

Google Earth Engine Üzerinde Sentinel-2 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Yanan Alanların Farklı Eşik Değerlerinde Belirlenmesi

Determination of Burned Areas at Different Threshold Values Using Sentinel-2 Satellite Images on Google Earth Engine

Sinan Demir^{1*} 

¹*Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 32200, Isparta/Türkiye.*

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Sinan Demir
sinandemir@isparta.edu.tr

doi: [10.48123/rsgis.1264208](https://doi.org/10.48123/rsgis.1264208)

Yayın süreci

Geliş tarihi: 13.03.2023
Kabul tarihi: 07.06.2023
Basım tarihi: 28.09.2023

Özet

Yangınların ekosistemleri ve biyolojik çeşitliliği tehdit etmesi nedeniyle, yanan alanların tespiti ve rehabilite çalışmalarının planlanması önemlidir. Uzaktan algılama teknolojileri, arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, uydu görüntüleri ve Google Earth Engine (GEE) kullanarak yanan alanlarının tespit edilmesi ve arazi örtüsündeki değişimin belirlenmesi önemlidir. Çalışmada GEE platformunda uygun kod bloğu geliştirilerek yanan alanların yüksek çözünürlüklü Sentinel-2 uydu görüntüsü ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma alanının 2020 Eylül ve 2021 Eylül aylarına ait Sentinel-2A uydu görüntülerinden hesaplanan Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksleri (NDVI) farklı eşik değerlerine göre (0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6) oluşturulan fark katmanlarından, küresel su yüzeyi verisi maskelenerek arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların belirlenmesi için uygun kod bloğu geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda, farklı eşik değerlerine sahip yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünde, 0.3 eşik değerinde arazi örtüsü ve yanan alan karışması olmadan kullanılacak eşik değeri belirlenmiştir. Elde edilen eşik değerinin alansal büyüklüğü, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) yanan alan verileri ile karşılaştırıldığında %93'ü (68254 hektar) olduğu belirlenmiştir. GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntülerinin geliştirilen kod bloğu kullanılarak, yanan alanlardaki değişikliklerin izlenmesine ve takip edilmesine yardımcı olabileceği önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: GEE, Sentinel-2, Yanan alan, Eşik değeri, Konumsal analiz

Abstract

It is important to detect burned areas and plan rehabilitation efforts, due to the threat of wildfires to ecosystems and biological diversity. Remote sensing technologies play a critical role in identifying changes in land cover and detecting burned areas. Therefore, it is important to use satellite imagery and Google Earth Engine (GEE) to detect burned areas and determine changes in land cover. In this study, a suitable code block was developed on the GEE platform to identify burned areas using high-resolution Sentinel-2 satellite imagery. For this purpose, a suitable code block has been developed to determine land cover changes and burnt areas by using Normalized Difference Vegetation Indices (NDVI) calculated from Sentinel-2A satellite images for the study area in September 2020 and September 2021, based on different threshold values generated from difference layers, and masking the global water surface data from these layers. As a result, a threshold value of 0.3 was identified in the high-resolution satellite image that could be used without mixing land cover and burned areas. The areal extent of the obtained threshold value was determined to be 93% (68254 hectares) when compared with Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) burned area data. The developed code block using Sentinel-2 satellite images on the GEE platform can help monitor and track changes in burned areas.

Keywords: GEE, Sentinel-2, Burned area, Threshold, Spatial analysis

1. Giriş

Arazi örtüsü ve arazi kullanım değişimi, insan faaliyetlerinin doğaya olan etkileri bakımından oldukça önemlidir. İnsan nüfusunun artması, kentleşme, sanayileşme, tarım ve ormancılık faaliyetleri gibi faktörler doğal alanları etkilemekte ve zaman içerisinde değiştirmektedir. Bu nedenle, arazi örtüsü ve arazi kullanımının değişimi, doğal kaynakların sürdürülebilirliği, biyoçeşitlilik, iklim değişikliği, erozyon ve su kaynakları yönetimi gibi konularda önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Bu değişimlerin belirlenmesi, doğal kaynakların korunması, yönetimi ve sürdürülebilir kullanımı bakımından önem arz etmektedir (Şenol vd., 2020; Ayele vd., 2022; Dengiz vd., 2022). Arazi örtüsü, yeryüzünü kaplayan bitki örtüsü olup ekolojik, sosyal ve ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Ayrıca arazi örtüsü, ekosistem ve ekolojik denge açısından önemlidir. Bu ekolojik denge sağlandığında, toprak erozyonu azalmakta ve su kaynakları korunmaktadır. Arazinin bitki örtüsü ile kaplı kalmasını sağlamak, karbondioksit salınımını azaltarak iklim değişikliğine karşı mücadelede yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda, arazi örtüsü, biyoçeşitlilik açısından büyük bir öneme sahiptir ve farklı canlıların yaşam alanını oluşturmaktadır. Bitki örtüsü kaynaklarının korunması, gıda güvenliği ve ekonomik kalkınma açısından kritik öneme sahiptir. Arazi örtüsündeki meydana gelen bozulmalar ekosistem üzerinde büyük sorunları da beraberinde getirmektedir. Arazi örtüsünde en önemli değişikliklere ve ekosistemdeki kayıplara sebep olan faktör yangındır. Yanan araziler ciddi sorunlara neden olmaktadır (Mathewos vd., 2022; Weslati vd., 2023). Bu sorunlar arasında ekosistem tahribatı, biyoçeşitliliğin azalması, iklim değişikliği, hava ve su kirliliği, habitat kaybı ve insan sağlığına zarar verme yer almaktadır. Bu nedenle, yangınların önlenmesi ve kontrol altına alınması hayati önem taşımaktadır.

Uzaktan algılama teknolojileri, yanan alanları tespit etmek için kullanılan bir dizi yöntemi içermektedir. Bu yöntemler arasında termal algılama, hiperspektral algılama, LİDAR ve multispektral algılama yer alır. Bu teknolojiler, yangınların neden olduğu hasarı tespit etmek için etkili araçlardır (Bo vd., 2022; Payra vd., 2023). Yangınların neden olduğu ekolojik, sosyal ve ekonomik zararların hızlı bir şekilde belirlenmesi ve etkin mücadele yöntemleri hakkında bilgi üretmek için kullanılmaktadır. Geniş alanlardaki yangınların belirlenmesinde yaygın olarak uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan sivil ve ticari uydu görüntüleri bulunmaktadır (Hosseini vd., 2022). Sentinel-2 uydusu ücretsiz görüntü temin edilebilen sivil uydu görüntüsü içerisinde yer almaktadır. Sentinel-2 uydu görüntüleri, yanan alanların tespiti ve izlenmesi için kullanılan uydulara örnek olarak verilebilir. Bu uydu görüntüleri, yüksek çözünürlüklü multispektral özelliklere sahip olması bakımından araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu özellikleri sayesinde Sentinel-2 uydu görüntüleri yangınların tespitinde ve izlenmesinde diğer uydu platformlarına göre avantaj sağlamaktadır (Lasaponara vd., 2022). Orta Avrupa'da meydana gelen yangınların tespitinde Sentinel-2A uydu görüntüleri kullanılarak yapılan çalışma sonuçlarına göre; yangınların yerini ve boyutunu yüksek doğrulukta sonuçlarla elde edildiği belirtilmiştir (Amos vd., 2019). Sentinel uydu görüntüleri, çeşitli yollarla yangınları izlemek için de kullanılabilir. Örneğin, Sentinel-3 uydu görüntüleri kullanılarak Afrika'da meydana gelen orman yangınlarının yerini ve boyutunu %95 doğruluk oranı ile tespit edildiği çalışma sonucunda belirtilmiştir (Xu vd., 2021).

