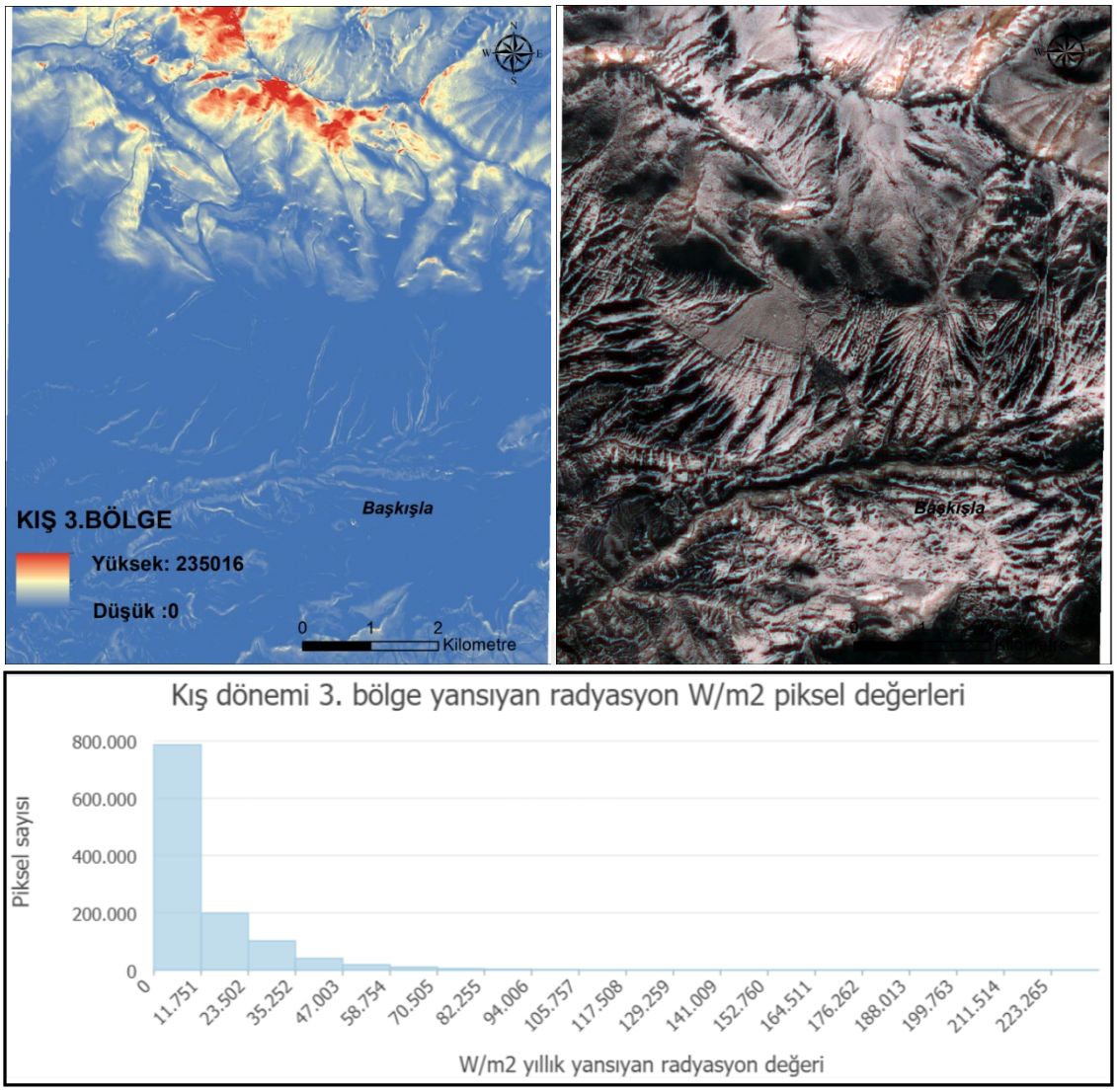
Şekil 4.52. Kış dönemi 1. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı

Kış dönemi 2.bölgede genel itibariyle ufak yükseltilerin bulunduğu bir bölge seçilmiştir. Burada en yüksek yansıyan radyasyon değeri bekleneceği üzere yüksekte kalan eğimli yamaçlardır. Kış döneminde güneş geliş açısından dolayı ufak yamaçların güney kısımlarında ise gözle görülür farklar oluşmamıştır. Şekil 4.53'de belirlenen kış dönemi 2.bölgeye ait yansıyan güneş radyasyonu ve SENTINEL görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.53. Kış dönemi 2. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı

Kış dönemi 3.bölgede güneyinde yüksek rakımlı bir bölge ile kuzeyinde düşük rakımlı tepelik alanın bulunduğu bir bölge seçilmiştir. Yüksekte olan tepelik kısımlarda güneye bakan eğimli yamaçlarda yüksek yansıyan güneş radyasyonu değerleri bulunmaktadır. Bölgenin güneyinde bulunan düşük rakımlı kısımda ise kış ayında güneş eğim açısından dolayı düşük güneşlenme süresi olduğundan güney yamaçlarında da gözle görünür farklar görünmemiştir. Şekil 4.54'de belirlenen kış dönemi 3.bölgeye ait yansıyan güneş radyasyonu ve SENTINEL görüntüsü verilmiştir.



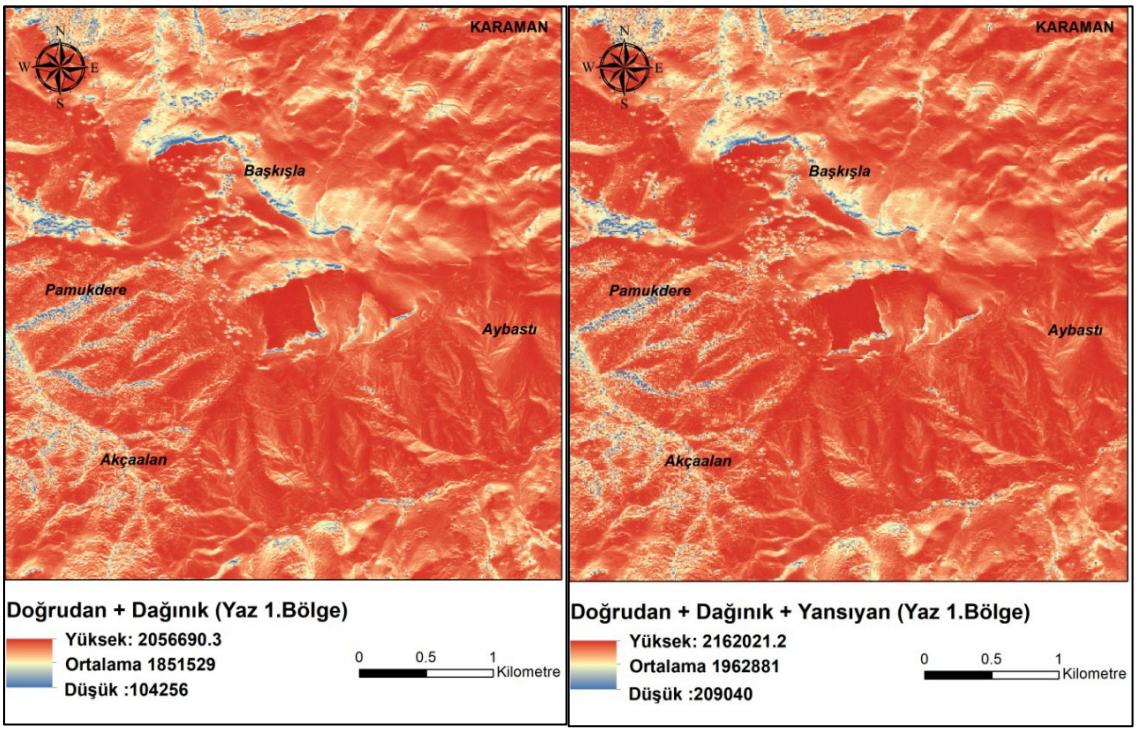
Şekil 4.54. Kış dönemi 3. bölgenin yansıyan radyasyon değerleri ve histogramı

4.9. Toplam Güneş Radyasyonu Değerleri ile Yansıyan Radyasyon Değerleri Eklenmiş Toplam Küresel Güneş Radyasyonu Değerlerinin Karşılaştırılması

Yansıyan radyasyon değeri eşitlik 4.3'de verildiği üzere gelen toplam radyasyon değeri ile seçilen bölgenin eğim açısına göre değişiklik göstermektedir. Kış aylarında güneş açısından dolayı çukurda kalan bölgelerde güneşlenme süresi az olduğundan yansıyan radyasyon değerleri de düşük gelmektedir.

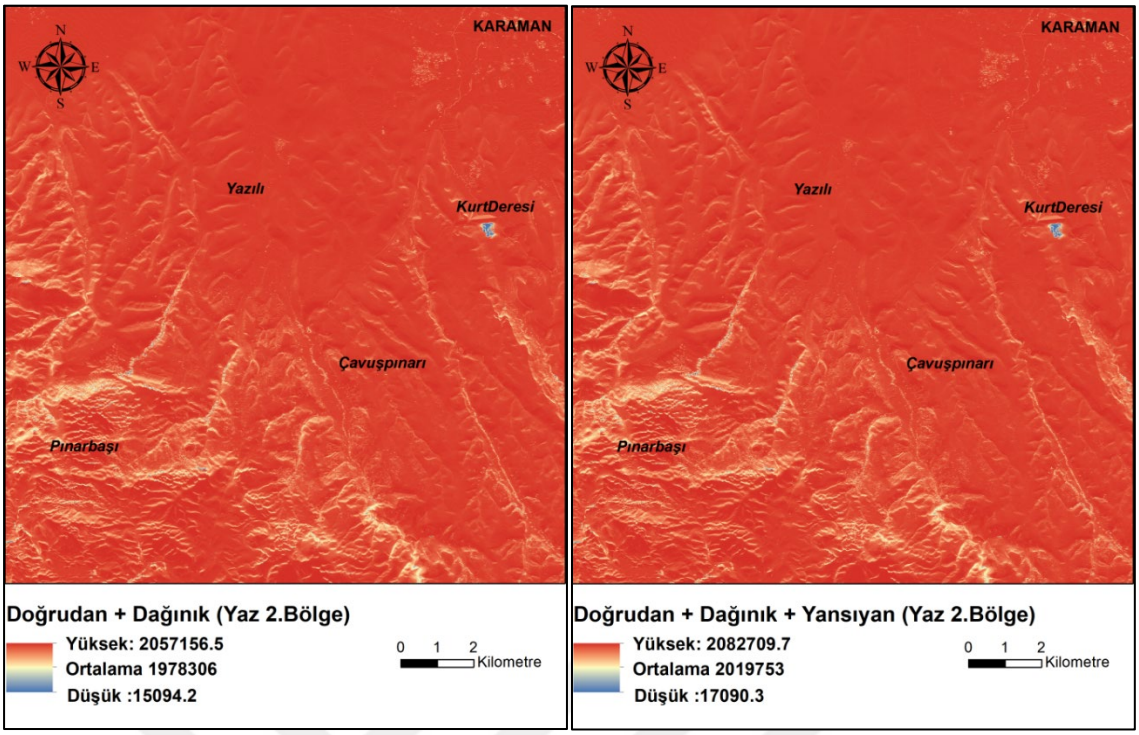
Yaz dönemi 1. Bölgede yansıyan radyasyon etkisi olmadan ortalama 1.851KW/yıl değerini alırken, yansıyan radyasyon etkisi ile 1.864KW/yıl değeri elde edilmiştir. Yapılan incelemede bölgenin ortasında bulunan tepelik bölgenin güney

yamaçlarında yansıyan radyasyon etkisinin görece diğer bölgelere göre yüksek olduğu görülmüştür. Belirtilen bölgede yansıyan radyasyon etkisi ortalama %5 oranında etki etmektedir. Diğer bölgelerde kayda değer bir değişim olmamıştır. Şekil 4.55'de bölgenin toplam radyasyon değer haritası ile yansıyan radyasyon etkilerinin eklendiği radyasyon haritası verilmiştir.



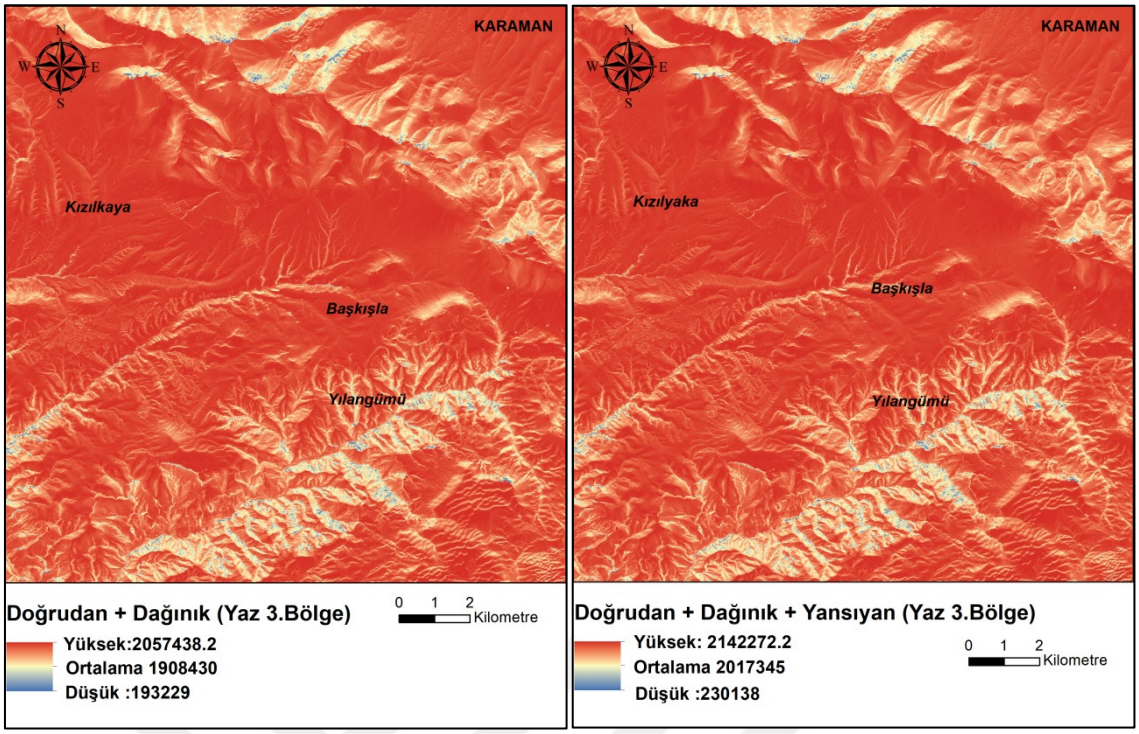
Şekil 4.55. Yaz dönemi 1. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması

Yaz dönemi 2. Bölgede yansıyan radyasyon etkisi olmadan ortalama 1.978KW/yıl değerini alırken, yansıyan radyasyon etkisi ile 1.981KW/yıl değeri elde edilmiştir. Bölgenin güney batı kısmında bulunan tepelik bölgenin güney yamaçlarında yansıyan radyasyon etkisinin görece diğer bölgelere göre yüksek olduğu görülmüştür. Belirtilen bölgede yansıyan radyasyon etkisi ortalama %2 oranında etki etmektedir. Diğer bölgelerde kayda değer bir değişim olmamıştır. Şekil 4.56'da bölgenin toplam radyasyon değer haritası ile yansıyan radyasyon etkilerinin eklendiği radyasyon haritası verilmiştir.