Google Earth Engine (GEE), Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak yanan alanların tespiti için yaygın olarak kullanılan bir araçtır. GEE, büyük ölçekli veri analizi yapabilen bir platform olduğundan, yanan alanların otomatik olarak tespitinde çok etkili sonuçlar verdiği birçok çalışmada belirtilmektedir (Roteta vd., 2021a; Seydi vd., 2021; Lasaponara vd., 2022; Bahşi vd., 2023). Örneğin, GEE kullanarak Avustralya'da 2019-2020 orman yangınları sırasında yanan alanların tespiti için Sentinel-2 uydu görüntüleri GEE platformunda Mask R-CNN (maske bölgesel evrimsel sinir ağı) derin öğrenme modeli kullanılarak yanan alanların yüksek doğrulukta tespit edildiği ve yanan alanların belirlenmesinde kullanılabilecek önemli spektral bantların belirlendiği ifade edilmektedir (Hu vd., 2021). Bir diğer çalışmada, GEE kullanarak Hindistan'daki orman yangınlarının tespiti için Sentinel-2 uydu görüntüleri GEE platformunda yanan alanlar için otomatik olarak önceden eğitilmiş bir yapay sinir ağı modeli ile yüksek doğrulukta belirlendiği ifade edilmiştir (Liu vd., 2023). GEE kullanarak farklı bölgelerdeki orman yangınlarının izlenmesinde Sentinel-2 uydu görüntülerinin etkili bir araç olduğu birçok çalışma sonucunda belirtilmiştir. Küresel anlamda literatür incelendiğinde Türkiye, Amazon, California ve Avustralya'daki orman yangınları için yapılan çalışmalarda Sentinel-2 verileri, yangınların tespiti ve analizi için kullanılarak başarılı sonuçların elde edildiği belirtilmiştir (Brovelli vd., 2020; Seydi vd., 2021; Arıkan vd., 2022). Bu örnekler, GEE kullanarak Sentinel uydu görüntüleriyle yanan alanların otomatik tespitinin başarılı bir şekilde belirlenmesinde ve yangınların kontrol altına alınması için önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Orman yangınlarının belirlenmesinde ve haritalanmasında histogram eşik değerlerine göre NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) indeksinin kullanılabileceği belirtilmiştir (Chen vd., 2016; Long vd., 2019).

Türkiye, iklim değişikliği, orman yangınları ve diğer çevresel tehditlerle karşı mücadele etmek zorunda olan bir ülkedir. Bu nedenle, yanan alanları belirlemek, yangınların yayılmasını ve gelecekte olası yangınlara karşı risk haritalarını üreterek olabilecek afetleri önlemek için uzaktan algılama teknolojileri kullanılmaktadır. Türkiye'deki bazı çalışmalar, orman yangınlarının tespiti ve etkilerinin haritalandırılması için Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak yapılmaktadır.

2020'de Antalya'nın Manavgat ilçesinde, Muğla'nın Marmaris ilçesinde ve 2021'de Hatay'ın Hassa ilçesinde meydana gelen orman yangınları, görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlenmiş ve yangının etkisi haritalandırılmıştır (Alkan Akıncı ve Akıncı, 2023; Yılmaz vd., 2023; Sevinç, 2023). Bu çalışmalar, yanan alanların tespit edilmesinin ve yangınların olası etkilerinin haritalandırılmasının, yangın söndürme çalışmalarına yardımcı olduğunu göstermektedir.

Sentinel uydu görüntülerinde bitki vejetasyonu hakkında bilgi edinmek için kullanılan indeksler arasında NDVI, EVI (Enhanced Vegetation Index), VFC (Vegetation Fractional Cover), DI (Disturbance Index) ve NDMI (Normalized Difference Moisture Index) gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu indeksler, bitki örtüsünün büyüme oranını, sağlığını ve stres düzeylerini belirleyen parametreleri kullanarak bitki yoğunluğu, bitki örtüsü yoğunluğu, bitki büyümesi, yeşil alanların varlığı ve yerleşim yerlerinin ayrımını yapabilmektedir. Özellikle NDVI indeksi bitki örtüsü ve bitki yoğunluğu tespitinde sıkça kullanılmaktadır (Chuvieco vd., 2002; Lacouture vd., 2020; Lasaponara vd., 2022). NDVI, bitki sağlığı, yoğunluğu ve fotosentez aktivitesi hakkında bilgi veren bir bitki indeksidir. Bu indeks, bitki örtüsünün yoğunluğunu ölçer ve yüksek NDVI değerleri, yoğun bitki örtüsünü gösterir. Bu nedenle, yanan alanların belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, yanan alanları belirlemek için NDVI indeksini kullanmıştır. Örneğin, 2020 yılında İzmir'de meydana gelen orman yangınları için NDVI indeksi kullanılarak yanan alanlar belirlenmiştir (Nasery ve Kalkan, 2020). Nasery ve Kalkan (2020) tarafından yapılan çalışmada, GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntülerinden hesaplanan NDVI değerlerindeki değişimler, yangın sonrası meydana gelen hasarın tespitinde kullanılmıştır.

Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanarak arazi örtüsü ve kullanımını belirleme yöntemi, özellikle büyük alanların kapsamını tespit etmek için etkin bir kullanım kolaylığı sağlamaktadır (Lasaponara vd., 2022). GEE, bu yöntemin hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için uygun bir araç sağlamaktadır. Chen vd. (2016) Landsat-5 TM görüntüleri kullanarak yanmış orman alanlarını farklı yöntemler kullanılarak haritalanmasının mümkün olabileceğini önermişlerdir. Yangın alanları, nehirler, yollar ve şehir alanları önce görsel olarak çıkarılmış ve ardından NDVI, EVI, FVC ve DI gibi dört indeks hesaplanmıştır. Her bir indeks için, yanmış orman alanını ayırtmak için optimal eşik değerleri histogramlar kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada NDVI histogramlarına ait eşik değerleri yanan alanlar için 0.2-0.6 arasında dağılım gösterdiği belirtilmiştir. Bu yöntem, yangınlar gibi arazi örtüsü değişikliklerinin izlenmesi ve takibi için daha objektif, verimli, daha az iş gücü ve daha tekrarlanabilir olduğu söylenebilir.

GEE ve Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak Türkiye'deki yanan alanları belirleme çalışmalarının amacı, doğal afetlerin yol açtığı yıkımların hızlı ve etkili bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olmaktır (Nasery ve Kalkan, 2020; Demir, 2020; Arıkan vd., 2022; Yılmaz vd., 2023). Özellikle orman yangınları gibi doğal afetler, büyük alanlarda hasara ve çevresel kayba neden olabilir. Uzaktan algılama teknolojisi ve Sentinel-2 uydu görüntüleri, yangınların meydana geldiği alanları belirlemek ve yangın sonrası iyileşme sürecini izlemek için etkili bir araçtır (Xulu vd., 2021). Bu çalışmalar, yangınlarla mücadele ve orman yönetimi gibi konularda karar vericilere ve diğer ilgili taraflara değerli bilgiler sağlayabilir.

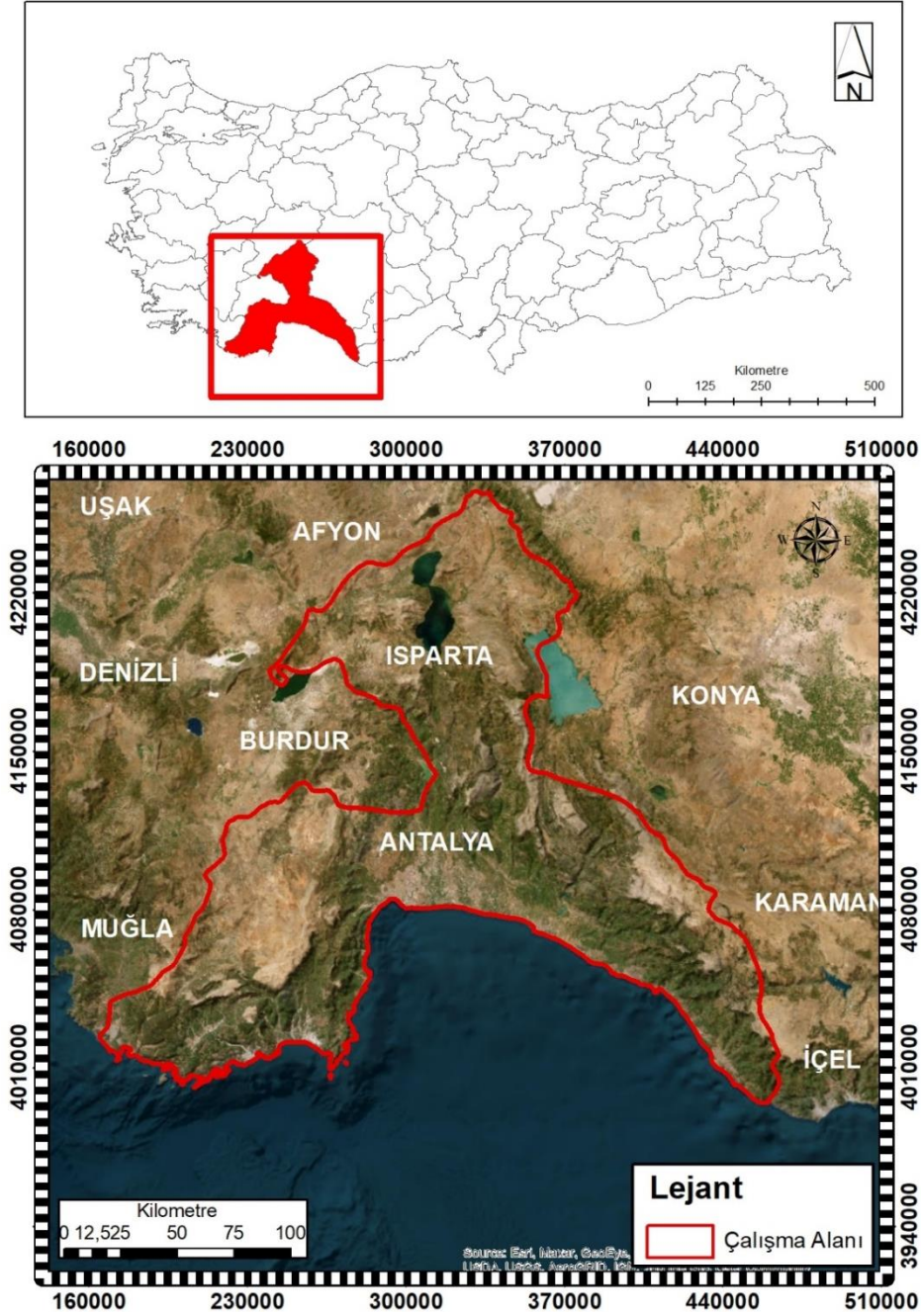
Sentinel-2 uydu görüntüleri ve MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu verileri, yangın tespiti ve izleme için kullanılan iki farklı teknolojidir. Sentinel-2 uydu görüntüleri yüksek çözünürlüklü, daha ayrıntılı ve net görüntüler sağlarken, MODIS uydu verileri ise daha geniş bir alanı kapsayabilir ve daha yüksek tekrarlanma oranına sahip olduğu bilinmektedir (Zhang vd., 2021). Yanan alanları kıyaslamak için, öncelikle her iki uydu veri setinin de aynı tarihteki görüntülerinin alınması gereklidir. Bu görüntüler daha sonra aynı coğrafi projeksiyon sistemine dönüştürülmelidir. Daha sonra, iki farklı uydu veri setinin de aynı yangın gözetleme sistemini kullanarak elde edilen yangın sıcak noktaları ve yangın sınır verileri karşılaştırılabilir. Bu sıcak noktaların ve sınırların tutarlılığı, iki farklı uydu sisteminden elde edilen yangın verilerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini belirlemeye yardımcı olacaktır. Sonuç olarak, Sentinel-2 uydu görüntüleri ve MODIS uydu verileri, yanan alanların tespiti ve izlenmesi için farklı ama birbirini tamamlayıcı teknolojilerdir. Her iki veri setinin de kullanımı, daha doğru güvenilir yangın tespiti ve izleme sonuçları elde etmeye yardımcı olabilmektedir.

Isparta ve Antalya illerinde orman yangınları sıkça meydana gelmekte ve bu durumdan doğal kaynaklar zarar görmektedir. Bu çalışma, 2021 yılında meydana gelen 320 adet yangın ve yaklaşık 61789 hektar yanan alanın (OGM, 2023), GEE ortamında Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla, Sentinel-2 uydusunun 2020 ve 2021 Eylül ayına ait alınan görüntüleri kullanılmıştır. Arazi örtüsü değişimleri, NDVI görüntülerinin farkı alınarak oluşturulan tematik harita kullanılarak belirlenmiştir. Bu işlem uzman görüşü, referans MODIS "BurnDate" bandı ve histogram analizi ile yapılmış olup farklı eşik değerlerindeki mekânsal değişimi belirlemek için kaynak kodu geliştirilmiştir. Mekânsal analizleri MODIS yanan alan verisi ile validasyon işlemi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, bölgedeki doğal kaynakların korunmasına ve gelecekte benzer doğal afetlerin önlenmesine katkıda bulunabilecek tematik haritaların üretilmesinde kullanılabilecek model üretilmiştir. GEE platformu ve Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak yapılan çalışma sonucunda, yangınların neden olduğu hasarın belirlenmesi, yangın kontrolü ve orman yönetimi gibi konularda karar vericilere yardımcı olabilecek veriler sağlamak için kullanılabileceği belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Isparta ve Antalya illerini kapsayan çalışma alanı, 31.0822°- 38.7794° Kuzey enlemleri ile 29.1566°- 33.9954° Doğu boylamları ile arasında yer almaktadır (Şekil 1). Isparta ve Antalya illeri, Türkiye'nin güneyinde yer alan önemli tarım ve ormanlık alanlara sahip bir bölge içerisinde yer almaktadır. Bu bölge, iklimi ve bitki örtüsü açısından oldukça zengindir. Bölge, Toros Dağları'nın güney yamaçlarında yer alır ve kıydan itibaren yükseltinin artmasıyla birlikte artışı göstermektedir. Bölgenin doğusunda Beydağları, batısında ise Burdur Gölü yer alır. Jeolojik olarak, bölge özellikle kıyı şeridinde volkanik kayalar ve kireçtaşlarından oluşur. İç kesimlerde ise granit ve metamorfik kayalar yaygındır. Bu farklı kayaç türleri, bölgedeki coğrafi özellikleri ve arazi kullanımını etkilediği belirtilmektedir (Özgül, 1976).