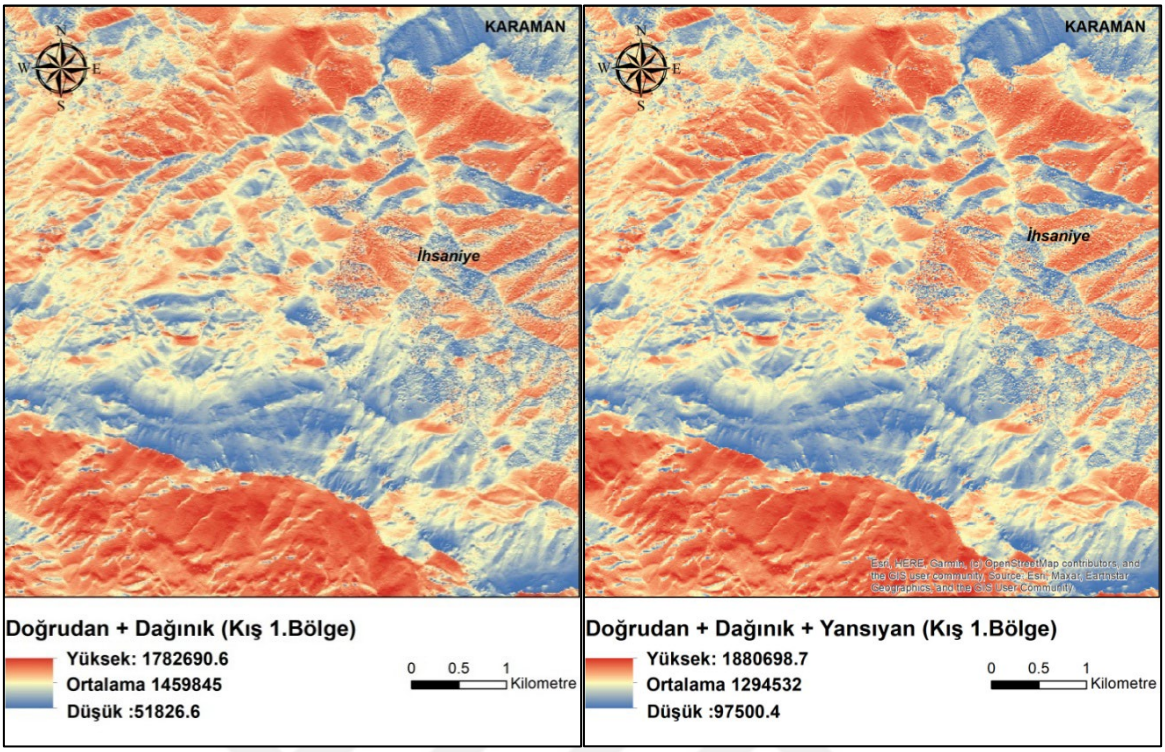
Şekil 4.56. Yaz dönemi 2. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması

Yaz dönemi 3. Bölgede yansıyan radyasyon etkisi olmadan ortalama 1.908KW/yıl değerini alırken, yansıyan radyasyon etkisi ile 1.919KW/yıl değeri elde edilmiştir. Bölgenin güney ve kuzey kısmında bulunan tepelik bölgelerin güney yamaçlarında yansıyan radyasyon etkisinin görece diğer bölgelere göre yüksek olduğu görülmüştür. Belirtilen bölgelerde yansıyan radyasyon etkisi ortalama %5 oranında etki etmektedir. Diğer bölgelerde kayda değer bir değişim olmamıştır. Şekil 4.57'de bölgenin toplam radyasyon değer haritası ile yansıyan radyasyon etkilerinin eklendiği radyasyon haritası verilmiştir.



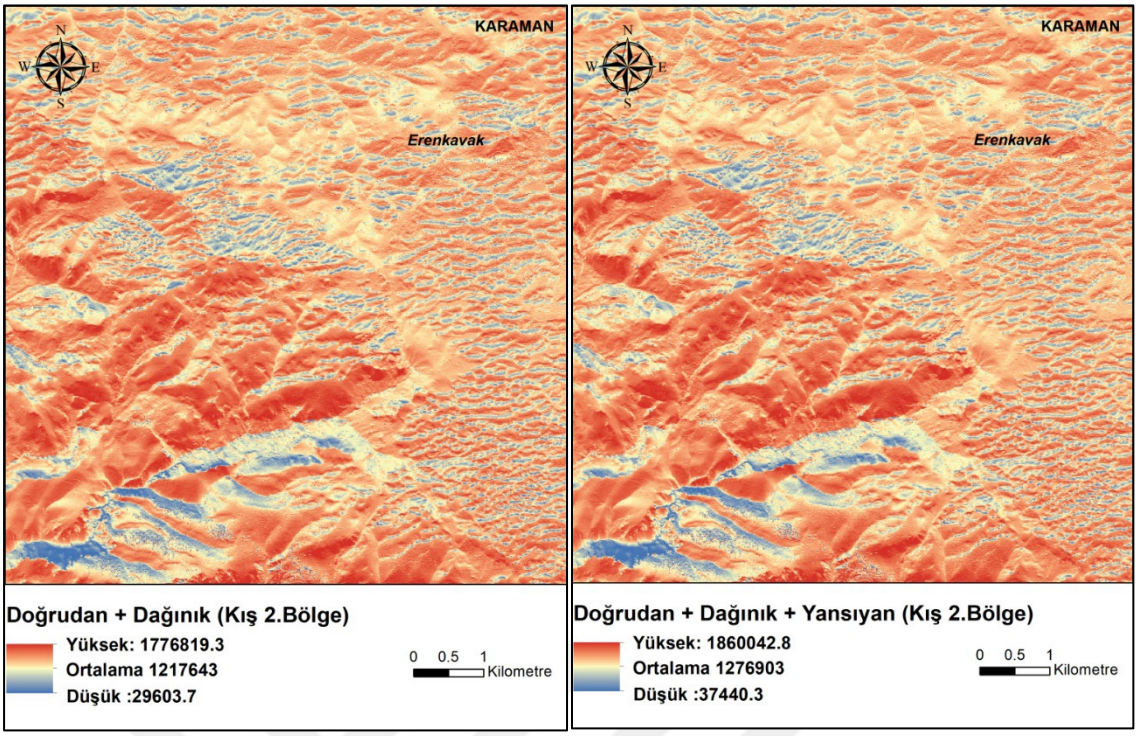
Şekil 4.57. Yaz dönemi 3. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması

Kış dönemi 1. Bölgede yansıyan radyasyon etkisi olmadan ortalama 963KW/yıl değerini alırken, yansıyan radyasyon etkisi ile 977KW/yıl değeri elde edilmiştir. Bölgenin alçakta kalan kısımlarında neredeyse hiç değişiklik olmazken, tepe kısımlarının güney yamaçlarında ortalama %2 artış olmuştur. Şekil 4.58'de bölgenin toplam radyasyon değer haritası ile yansıyan radyasyon etkilerinin eklendiği radyasyon haritası verilmiştir.



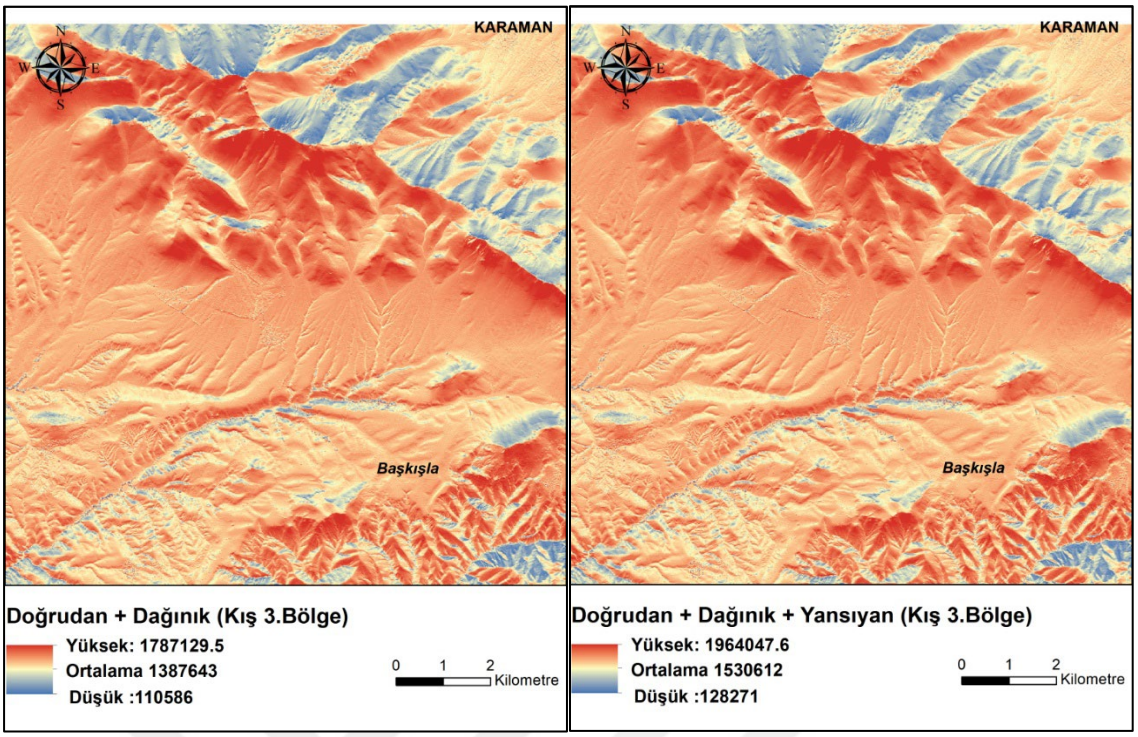
Şekil 4.58. Kış dönemi 1. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması

Kış dönemi 2. Bölgede yansıyan radyasyon etkisi olmadan ortalama 1.136KW/yıl değerini alırken, yansıyan radyasyon etkisi ile 1.141KW/yıl değeri elde edilmiştir. Bölgenin tamamında anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Şekil 4.59'da bölgenin toplam radyasyon değer haritası ile yansıyan radyasyon etkilerinin eklendiği radyasyon haritası verilmiştir.