Şekil 1. Çalışma alanı konum haritası

İklim olarak, bölgede tipik bir Akdeniz iklimi hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçer. Ancak yüksek rakımlı yerlerde karasal iklimin etkileri görülebilir. Isparta ili, Akdeniz iklimi ile Orta Anadolu'da hüküm süren karasal iklim arasında geçiş bölgesinde yer almaktadır (Dursun ve Yazıcı, 2022). İl genelinde ortalama yıllık yağış miktarı 526 mm, ortalama yıllık sıcaklık ise 12.5°C'dir. Kış aylarında sıcaklık sıfırın altına düşebilirken, yaz aylarında sıcaklıklar 30-35°C'ye kadar yükselebilmektedir. Antalya ilinin iklimi Akdeniz iklimi özellikleri taşır ve yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçer. İl genelinde ortalama yıllık yağış miktarı 1054.9 mm, ortalama yıllık sıcaklık ise 19 °C'dir. Kış aylarında sıcaklık nadiren sıfırın altına düşerken, yaz aylarında sıcaklıklar 30-35°C'ye kadar yükselebilir. Isparta iline göre, Antalya'da daha ılık ve nemli bir iklim hakimdir (MGM, 2023). Bölgedeki bu iklim koşulları da, orman yangınları gibi doğal afetlerin sıklığını ve yayılımını etkiler. Isparta ve Antalya illeri arazi örtüsü ve arazi kullanımı açısından oldukça farklılık göstermektedir. Antalya ilinde, sahil şeridi boyunca Akdeniz kıyı ormanları, ardından geniş çam ormanları ve makilikler yer almaktadır. İç kesimlerde ise daha çok bozkır alanları ve tarım arazileri bulunmaktadır (Kuzucuoğlu vd., 2019). Isparta ilinde ise, kırsal alanlarda çam ormanları, yaylalar ve bozkır alanları hakimdir. Ayrıca, ilde birçok tarım arazisi de bulunmaktadır. Ancak, her iki il de ormancılık açısından oldukça önemlidir. Antalya ilinde yer alan Tahtalı Dağı Milli Parkı ve Isparta ilinde yer alan Gölcük Gölü Tabiat Parkı, Yazılı Kanyon Tabiat Parkı, Kovada Gölü Milli Parkı ve Kızıldağ Milli Parkı gibi birçok milli park ve doğal koruma alanı bulunmaktadır. Bu nedenle, orman yangınlarının kontrol altına alınması, bölgedeki doğal kaynakların korunması açısından da büyük önem taşımaktadır (Özçelik, 2018). Isparta ilinde bulunan en önemli su kaynaklarından biri, Güneydoğu Toroslar'da yer alan ve Türkiye'nin en büyük ikinci doğal gölü olan Eğirdir Gölü'dür. Ayrıca Gölcük Gölü, Kovada Gölü ve Karacaören Barajı gibi önemli su kaynakları da bulunmaktadır (Şener ve Davraz, 2021). Antalya ilinde de su kaynakları oldukça zengin bir yerdir. İbradı ilçesinde yer alan Altınbeşik Mağarası, Türkiye'nin en büyük yer altı gölleri arasında yer alır. Ayrıca Düden Şelalesi, Kurşunlu Şelalesi ve Manavgat Şelalesi gibi doğal güzellikleri barındıran sulak alanlar da bulunmaktadır (Zeybek ve Kalyoncu, 2016). Bu su kaynakları ve sulak alanlar, bölgede bulunan canlı türlerinin barınması ve yaşam döngülerini sürdürmesi için büyük önem taşır. Ancak orman yangınları ve çevreye olumsuz yönde etki eden faktörler gibi tehditler, bu doğal su kaynaklarının sürdürülebilirliğini ve yaşam döngülerini olumsuz etkilemektedir.

2.2. Veri Tabanı

Google Earth Engine (GEE, 2021) platformunda çalışma alanına ait veri setleri Tablo 1'de belirtilmiştir. Antalya ve Isparta illerini kapsayan çalışma alanı için "FAO/GAUL/2015/level1" veri seti kullanılmıştır. Çalışma alanı içerisinde maskeleme işlemi için "JRC/GSW1_0/GlobalSurfaceWater" veri seti kullanılmıştır. Multispektral Sentinel-2 görüntüsü için "COPERNICUS/S2_SR" veri seti kullanılmıştır. MODIS uydu görüntüsünün 2021 yılındaki yanan alan verisi için ise "MODIS/006/MCD64A1" veri seti kullanılmıştır.

Tablo 1. Yanan alanların belirlenmesinde kullanılan veri tabanları

Veri Tabanı Kodu	Veri Tabanı Açıklaması
'FAO/GAUL/2015/level1'	Bu veri tabanı, FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) küresel idari birim sınıflandırmasına (GAUL) dayanmaktadır. Bu veri tabanı, dünya genelindeki ülkelerin sınırlarını, alt bölümlerini ve bazı önemli sosyoekonomik verileri içermektedir (FAO, 2015).
'JRC/GSW1_0/GlobalSurfaceWater'	Bu veri tabanı, Dünya yüzeyinin su kaynaklarını izlemeye yönelik bir proje olan Küresel Yüzey Suyu İzleme (Global Surface Water Monitoring - GSW) tarafından yönetilmektedir. Bu veri tabanı, dünya genelindeki su kaynaklarını, su gölleri, akarsular ve rezervuarlar gibi yüzey sularını izlemek için yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılmaktadır (JRC, 2016).
'COPERNICUS/S2_SR'	Bu veri tabanı, Avrupa Birliği'nin Copernicus programı tarafından sağlanan Sentinel-2 uydu serisi tarafından toplanan yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerini içermektedir. Bu görüntüler, yeryüzünün renkli görüntülerini sağlar ve bitki örtüsü, su ve toprak gibi yeryüzü özelliklerinin izlenmesinde kullanılmaktadır (Roca vd., 2022).
'MODIS/006/MCD64A1'	Bu veri tabanı, NASA tarafından işletilen MODIS uydu serisinden elde edilen verileri içerir. Bu veri tabanı, küresel yangınların izlenmesi için kullanılan yangın algılama verilerini içermektedir. Veriler, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak toplanmaktadır ve yangınların yeri, büyüklüğü ve yoğunluğunu belirlemek için kullanılmaktadır (Xu vd., 2022).