Şekil 4.59. Kış dönemi 2. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması

Kış dönemi 3. Bölgede yansıyan radyasyon etkisi olmadan ortalama 1.169KW/yıl değerini alırken, yansıyan radyasyon etkisi ile 1.180KW/yıl değeri elde edilmiştir. Bölgenin kuzey kısmında bulunan dağlık bölgenin güney yamaçlarında ortalama %2 artış olmuştur. Bölgenin diğer kısımlarında ise kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Şekil 4.60'da bölgenin toplam radyasyon değer haritası ile yansıyan radyasyon etkilerinin eklendiği radyasyon haritası verilmiştir.



Şekil 4.60. Kış dönemi 3. bölgenin toplam radyasyon değeri ile yansıyan radyasyon eklenmiş toplam radyasyon değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada; uygun yer seçiminde göz önüne alınacak en önemli gösterge olan küresel güneş radyasyonu hesabının yapılması için klasik yatay düzlemde hesap yapan formüllere ve uygulamaların aksine, bölgenin gerçek radyasyon ve güneşlenme süresini belirleyebilmek için 3 boyutlu Sayısal Yüzey Modeli kullanılarak güneş radyasyonu hesabı yapılması amaçlanmıştır. Global güneş radyasyonu hesabına albedo değerlerinin de etkisini dahil etmek için bölgenin albedo değerleri; daha önceki çalışmalarda kullanılan uydu görüntülerine göre daha yüksek çözünürlüklü olan Sentinel uydu görüntüsü ile elde edilmiştir. Böylece albedo değerleri ortalama bir değer yerine uydu görüntülerinden hesaplanarak, her bir piksel için elde edilerek klasik küresel güneş radyasyonu formüllerine ek katsayı olarak dahil edilmiştir. Sonuçta, bir bölgenin (Karaman) dağınık radyasyon, doğrudan radyasyon, küresel radyasyon değerleri ve güneşleme süreleri; hem 3 boyutlu Sayısal Yüzey Modeli (SYM) hem de uydu görüntülerinden elde edilen albedo değerleri kullanılarak yaz ve kış dönemleri için hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen en önemli bulgu, güneş radyasyonu, güneşlenme süresi ve albedo değerlerinin klasik yöntemlerde olduğu gibi ortalama değerlerinin alınmasının aksine tüm bu değerleri her bir piksel bazında hesaplayarak çok daha hassas bir global güneş radyasyonu değerinin elde edilmesinin sağlanmasıdır. Bu nedenle geniş bölgelerin belirli ortalamalar dahilinde ifade edilmesinin aksine bölgelerin her bir pikselinde bu değerlerin analiz edilebilmesini sağlamaktadır. Bu yüzden global güneş radyasyonu hesabı yapılırken genel kabuller ve ortalama değerler göz önüne alınmadığından her bölge için ayrıca bir çalışma yapılması gerekecektir. Bir yüzeyin gerçekte aldığı güneş ışığı süresi ve radyasyonu belirlerken 3 boyutlu arazi yüzeyi göz önüne alındığından bu model en temel obje olmaktadır.

Bir alana düşen toplam küresel güneş radyasyonunu etkileyen en büyük unsurlardan birisi güneşlenme süresidir. Güneşlenme süresi her ne kadar bölgeler ve ülkeler için ortalama bir değer olarak verilse de esasen topoğrafyaya bağlı olarak güneşlenme süresi değişmektedir. Özellikle derin vadilerde ya da dağın yamaçlarında

kalan bölgeler, yöne bağlı olarak güneş ışığını daha az almaktadır. Bu nedenle eğimli arazilerde güneşlenme süresi kısaldığından, üretilen elektrik enerjisi miktarını doğrudan etkileyen bir faktör olarak belirlenmektedir. Bölge açısından incelendiğinde düz bölgelerde normalde yıllık 2.070 saat civarında güneşlenme süresi belirlenirken, oluşturulan 3 boyutlu radyasyon modelinde kuzey yamacındaki eğimli arazilerde bu değerin 1.500 saatin altına düşmektedir. Eğimin fazla olan bölgelerde ve genelde dağın alt yamaçlarındaki bölgelerde bu değerin 1.100 saat civarına düştüğü görülmüştür. Bu nedenle eğimli bölgeler hemen hemen düz bölgeler göre 2 kat daha az güneş ışığı almakta olduğundan bu durum üretim verimliliğini doğrudan etkileyen bir faktör olarak belirlenmiştir.

Güneşlenme süresini etkileten başka bir belirleyici unsur ise yükseklik değeri olmaktadır. Bu nedenle yer seçimi yapılırken güneşlenme süresi, güneş radyasyonu ile birlikte albedo değerlerinin en fazla artış gösterdiği alanların da göz önüne alınması yıllık üretim miktarı üzerinde olumlu bir etkisinin olacağı belirlenmiştir. Bu nedenle 3 boyutlu yüzey modellerinden toplam güneşlenme süresinin belirlenmesi güneş panellerinin uygun konumunun bulunmasında önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklarda mevcut olan çalışmalar, genellikle arazi sınıflarının sahip olduğu ortalama bir albedo değerini belirlemek üzerine yapılmıştır. Bu noktada elde edilen genel kabuller ile yapay ve doğal objelerin ortalama albedo değerleri belirlenmektedir. Ancak her ne kadar objeler homojen olarak kabul edilse de yapay ve doğal objeler heterojen bir yapıda olup, desen, renk ve doku farklılıkları nedeni ile farklı yansıtım değerlerine sahip olmaktadırlar. Kaynaklarda kar örtüsünün 0,75 ve 0,95 arasında bir albedo değeri aldığı belirlenmiş olup bu değer çalışmada 0,85-0,95 değerleri arasında belirlenmiştir. Kar örtüsünün albedo değerini etkileyen en önemli faktör ise karın tazeliği ve kalınlığıdır. Bu nedenle seçilen uydu görüntüsünde ve tarihte bölgedeki kar kalınlığı fazla olduğundan 0,95 değeri elde edilebilmiştir. Dolayısıyla kar örtüsü için belirlenen albedo değeri kaynaklardaki değerler ile paralellik göstermektedir.

Tarımsal alanlar incelendiğinde ise kaynaklarda ortalama 0,15- 0,26 değerleri belirlenirken, bu çalışmada ekili tarım arazilerin ortalama 0,15-0,20 arası bir albedo değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu noktada en önemli husus, ekilen ürünün cinsine

ve yoğuınluğuna göre bu değerin her bölgeye göre değişilik göstereceğidir. Ekim yapılan ürünler henüz yeni yetişmeye başladığında albedo değerleri yüksekken, yetişmiş durumda yaprak yoğunluğundan ve su muhteviyatı sebebiyle albedo değeri düşmektedir. Bölge özelinde ekilen ürünleri buğday ve arpa yoğunlukta olduğundan, hem erken hasat edilmesi hem de hasat zamanına yakın bir zaman diliminde sarı renkli olmasından dolayı albedo değerleri 0,35 'e kadar yükselmektedir. Tüm bu değerler incelendiğinde tarımsal araziler için kaynaklardakine göre çok farklı değerlerin bulunmadığı belirlenmiştir.