"MODIS/006/MCD64A1" veri tabanından alınan "BurnDate" bandı, yangın aktivitelerinin tespit edilmesi ve izlenmesi için kullanılan bir MODIS uydu verisi bandıdır. Bu bandın özelliği, yeryüzünde meydana gelen yangınların tespit edilmesine yardımcı olmasıdır. BurnDate bandı, MODIS sensörleri tarafından toplanan termal verileri temel almaktadır. Yangınlar, yanan alanların yüzey sıcaklığının normalden daha yüksek olması nedeniyle termal bantlarda belirgin bir şekilde görülebilir. MODIS uydu verileri, bu termal bantlarda yangın tespiti için kullanılır ve yangınların yerini, büyüklüğünü ve yoğunluğunu belirlemeye yardımcı olmaktadır (Boschetti vd., 2009).

2.3. Yöntem

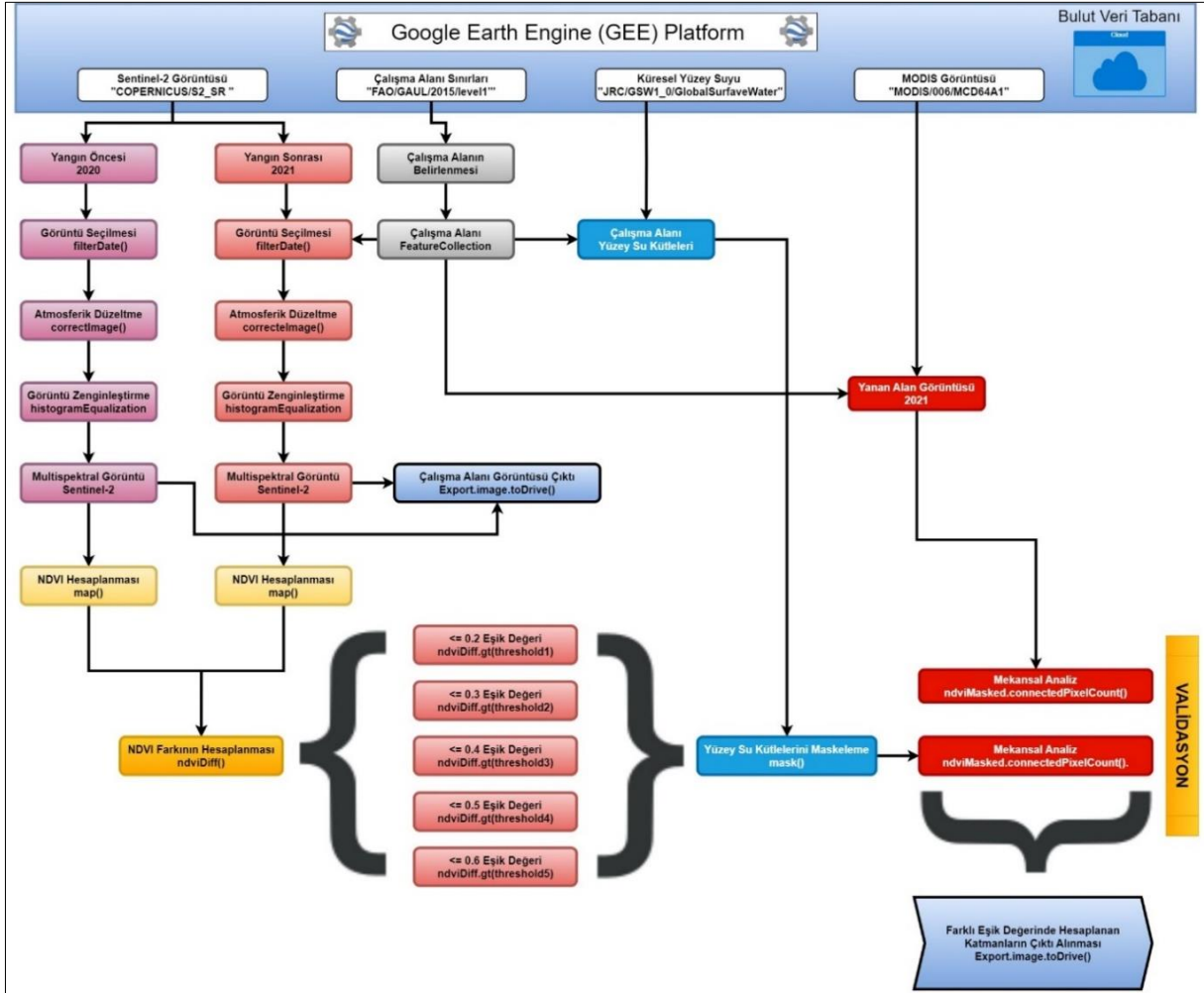
GEE platformunda (GEE, 2021) Sentinel-2 uydu görüntülerini kullanarak, çalışma alanında farklı eşik değerlerine göre (Chen vd., 2016) NDVI (Zhang vd., 2018) hesaplanarak belirlenen yanan alanlar verisi ve MODIS yanan alan verisinin mekânsal analiz sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. GEE platformunda elde edilen katmanlar GeoTIFF dosya formatında dışa aktarılmış bu durum yöntem akış şeması olarak Şekil 2’de verilmiştir.

Kod, aşağıdaki işlem adımlarını içermektedir:

- isparta ve antalya isimli iki farklı FeatureCollection nesnesi oluşturulur. Bu nesnelere FAO/GAUL/2015/level1 veri kümesinden alınan verilerden filtrelenmiştir.
- studyArea adlı fonksiyonu ile FeatureCollection nesnesi oluşturulmuştur. Bu, isparta ve antalya nesnelerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.
- COPERNICUS/S2_SR Sentinel-2 yüzey yansıma verileri ImageCollection veri kümesi yüklenir ve çalışma alanı sınırları içindeki görüntüleri filtrelemek için filterBounds() fonksiyonu kullanılmıştır.
- filterDate() fonksiyonu kullanarak veriler, 2020 yılındaki 2020-09-01 ve 2020-09-30 arasındaki Sentinel-2 uydu görüntüleri ve 2021 yılındaki 2021-09-01 ve 2021-09-30 arasındaki Sentinel-2 uydu görüntüleri için tarihlerle sınırlandırılmıştır. Bu işlem sonucunda, filtreleme tarihleri arasında 5 gün tekrar ziyaret sıklığı içerisindeki alınan %10’dan düşük bulutluluk oranına sahip görüntü seçilmiştir. Çalışma alanını kapsayan 151 adet Sentinel-2 uydu görüntüsü seçilmiştir. Kompozit görüntü medyan mozaik yöntemi kullanılarak (Roteta vd. 2021b) oluşturulmuştur.
- correctImage() adlı fonksiyon, her bir görüntüyü atmosferik düzeltme işlemlerinden geçirir ve sonucu yeniden boyutlandırılmıştır. Her bir görüntüde histogramEqualization() adlı fonksiyon histogram eşitlemesi için kullanılmıştır. Bu fonksiyon ile görüntü zenginleştirme işlemi yapılmıştır. Atmosferik düzeltme işlemi, çalışmada kullanılan görüntüde piksel normalizasyonu ve 8 bit veri dönüşümünü yapmak için geliştirilmiştir. Histogram eşitleme işlemi, gerçek renk kompozisyonunda kullanılacak bantlara ait piksellerin histogramı hesaplanarak yapılmıştır. Piksellerin frekans dağılımı elde edilmiştir. Normalleştirilmiş piksel değerleri orijinal görüntü 0-255 aralığına geri ölçeklendirilmiştir. GEE ortamındaki Sentinel-2 görüntülerinde tekrar atmosferik düzeltme yapılarak çalışma alanına ait görüntüleri spesifik hale dönüştürülmüştür. Bu kod çalışma için kullanılan bantlara uygulanmak için geliştirilmiştir.
- map() yöntemi kullanılarak atmosferik düzeltilmiş ve görüntü zenginleştirilmesi yapılmış görüntülerin NDVI’si hesaplanır ve ImageCollection’a eklenir.
- NDVI katmanlarını haritada göstermek için bir renk paleti tanımlanmıştır. ndviThreshold fonksiyonu kullanarak farklı eşik değerlerindeki (0.2, 0.3, 0.4, 0.5 ve 0.6) katmanlar oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan eşik değerleri Chen vd. (2016) tarafından belirlenen eşik değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, uydu görüntüsünde yanan alanlar, MODIS BurnDate bandı kullanılarak ve histogram analizi yüksek uyum gösteren eşik değerleri belirlenmiştir.
- Farklı eşik değerinde oluşturulan NDVI katman haritalarından dünya yüzey suları mask() fonksiyonu kullanılarak maskelenerek mekânsal analiz işleminde yanan alanlar ile su kütlelerinin karışması önlenmiştir. Farklı eşik değerlerinde oluşturulan katmanların mekânsal büyüklükleri ndviMasked.connectedPixelCount() fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır.
- Google Earth Engine platformunda MODIS uydu verileri kullanılarak 2020-2021 yılı Eylül aylarına ait "BurnDate" katmanı filtrelenmiştir. Daha sonra çalışma alanı sınırlarına göre kırpma işlemi yapılmıştır. Kırpma işleminden sonra renk paleti tanımlanmış ve kırmızı renkte yanan alanlar gösterilmiştir.
- Map.addLayer() fonksiyonu kullanılarak oluşturulan katmanlar GEE platformuna eklenmiştir.
- Export.image.toDrive() fonksiyonu kullanılarak NDVI, Sentinel-2 görüntüleri ve MODIS yanan alan katmanı, Google Drive’a GeoTIFF formatında dışa aktarılmıştır.

Sonuç olarak, bu kod bloğu, GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak NDVI hesaplamayı ve sonuçlarını dışa aktarmayı gösterir. NDVI fark görüntüsünde yanan alanların belirlenmesinde kullanılacak eşik değerleri, görsel inceleme, histogram analizi (Chen vd., 2016) ve MODIS yanan alan verileri (Boschetti vd., 2009) kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca yanan arazi değişimi ve yanan alan belirlenmesinde kullanılacak eşik değeri belirlenmiştir. İki NDVI tematik katmanı arasında fark alır.

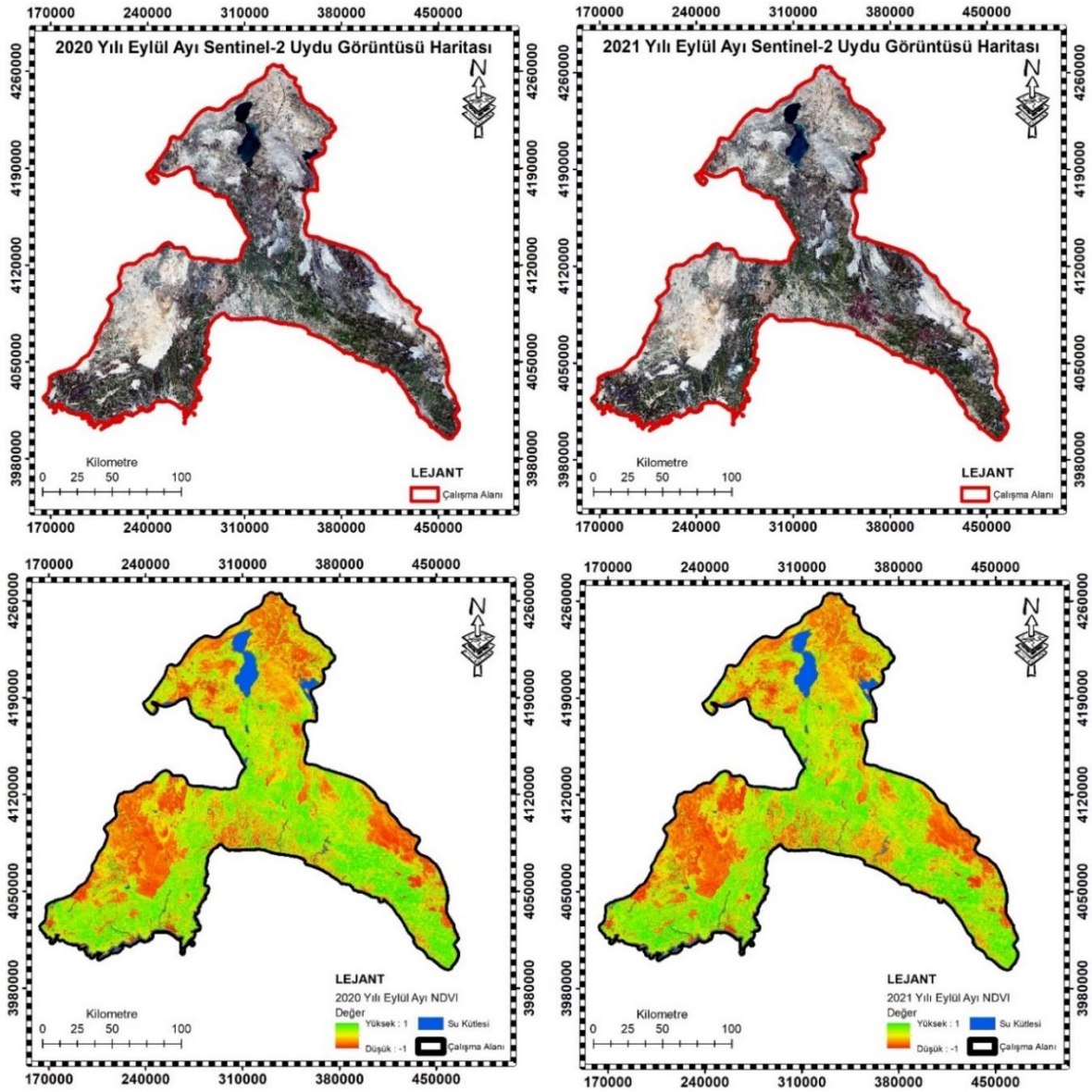
Fark NDVI tematik katmanı belirli eşik değerlerine (0.2, 0.3, 0.4, 0.5 ve 0.6) göre yanan alan katmanlarını oluşturur. Daha sonra, fark katmanı üzerinde dünya yüzey suyu maskelenerek alan hesaplamaları yapılmaktadır. Elde edilen NDVI değerlerindeki farklı eşik değerlerindeki yanan alanlar belirlenmiş ve çalışma alanı içindeki su kütlelerine ait pikseller maskelenmiştir. Çalışma alanına ait hesaplanan yanan alan değerlerinin validasyon işlemi MODIS verisi kullanılarak yapılmıştır. Farklı yıllarda çalışma alanına ait yanan alanların belirlenmesi üzerine uygun yöntem belirlenmiştir (Şekil 2). Belirlenen yöntem ulusal ve uluslararası ölçekte kalibrasyonu yapılarak geliştirilen kod bloğu GEE ortamında açık kaynak kodlu olarak kullanıma paylaşılacaktır.