Su kaynakları açısından incelendiğinde bölgedeki su kaynakları ortalama 0,05 albedo değerine sahip olduğu belirlenirken, kaynaklarda su bulunan yerlerin 0,05- 0,10 değeri arasında albedoya sahip olduğu belirlenmiştir. Su kaynaklarındaki en önemli husus ise suyun berraklığı ve tabanı ile ilgilidir. Bu nedenle her su kaynağının farklı albedo değerine sahip olduğu belirlenmiş ve bölgeye özel olarak her birinin incelenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bölge genelindeki su kaynakları genelde baraj yapısında olduğundan küçük farklılıklar göstermekte olup genelde çok düşük albedo değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Son olarak çıplak arazi yüzeyleri için yapılan incelemede kaynaklarda 0,16-0,25 değerleri öngörülmüş olup bu değer çalışmada 0,25-0,30 olarak belirlenmiştir. Çıplak arazi genellikle üzerinde hiçbir bitki örtüsü olmayan yüzeyler için kullanılan bir tanımlama olup bu noktada esas albedoyu belirleyen faktörün toprak yüzeyi ya da kayalıkların olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle her bölgeye özgü çıplak arazi yüzeyi farklı olduğundan bu değer oldukça değişiklik gösterecektir. Ancak killi ve kireçli yüzeylerin renginin çok açık olması kaynaklı albedo değerlerinin 0,50 üzerine çıkabileceği belirlenmiştir.

Hesaplanan albedo değerlerinde yararlanarak Sayısal yüzey modeli üzerinden oluşturulan eğim değerleri ile yapılan hesaplamalarla yansıyan radyasyon hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda yaz ve kış dönemi için seçilen farklı bölgelere göre elde edilen artış değerleri,

Yaz dönemi 1.bölgede, 1.851 KW/yıl değeri 1.864KW/yıl değerine yükseldiği,
Yaz dönemi 2.Bölgede, 1.978 KW/yıl değeri 1.981 KW/yıl değerine yükseldiği,

Yaz dönemi 3.Bölgede, 1.908 KW/yıl değeri 1.919 KW/yıl değerine yükseldiği,

Kış dönemi 1. Bölgede, 963 KW/yıl değeri 977 KW/yıl değerine yükseldiği,

Kış dönemi 2. Bölgede, 1.136 KW/yıl değeri 1.141 KW/yıl değerine yükseldiği,

Kış dönemi 3. Bölgede, 1.169 KW/yıl değeri 1.180 KW/yıl değerine yükseldiği, belirlenmiştir.

Bu artış değerleri çalışma bölgesinde homojen olmayıp, arazinin topoğrafik yapısına göre farklılıklar içermektedir. Örneğin, yüksekte kalan güney yamaçlarda kar örtüsü sebebiyle albedo değerlerinde önemli artışlar yaşanırken, daha alçakta kalan bütün bölgelerde güneş açısından dolayı artışlar minimal seviyede kaldığı belirlenmiştir. Bu nedenle bölge bazındaki artışlar genel bir gösterge olup, artışların en çok yaşandığı bölgeler güneş paneli kurulumu açısından uygunluğu göz önüne alınarak tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

5.2. Öneriler

Ağaçlar ve binalar gibi objelerin gölgelenme etkisini göz önüne alabilmek için Sayısal yüzey modeli (SYM) olarak adlandırılan ve arazinin üzerindeki tüm objelerin yüksekliğini barındıran bir veriler kullanılmaktadır. Ancak bu veri setinin üretilmesi kolay olmayıp, küresel kaynaklarda bu veri büyük bölgeler özelinde yüksek çözünürlükte mevcut değildir. Yapılan çalışmada 5 metre çözünürlüklü sayısal yüzey modelleri kullanılmış olup özellikle yerleşim alanlarındaki yapay ve doğal yer üstü objelerin detaylı gösterimine uygun olmayacaktır. Fotogrametrik harita çalışmalarında ya da LİDAR sistemleri ile Sayısal Yüzey Modelleri elde edilebilmektedir. Bu veriler yüksek çözünürlükte elde edildiğinde hem şehir merkezleri için hem de kırsal alanlar için çok hassas güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu hesabı yapılabilecektir. Özellikle organize sanayi bölgeleri ve yoğun şehir merkezleri için bir güneş enerji potansiyeli çalışması yapılması durumunda bu tür metre altı çözünürlüklü veriler gerekecektir.

Albedo değerinin hesaplanmasında ise büyük alanlarda 20 metre çözünürlük gayet yeterli bir çözünürlük değeri olmakla birlikte, eğer şehir merkezleri için bir kullanım yapılacaksa yüksek çözünürlüklü görüntülerin tercih edilmesi albedo değerlerinin çok daha net bir şekilde belirlenmesini sağlayacaktır. Ancak albedo

değerinin belirlenmesinde konumsal çözünürlükle beraber zamansal çözünürlüğe ihtiyaç vardır. Çünkü albedo değerleri tamamen mevsimsel etkilerden dolayı değişim gösterdiğinden ve mevsim şartlarına göre her yıl farklı değerler aldığından bölgelerin mevsimsel farklılıkları da değerlendirilmelidir. Çıplak arazilerin mevsimsel etkilerden dolayı yeşillenmemesi yine albedo değerini arttırıcı bir etkiye sahip olacaktır. Bu nedenle arazi sınıflarının ortalama değerlerinden ziyade her bir piksellerin yıllara göre mevsimsel aylık ortalamalarının incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan parametreler sentinel uydu görüntüleri için özel olarak hazırlanmış olup, eğer daha dar bir alanda yüksek çözünürlüklü kameralar kullanılacaksa yersel kontroller ile bu parametrelerin yeniden belirlenmesi gerekecektir. Multispektral kameralı insansız hava araçları veya uçaklarla yapılacak çalışmalarla hem 3 boyutlu modeller oluşturulabilecek hem de gelen görüntülerle albedoların tespiti mümkün olabilecektir.

Yüksek çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli ve yüksek zamansal çözünürlüklü albedo değerlerinin birlikte dikkate alınması ile hem kırsal bölgelerde hem de şehir merkezleri için yüksek hassasiyetli güneş enerji haritaları üretilebilecektir. Ayrıca Sayısal Yüzey Modellerinin yüksek çözünürlüklü olması sayesinde çatılara yerleştirilecek panellerin miktarı, yıllık elektrik üretimi ve maksimum kullanılacak alan gibi değerleri farklı yöntemler ile belirlenebilmektedir. Bu kapsamda kaynaklarda otomatik panel konumlandırması ve verimlilik belirleme üzerine çok fazla çalışma yapılmakta olup, bu tezde üretilen çıktılar ile birleştirilmesi halinde bir bölgenin tüm güneş enerji potansiyelini her açıdan değerlendirilerek elde edilmesi mümkün olacaktır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen albedo değerlerini elde etme yöntemi doğrudan şehir merkezleri içinde kullanılabilmektedir. Ancak kullanılan uydu görüntüsünün en yüksek bant çözünürlüğü 10 metre olması bazı binaların belirlenmesini imkansız kılmaktadır. Bu nedenle sadece altlık veriyi değiştirerek daha yüksek çözünürlüklü görüntüler ile şehir merkezleri ve bina çatılarındaki albedo değerleri belirlenebilmektedir. Özellikle ikiyüzlü güneş panelleri için çatıların beyaz renge boyanması ile albedo değerinin 0,80 üzerinde elde edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Bölgeye karar verilirken ya da albedo artırıcı önlemler belirlenirken, bu husus mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

Ağbulut, Ü., Gürel, A. E., & Biçen, Y. (2021). Prediction of daily global solar radiation using different machine learning algorithms: Evaluation and comparison. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 135. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110114

Akinoglu, B. G., Ecevit, A. A., (1990). Further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation. Energy, 15(10),865–872.

Akbari, H., Matthews, H. D., & Seto, D. (2012). The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. Environmental Research Letters, 7(2), 024004.

Aksoy, B., (1997). Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations, Renewable Energy, 10(4),625–633.

Ali, M., Prasad, R., Xiang, Y., Khan, M., Ahsan Farooque, A., Zong, T., & Yaseen, Z. M. (2021). Variational mode decomposition based random forest model for solar radiation forecasting: New emerging machine learning technology. Energy Reports, 7, 6700- 6717. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.09.113

Almorox, J., Hontoria, C., (2004). "Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain", Energy Conversion and Management, 45(9): 1529-1535.

Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A. & Mirmazloumi, S. M. (2020). Google Earth Engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review," IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens., vol. 13, pp. 5326–5350, doi: https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052

Andrews, T., J. M. Gregory, M. J. Webb, and K. E. Taylor (2012), Forcing, feedbacks and climate sensitivity in CMIP5 coupled atmosphere-ocean climate models, Geophys. Res. Lett., 39, L09712, doi:10.1029/2012GL051607.

Angstrom, A., (1924). Solar and terrestrial radiation. Quart J Roy Met Soc,50,121-5.

Ångström, A. (1925). The albedo of various surfaces of ground. Geografiska Annaler, 7(4), 323-342.

Aras, H., Balli, O. , Hepbasli, A., (2006). Global solar radiation Potential. Part 1. Model Development, Energy Sources, Part B, Economics, Planning and Policy 15(3), 303–315.

Badescu, V., Gueymard, C.a., Cheval, S., Oprea, C., Baciu, M., Dumitrescu, A., Iacobescu, F., Milos, I., ve Rada, C., 2012. Computing Küresel and Diffuse Solar Hourly Irradiation on Clear Sky. Review and Testing of 54 Models. Renew. Sustain. Energy Rev. 16, 1636-1656.

Bakirci, K., (2007). Estimation of global solar radiation on horizontal surface, Journal of Thermal Science and Technology, 27(1), 7–1.

Bakırcı, K., 2009. Estimation of Solar Radiation by Using ASHRAE Clear-Sky Model In Erzurum, Turkey. Energy Sources, Part A Recovery, Util. Environ, 31, 208-216.

Bayram, A., (2020). Küresel Ve Yaygın Güneş Radyasyonunun Tahmini İçin Farklı Modellerin Karşılaştırılması. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Başaran Filik, Ü., Filik, T., & Gerek, Ö. (2015). New Electric Transmission Systems: Experiences. In Ü. Başaran Filik, T. Filik, & Ö. Gerek, Handbook of Clean Energy Systems,. Wiley

Bayrakçı, H., Demircan, C., & Keçebaş, A. (2018). The development of empirical models for estimating global solar radiation on horizontal surface: A case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 2771-2782. Elsevier Ltd.

Besharat, F., Dehghan, A., & Faghih, A. (2013). Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21, 798-821.

Betts, A. K., & Ball, J. H. (1997). Albedo over the boreal forest. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 102(D24), 28901-28909.

Beyer, H.G., Costanzo, C., ve Heinemann, D., 1996. Modifications of the Heliosat Procedure for Irradiance Estimates From Satellite Images. Solar Energy, 56, 207-212.

Bohren, Craig F.; Clothiaux, Eugene E. (2006). Fundamentals of Atmospheric Radiation: An Introduction with 400 Problems (İngilizce). John Wiley & Sons. ISBN 978-3-527-60837-9.

Bonafoni, S., Sekertekin A., (2020) "Albedo Retrieval From SENTINEL-2 by New Narrow-to-Broadband Conversion Coefficients," in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 17, no. 9, pp. 1618-1622, doi: 10.1109/LGRS.2020.2967085.

Bony, S., and J.-L. Dufresne (2005), Marine boundary layer clouds at the heart of tropical cloud feedback uncertainties in climate models, Geophys. Res. Lett., 32, L20806, doi:10.1029/2005GL023851.

Briegleb B and Ramanathan V (1982) Spectral and diurnal variations in clear sky planetary albedo. Journal of Applied Meteorology 21: 1160–1171.

Budyko, M. I. (1969), The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth, Tellus, 21, 611–619.

Bulut, H., & Büyükalaca, O. (2007). Simple model for the generation of daily global solar-radiation data in Turkey. Applied Energy, 84(5), 477-491.

Cahalan, R. F., and G. R. North (1979), A stability theorem for energy-balance climate models, J. Atmos. Sci., 36, 1,205–1,216.

Caldwell, P. M., C. S. Bretherton, M. D. Zelinka, S. A. Klein, B. D. Santer, and B. M. Sanderson (2014), Statistical significance of climate sensitivity predictors obtained by data mining, Geophys. Res. Lett., 41, 1803–1808, doi:10.1002/2014GL059205.

Cano, D., Monget, J., Albuisson, M., Guillard, H., Regas, N., ve Wald, L., 1986. A Method for the Determination of the Küresel Solar Radiation From Meteorological Satellite Data. Solar Energy, 37, 31-39.

Charney, J., Quirk, W. J., Chow, S. H., & Kornfield, J. (1977). A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi–arid regions. Journal of the atmospheric sciences, 34(9), 1366-1385.

Chen Y.-C., M. W. Christensen, L. Xue, A. Sorooshian, G. L. Stephens, R. M. Rasmussen, and J. H. Seinfeld (2012), Occurrence of lower cloud albedo in ship tracks, Atmos. Chem. Phys., 12, 8223–8235, doi:10.5194/acp-12-8223-2012.

Christensen, M. W., and G. L. Stephens (2011), Microphysical and macrophysical responses of marine srtratocumulus polluted by underlying ships: Evidence of cloud deepening, J. Geophys. Res., 116, D03201, doi:10.1029/2010JD014638.

Clement, A., R. Burgman, and J. Norris (2009), Observational and model evidence for positive low-level cloud feedback, Science, 325(5939), 460–464, doi:10.1126/science.1171255.

Coakley, J. A. (2003). Reflectance and albedo, surface. Encyclopedia of atmospheric sciences, 12.

Corradino, Claudia; Ganci, Gaetana; Cappello, Annalisa; Bilotta, Giuseppe; Hérault, Alexis; Del Negro, Ciro (2019). "Mapping Recent Lava Flows at Mount Etna Using Multispectral SENTINEL-2 Images and Machine Learning Techniques". Remote Sensing. 16 (11): 1916. Bibcode:2019RemS...11.1916C

Cristina, Ş., 2009. Estimating Clear Sky Solar Küresel Radiation Using Clearness Index, for Braşov Urban Area. 3rd International Conference on Maritime and Naval Science and Engineering, 150-153.

Davies, J. A., Schertzer, W., & Nunez, M. (1975). Estimating global solar radiation. Boundary-layer meteorology, 9, 33-52.

Demir, V., & Çıtakoğlu, H. (2023). Forecasting of solar radiation using different machine learning approaches. Neural Computing and Applications, 35(1), 887-906. https://doi.org/10.1007/s00521-022-07841-x

Demirgül, T., Demir, V., Sevimli, M. F., (2023). Model-Ağacı (M5-tree) yaklaşımı ile HELIOSAT tabanlı güneş radyasyonu tahmini. Geomatik. 8(2), 124-135.

Dobos, E. (2020). Albedo. In Atmosphere and Climate (pp. 25-28). CRC Press.

Dogniaux R , Lemoine M . Classification of Radiation Sites in Terms of Different Indices of Atmospheric Transparency[M]. Springer Netherlands, 1983.

Duffie, J. A., Beckman , W. A., (1991). Solar Engineering of Thermal Processes. New York-Wiley, Transactions of the Royal Society of Australia, 46:114–8

Dunbar, B (2014). "New Public Application of LANDSAT Images Released". NASA. Archived from the original on March 11, 2014. Retrieved March 19, 2014.

Dursun M, (2023). Küresel güneş radyasyonun makine öğrenmesi yöntemleri ile tahmini: örnek bir uygulama. Gaziantep İslam Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Fen bilimleri Ensitütsü, Yüksek Lisans Tezi

Ener Ruşen, S., 2018. Performance Evaluation of a Coupled Method for the Estimation of Daily Küresel Solar Radiation on a Horizontal Surface. Atmósfera, 31, 347-354

Ener Ruşen, S., ve Konuralp, A., 2020. Quality Control of Diffuse Solar Radiation Component With Satellite-Based Estimation Methods. Renew. Energy, 145, 1772-1779.

Enterton, D., and J. M. Marshall (2010), Explorations of atmosphere-ocean-ice climates on an aquaplanet and their meridional energy transports, J. Atmos. Sci., 66, 1593–1611.

Ertekin, C., Yaldiz, O. 1999. Estimation of monthly average daily global radiation on horizontal surface for Antalya, Turkey. Renew Energy 17,95–102

Fu, P. 2000. A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Landscape Ecology. Ph.D. Thesis, Department of Geography, University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA.

Fu, P., and P. M. Rich. 2000. The Solar Analyst 1.0 Manual. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA.

Fu, P., and P. M. Rich. 2002. "A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Agriculture and Forestry." Computers and Electronics in Agriculture 37:25–35.

Gardner, T (2010). "Google unveils satellite platform to aid forest efforts". reuters. Archived from the original on December 5, 2010. Retrieved January 3, 2018.

Gardner, A. S., & Sharp, M. J. (2010). A review of snow and ice albedo and the development of a new physically based broadband albedo parameterization. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 115(F1).

Genc Y.A., (2014).Establishing New Model for Predicting the Global Solar Radiation on Horizontal Surface in Osmaniye

Gessner, U.; Machwıtz, M.; Esch, T.; Tıllack, A.; Naeımı, V.; Kuenzer, C.; Dech, S. (2015): Multi-sensor mapping of West African land cover using MODIS, ASAR and TanDEM-X/TerraSAR-X data. Remote Sensing of Environment. 282–297.