Şekil 2. Yöntem akış şeması

3. Bulgular ve Tartışma

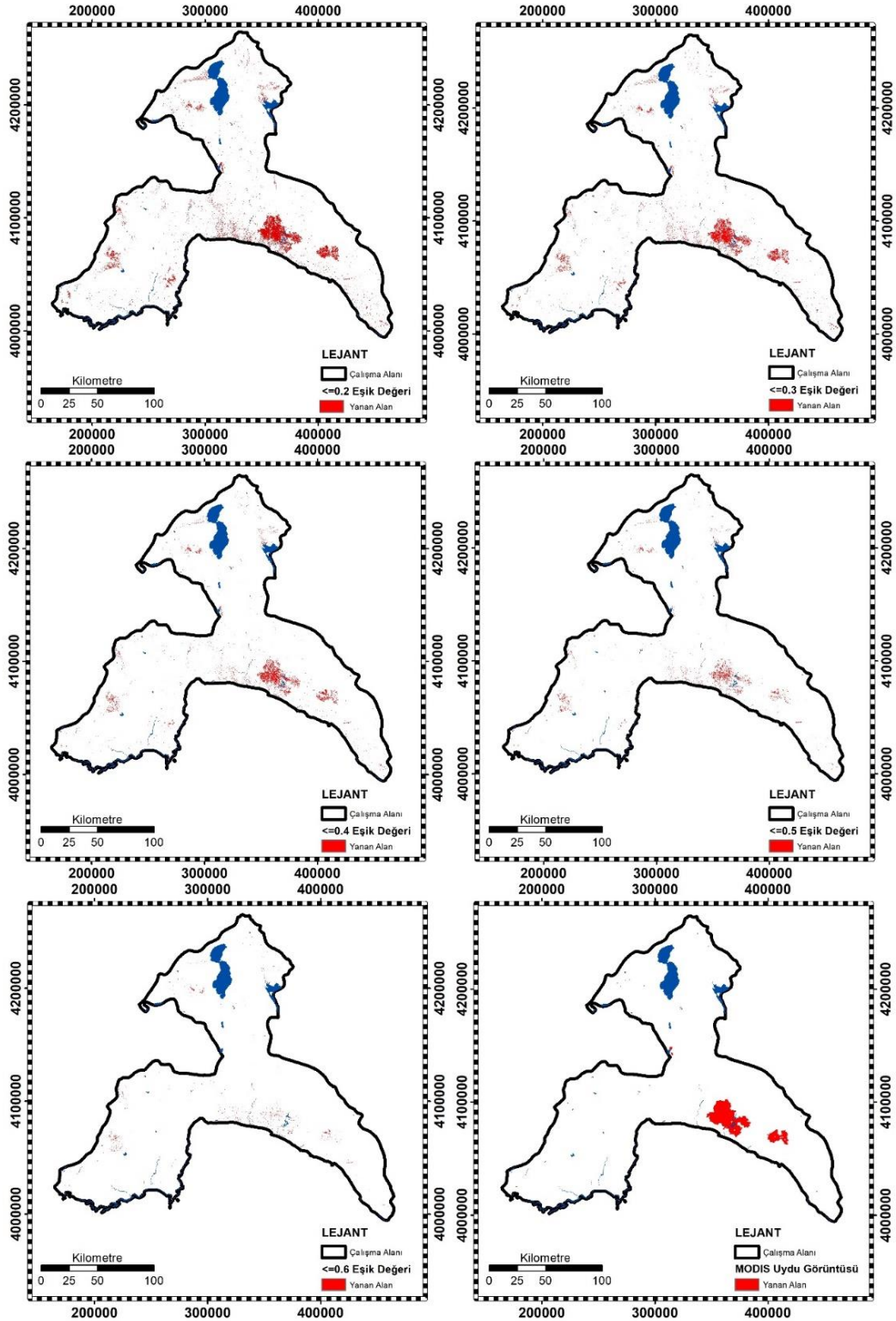
Orman yangınları, özellikle yaz aylarında, sıcak ve kurak hava koşulları nedeniyle bu bölgede sık sık meydana gelmektedir. Bu nedenle bölge, doğal kaynakların korunması ve orman yönetimi konularında hassasiyetle takip edilmektedir. İlgili çalışma, Isparta ve Antalya il sınırı içerisindeki orman yangınlarına odaklanmaktadır ve yangınların neden olduğu hasarı belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanına ait GEE ortamında atmosferik düzeltme ve histogram eşitleme ile görüntü zenginleştirme işlemi yapılmış 2020 ve 2021 Eylül aylarına ait yüksek çözünürlüklü (10 m) Sentinel-2 uydü görüntüsü haritaları ve su kütleleri maskelenerek oluşturulan eylül ayına ait NDVI haritaları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanı Sentinel-2 uydu görüntüsü ve NDVI katmanları

Türkiye, iklim değişikliği, orman yangınları ve diğer çevresel tehditlerle mücadele etmek zorunda olan bir ülkedir. Sentinel-2 uydusu kullanarak NDVI haritası oluşturma ve yanan alanların belirlenmesi, özellikle orman yangınları gibi doğal afetlerin önlenmesi veya etkilerinin azaltılması açısından son derece önemlidir. Sentinel-2 uydusu, dünya yüzeyindeki bitki örtüsü, tarım arazileri, su kaynakları ve toprak özellikleri gibi birçok yararlı bilgiyi sağlayabilmektedir. Sentinel-2 uydusu, yüksek mekansal çözünürlüklü görüntüleme yapabilen multispektral bantlar içeren sensöre sahiptir. Bu nedenle, NDVI haritaları oluşturmak ve yanan alanları tespit etmek için kullanılabilir. Çalışmalar, Sentinel-2 uydusu kullanarak NDVI haritalarının orman yangınları gibi doğal afetlerin izlenmesi ve kontrol altına alınması için önemli bir araç olduğunu göstermektedir (Chen vd., 2016; Amos vd., 2019; Nasery ve Kalkan, 2020; Lasaponara vd., 2022; Yılmaz vd., 2023; Bahşi vd., 2023).