Ghasemi, G., Noorollahi, Y., Alavi, H., Marzband, M., ve Shahbazi, M., 2019. Theoretical and Technical Potential Evaluation of Solar Power Generation in Iran. Renew. Energy, 138, 1250-1261.

Glower, J., McGulloch, J. S. G., (1958). The empirical relation between solar Radiation and hours of sunshine, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 84(360), 172-175.

Google, (2018). Introduction | Google Earth Engine API | Google Developers". Google Developers. Archived from the original on May 28, 2018. Retrieved March 20, 2018.

Google, (2021). Introducing Google Earth Engine". Google. December 2, 2010. Archived from the original on November 27, 2021. Retrieved November 27, 2021.

Gopinathan, K., (1988). A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface, Solar and Wind Technology, 5(5), 581–583.

Gorelick, N (2013). "Google Earth Engine". EGU General Assembly Conference Abstracts. 15: EGU2013–11997.

Gray, L. J., ve ark., (2010), Solar Influences on Climate, Rev. Geophys., 48, RG4001, doi:10.1029/2009RG000282.

Gül, M., Çelik, E. (2017). ANFIS kullanılarak Tunceli ili için global güneş radyasyonu tahmini. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 8(4), 891-899.

Gürsoy, G. (2015). Pv, rüzgâr türbini ve batarya içeren hibrid enerji sistemlerinde iyileştirilmiş optimal ölçeklendirme. (Tez No. 406277) [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.

Güzel, E., Özlüoymak, Ö. B. (2015). Elektromanyetik Spektrumun Tarım Makinaları Araştırmalarında Kullanımı. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 11(4), 315-320.

Hall, A., and X. Qu (2006), Using the current seasonal cycle to constrain snow albedo feedback in future climate change, Geophys. Res. Lett., 33, L03502, doi:10.1029/2005GL025127.

Hall, Dorothy K; Riggs, George A; Salomonson, Vincent V; DiGirolamo, Nicolo E; Bayr, Klaus J (2002). "MODIS snow-cover products". Remote Sensing of Environment. 83 (1–2): 181–194.

Hammer, A., 2000. Anwendungspezifische Solarstrahlungsinformationen Aus MeteosatDaten. Carl von Ossietzky University of Oldenburg.

Hammer, A., Heinemann, D., Hoyer, C., Kuhlemann, R., Lorenz, E., Müller, R., ve Beyer, H.G., 2003. Solar Energy Assessment Using Remote Sensing Technologies

Haigh J. D. (1996), The impact of solar variability on climate, Science, 272, 981–984.

Haupt, S. E., Kosovic, B., Jensen, T. L., Lee, J., Jimenez Munoz, P., Lazo, J. K., … Hinkleman, L. (2016). The Sun4Cast® Solar Power Forecasting System: The Result of the Public-Private-Academic Partnership to Advance Solar Power Forecasting (No. NCAR/TN-526+STR). doi:10.5065/D6N58JR2.

Henderson-Sellers, A., & Wilson, M. F. (1983). Surface albedo data for climatic modeling. Reviews of Geophysics, 21(8), 1743-1778.

Hottel HC, Whiller A. Evaluation of fiat plate solar collector performance, Transactions of the Conference on Use of Solar Energy, The Scientific Basis, vol. II(I), Section A. University of Arizona Press, 1958; 74.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2001), Climate change 2001: The scientific basis, in Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by J. T. Houghton ve ark., 881 pp., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K., and New York.

Kandilci, G. N., & Koçak, K. (2017). Türkiye için Global Güneş Radyasyonu Persistans Haritalarının Oluşturulması. İklim Değişikliği ve Çevre, 6(1), 8-13.

Karataş, A. (2012). Güneş enerjisinden elektrik üretimi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.

Karaveli, A.B., ve Akinoglu, B.G., 2018b. Comparisons and Critical Assessment of Global and Diffuse Solar Irradiation Estimation Methodologies. Int. J. Green Energy, 15, 325-332

Kasten F, Young AT. Revised optical air mass tables and approximation formula. Applied Optics 1989; 28: 4735–4738.

Kaygusuz, K., 1999. The Comparison of Measured and Calculated Solar Radiations in Trabzon, Turkey. Energy Sources, 21, 347-353.

Kılıç, A. ve Öztürk, A., Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul, 1983.

Khosravi, A., Koury, R., Machado, L., & Pabon, J. (2018). Prediction of hourly solar radiation in Abu Musa Island using machine learning algorithms. Journal of Cleaner Production, 176, 63-75

Kleın, I., Gessner, U. and C. Kuenzer, 2012: Regional land cover mapping in Central Asia using MODIS time series. Applied Geography 35, 1–16

Koppen, W. (1873), Uber mehrjahrige Perioden der Witterung insbesondere uber die 11 jahrige Periode der Temperatur, Z. Oesterr. Ges. Meteorol., 8, 241.

Labitzke, K., and H. van Loon (1992), Association between the 11-year Cycle and the atmosphere V: Atmosphere, J. Clim., 5, 240–251.

Lin, X.; Wu, S.; Chen, B.; Lin, Z.; Yan, Z.; Chen, X.; Yin, G.; You, D.; Wen, J.; Liu, Q. Estimating 10-m land surface albedo from SENTINEL-2 satellite observations using a direct estimation approach with Google Earth Engine. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2022, 194, 1–20.

Liu, Y., Chu, C., Zhang, R., Chen, S., Xu, C., Zhao, D., ... & Cao, Z. (2024). Impacts of high-albedo urban surfaces on outdoor thermal environment across morphological contexts: A case of Tianjin, China. Sustainable Cities and Society, 100, 105038.

Lovelock, J. E. (1967), Gaia as seen through the atmosphere, Atmos. Environ., 6(8), 579–580.

Maisongrande, Philippe; Almar, Rafael; Bergsma, Erwin W. J. (January 2019). "Radon-Augmented SENTINEL-2 Satellite Imagery to Derive Wave-Patterns and Regional Bathymetry". Remote Sensing. 11 (16): 1918. Bibcode:2019RemS...11.1918B. doi:10.3390/rs11161918.

Machler MA, Iqbal M. A modification of the ASHRAE clear sky irradiation model. ASHRAE Transactions 1985; 91(1a): 106.

Menges, H.O., Ertekin, C., Sonmete, M.H., (2006). “Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey”, Energy Conversion and Management, 47(18): 3149-3173.

Moberg, A., D. M. Sonechkin, K. Holmgren, N. M. Datsenko, and W. Karlen (2005), Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data, Nature, 433, 613–617.

Nijigorodov N. Improved ASHRAE model to predict hourly and daily solar radiation components in Botswana, Namibia, and Zimbabwe. WREC 1996; 1: 1270.

Nkemdirim, L. C. (1972). A note on the albedo of surfaces. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 11(5), 867-874.

North, G. R., R. F. Cahalan, and J. A. Coakley (1981), Energy balance climate models, Rev. Geophys. Space Phys., 19, 91–121.

Olcan, C. (2015). Güneş radyasyonu tahmini için bulanık zaman serisi yöntemleri ve fotovoltaik sulama sistemi optimizasyonunda uygulanması. (Tez No. 421040) [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=Br_XTptK8CZ70f0JGX9xEs JD0S85HsS-RuFs02OMEN-hvbSlUTeidrxh_NRT41P5

Özdemir, Y., 2012. Uydu Tabanlı Kuadratik Model İle Türkiye'de Güneş Radyasyonu Dağılımının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Öztürk, M., Özek, N., & Berkama, B. (2012). Isparta için aylık ortalama günlük global güneş radyasyonu tahmininde mevcut olan bazı modellerin karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(1), 13-27.

Page, J. K., (1961). The estimation of monthlymean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40o N-40o S. Conference on New Sources of Energy. 378-390.

Paltridge, G. W. (1980), Cloud Radiation feedback to climate, Q. J. R. Meteorol. Soc., 106, 895–899.

Pandey, P., & Soupir, M. (2012). A new method to estimate average hourly global solar radiation on the horizontal surface. Atmospheric Research, 114-115, 83-90.

Parishwad GV, Bhardwaj RK, Nema VK. Estimation of hourly solar radiation for India. Renewable Energy 1997; 12(3): 303.

Payne, R. E. (1972). Albedo of the sea surface. Journal of the Atmospheric Sciences, 29(5), 959-970.

Perez R, Ineichen P, Maxwell E, Seals R, Zelenka A. Dynamic global to direct conversion models. ASHRAE Transactions 1990; 98: 354–369.

Polatkan, D. S. (2009). Fotovoltaik Güneş Elektiriği Sistemleri. YEKSEM 2009 5. Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 215-217.

Premalatha, N., & Valan Arasu, A. (2016). Prediction of solar radiation for solar systems by using ANN models with different back propagation algorithms. Journal of Applied Research and Technology, 14(3), 206-214

Rich, P. M., R. Dubayah, W. A. Hetrick, and S. C. Saving. 1994. "Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, 524–529.

Rich, P. M., and P. Fu. 2000. "Topoclimatic Habitat Models." Proceedings of the Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling.

Russell, T. C., Saive, R., Augusto, A., Bowden, S. G., & Atwater, H. A. (2017). The influence of spectral albedo on bifacial solar cells: A theoretical and experimental study. IEEE Journal of photovoltaics, 7(6), 1611-1618.

Rüstemli, S., Dinçer, F., Çelik, M., & Cengiz, M. S. (2013). Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 141-147.

Sarsmaz, H. Y. (Ed.). (2020). Temel Tıp Bilimlerinde Tıbbi Tanı ve Tedavi Yöntemleri. Livre de Lyon.

Sayın, S., & Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 26(3), 89-106.

Shaddel, M., Javan, D., & Baghernia, P. (2016). Estimation of hourly global solar irradiation on tilted absorbers from horizontal one using Artificial Neural Network for case study of Mashhad. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53, 59-67. Elsevier Ltd.

Short, N.M. "The LANDSAT Tutorial Workbook: Basics of Satellite Remote Sensing". NASA Reference Publication 1078. NASA. hdl:2060/19830002188.

Singh, J. P., Walsh, T. M., & Aberle, A. G. (2014). A new method to characterize bifacial solar cells. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 22(8), 903-909.

Stephens, G. L., D. O'Brien, P. J. Webster, P. Pilewski, S. Kato, and J. Li (2015), The albedo of Earth. Rev. Geophys., 53, 141–163. doi: 10.1002/2014RG000449.

Sofia, S., and L. H. Li (2001), 2001 solar variability and climate, J. Geophys. Res., 106, 12,969, doi:10.1029/2000JA000379.

Sommerville, R., and L. A. Remer (1984), Cloud optical thickness feedbacks in the CO2 climate problem, J. Geophys. Res., 89, 9668–9672, doi:10.1029/JD089iD06p09668.

Sözen, A., ve Arçaklıoğlu, E., 2005. Solar Potential in Turkey. Appl Energy, 80(1), 35–45.

Stone, P. H. (1978), Constraints on dynamical transports of energy on a spherical planet, Dyn. Atmos. Oceans, 2, 123–139.

Stevens, B., and G. Feingold (2009), Untangling aerosol effects on clouds and precipitation in a buffered system, Nature, 7461(7264), 607–613.

Şen, Z., & Tan, E. (2001). Simple models of solar radiation data for northwestern part of Turkey. *Energy Conversion and Management*, *42*(5), 587-598.

Tahooni, A., Kakroodi, A. A., & Kiavarz, M. (2023). Monitoring of land surface albedo and its impact on land surface temperature (LST) using time series of remote sensing data. Ecological Informatics, 75, 102118.

Tahran, S., Sarı, A., (2005). Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey, Energy Conversion and Manage-ment, 46(4), 605–13.

Tarhan, S., ve Sarı, A., 2005. Model Selection For Küresel and Diffuse Radiation Over the Central Black Sea (CBS) Region of Turkey. Energy Convers Manage., 46, 605–613.

Tasdemiroglu, E., Sever, R., (1991). An improved correlation for estimating solar radiation from bright sunshine data for Turkey, Energy Conversion and Management, 31(6), 599–600, 1991.

Teke, A., Yildirim, H., & Çelik, Ö. (2015). Evaluation and performance comparison of different models for the estimation of solar radiation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 1097-1107. Elsevier Ltd.

Tiriş, M., Tiriş C., ve Türe, I.E., 1996. Correlations of Monthly-Average Daily Küresel, Diffuse and Beam Radiations With Hours of Bright Sunshine in Gebze, Turkey. Energy Convers Manage., 37(9), 1417-1421.

Togrul, IT., Togrul, H., Evin, D., (2000). Estimation of monthly global solar radiation from sunshine duration measurements in Elazığ. Renew Energy,19,587–595.

Ulgen, K., Ozbalta, N., (2000). Measured and estimated global radiation on horizontal surface for Bornova, Izmir, XII. National Thermal Science and Technical Congress, 113–8, Izmir-Turkey.

Ulgen, K. and Hepbasli, A. (2009) Diffuse Solar Radiation Estimation Models for Turkey's Big Cities. Energy Conversion and Management, 50, 149-156. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.08.013

Ulgen, K., Hepbasli, A., (2004). Solar radiation models. Part 2: Comparison and developing new models, Energy Sources, 26(5), 521–30.

Ulgen, K., Ozbalta, N., (2000). Measured and estimated global radiation on horizontal surface for Bornova, Izmir, XII. National Thermal Science and Technical Congress, 113–8, Izmir-Turkey.

Valinejad, J., Barforoshi T., Marzband, M., Pouresmaeil, E., Godina, R., ve Catalão, J.P.S., 2018. Investment Incentives in Competitive Electricity Market. Appl. Sci., 8, 1978.

Vanino, S., Nino, P., De Michele, C., Falanga Bolognesi, S., D'Urso, G., Di Bened, C., Pennelli, B., Vuolo, F., Farina, R., Pulighe, G., & Napoli, R. (2018). Capability of SENTINEL-2 data for estimating maximum evapotranspiration and irrigation

requirements for tomato crop in Central Italy. Remote Sensing of Environment, 215, 452–470. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.035

Voyant, C., Notton, G., Kalogirou, S., Nivet, M., Paoli, C., Motte, F., & Fouilloy, A. (2017). Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review. Renewable Energy, 105, 569-582. Elsevier Ltd.

Wu, S., Lin, X., Bian, Z., Lipson, M., Lafortezza, R., Liu, Q., ... & Chen, B. (2024). Satellite observations reveal a decreasing albedo trend of global cities over the past 35 years. Remote Sensing of Environment, 303, 114003.

Yildiz, M., and Oz, S. (1994) Evaluation of the solar energy potential of Turkey, Proceedings of the 6th National Energy Congress, İzmir, Turkey, 250–260.

URL 1, https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/albedo-nedir

URL 2, https://climatechange.bogazici.edu.tr/albedo-nedir/

URL 3, https://www.orbitenerji.com/orbit-akademi/fotovoltaik-panel-yapisi-nasildir

URL 4, https://genelmekanik.com/index.php/2018/07/30/pv-enerji-sistmeleri-ve-fotovoltaik-gunes-panelleri/

URL 5, http://www.kocsanenerji.com/tr/faydali_bilgiler-15/gunes_panelleri_nasil_calisir_-66.html

URL 6, https://gepa.enerji.gov.tr/

URL 7, https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/modeling-solar-radiation.htm)

URL 8, https://ets.anadolu.edu.tr/storage/nfs/CBS201U/ebook/CBS201U-11V1S1-8-0-1-SV1-ebook.pdf

URL 9, https://www.akrad.org.tr/elektromanyetik-spektrum-nedir/

URL 10, https://tr.wikipedia.org/wiki/I%C5%9F%C4%B1k#cite_note-3

URL 11, https://evrimagaci.org/elektromanyetik-spektrum-tayf-nedir-12795

URL 12, https://en.wikipedia.org/wiki/SENTINEL-2

URL 13, https://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/

URL 14, https://developers.google.com/earth-engine/guides/playground

URL 15, https://developers.google.com/earth-engine/datasets

URL 16 , https://yceo.yale.edu/how-convert-landsat-dns-albedo).

URL 17, https://ntrs.nasa.gov/citations/20080012200

URL 18, https://www.nrel.gov/gis/solar-resource-maps.html

URL 19, https://ral.ucar.edu/solutions/products/wrf-solar

URL 20, https://www.solcast.com/live-and-forecast

URL 21, (https://tr.wikipedia.org/wiki/LANDSAT).

URL 22, (https://en.wikipedia.org/wiki/SENTINEL-2).

URL 23, https://earthengine.google.com/platform/