Yanmış alanların haritalanması için yakın kızılötesi bantlara dayalı spektral indeksler, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bantları içeren indekslerden daha az etkili olduğu kanıtlanmış olsa da, NDVI bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır (Chuvienco vd., 2019). Bitki canlılığı için hesaplama yapılan NDVI, teorik olarak yangınların neden olduğu pigment ve yaprak yapısı bozulmalarının tespit edilebildiği bilinmektedir (Lasaponara, 2006). Bu nedenle, yangın öncesi ve sonrası NDVI değerleri arasındaki farkın yanmış alanların tespitinde yardımcı olduğu belirtilmektedir (Pulvirenti vd., 2020). Çalışma alanına ait 2020 ve 2021 Eylül aylarına ait NDVI görüntüsünde farklı eşik değerleri kullanılarak belirlenen alanlar Şekil 4'te verilmiştir. Düşük mekansal çözünürlüklü MODIS yanan alan verisi ile çalışma alanı içerisindeki yüksek çözünürlüklü belirlenen alanların sonuçları karşılaştırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanı farklı eşik değerlerinde hesaplanan yanar alan katmanları

Eylül ayı, çoğu bölgelerde yaz mevsiminin sonunu ve sonbaharın başlangıcını işaret eder. Bu mevsimsel değişim, Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak arazi örtüsü değişimi ve yanar alanların belirlenmesinde önemli bir faktördür (Williams vd., 2019; Amos vd., 2019; Ranagalage vd., 2021; Yılmaz vd., 2023). Bu nedenle çalışma alanına ait farklı yıllardaki aynı alanın eylül ayı içerisindeki uydu görüntüsü ile oluşturulan NDVI haritalarındaki arazi örtüsü değişimi ve yanar alanların belirlenmesi farklı eşik değerlerine göre belirlenmiştir. Belirlenen farklı eşik değerindeki mekânsal çözünürlüğü yüksek veriler ile alanlar belirlenmiştir. Bu alanların büyüklükleri düşük çözünürlüklü MODIS yanar alan verileri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmalar, arazi örtüsü değişimi ve yanan alan belirlenmesinde farklı eşik değerine sahip NDVI değerleri kullanmanın başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir (Chen vd., 2016; Sertel vd., 2018; Abdikan vd., 2022; Topaloğlu vd., 2022). Das vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada, yanan alanlar ve diğer arazi örtüleri farklı indeksler kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, yanan alanların sınıfı için NDVI değerlerinin en yüksek 0.59 ve en düşük 0.21 olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, kendi çalışmamızda kullandığımız eşik değerlerini desteklemektedir. Çalışma alanına ait belirlenen eşik değerleri ile arazi örtüsü ve yanan alanların alansal büyüklüklerine ait sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı eşik değerlerinde hesaplanan yanan alanların mekansal analizi

Sentinel-2 NDVI Eşik Değeri	Yanan Alan ve Arazi Değişimi (hektar)	Değişim (%)		MODIS Yanan Alan Sınırı İçerisinde Kalan Alan (hektar)	Değişim (%)		MODIS Yanan Alan (hektar)	OGM 2021 Yılı Yanan Alan Verisi (hektar)
		MODIS (%)	OGM (%)		MODIS (%)	OGM (%)		
≤0.2	100.474	138.2	162.6	49359	67.9	79.9	72.703	61.789
≤0.3	68.254	93.9	110.5	39052	53.7	63.2	72.703	61.789
≤0.4	44.787	61.6	72.5	27480	37.8	44.5	72.703	61.789
≤0.5	23.247	32.0	37.6	13365	18.4	21.6	72.703	61.789
≤0.6	7.881	10.8	12.8	2704	3.7	4.4	72.703	61.789

GEE ortamında belirlenen eşik değerleri ve alansal büyüklük sonuçlarına göre 0.2 eşik değeri ile düşük çözünürlüklü MODIS uydusu ile hesaplanan alanlardan fazla olduğunu göstermektedir. Eşik değeri 0.2 olduğunda yüksek çözünürlüklü veri ile belirlenen alanın fazla olması, belirlenen arazi örtüsü ve yanan alanların daha yüksek oranda hesaplanması tarım ve orman alanlarındaki değişimlerin karıştığı ve pozitif değerler verdiği belirlenmiştir. Ayrıca yüksek çözünürlükte arazi örtüsündeki boşlukların belirlenmesi ve değişimin daha düşük düzeyde olması beklenmektedir. Eşik değeri 0.3 olduğunda belirlenen 68.254 hektar alan MODIS verisi ile belirlenen yanan alan verisinin %93.88’ine karşılık gelmektedir. Eşik değeri olduğunda belirlenen 68.254 hektar alanın OGM (2023) yer verilerine göre belirlenen alan verisinin %110.5’ine karşılık gelmektedir. Doğrulama verisi olarak kullanılan MODIS yanan alan verisinde çözünürlük ve karışmalar nedeniyle OGM (2023) verisinden mekansal büyüklüğü fazla olduğu belirlenmiştir. Belirlenen yanan alan ve arazi değişimi sınıfının büyük çoğunluğu yanan alanları temsil ettiği belirlenmiştir (Tablo 2). GEE ortamında geliştirilen kod bloğunun kabul edilebilir düzeyde doğrulukla 0.3 eşik değerinde yanan alanları belirlemek için NDVI bitki indeksinin kullanılabilmesini göstermektedir. Histogram analizi sonucuna göre MODIS yanan alan verisi içerisindeki NDVI farkının ortalama eşik değeri 0.3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü kullanılarak eylül ayına ait arazi örtüsü değişimleri ve yanan alan miktarının belirlenmesinde kullanılabilmesini göstermektedir (Tablo 2). Eşik değeri 0.3 olduğu durumda arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların içerisindeki boşluklar belirlenebileceği ve yüksek çözünürlüklü verilerin başarısını arttırdığı belirlenmiştir. Diğer eşik değerlerinde ise oranların giderek düştüğü ve MODIS verisi ile belirlenen alanlardaki ormanlık alanlarda başarının düştüğü belirlenmiştir (Tablo 2). Farklı eşik değerleri kullanılarak arazi örtüsü değişim analizlerinde, eşik değerlerinin artmasıyla birlikte daha hassas hale geldiği belirtilmiştir. Fakat yüksek eşik değerlerinin kullanılması orman yangınlarının tespitinde yararlı, tarım alanlarında yanlış pozitif sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Sertel vd., 2018; Topaloğlu vd., 2022). Benzer şekilde, farklı eşik değerleri kullanarak yapılan bir başka çalışmada, 2020 yılında Türkiye’de yaşanan orman yangınları sonrasında yanmış alanların tespiti için Sentinel-2 NDVI görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarında en uygun eşik değerlerinin belirlenmesi için farklı yöntemlerin birleştirilmesi önerilmiştir (Abdikan vd., 2022). Çalışma alanı için elde edilen sonuçlar arazi değişimi ve yanan alanların belirlenmesinde daha hassas eşik değerinin 0.3 olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları yapılan çalışmalar ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. GEE ortamında Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak 2020 ve 2021 Eylül ayına ait NDVI haritaları ile farklı eşik değerleri kullanılarak yapılan arazi değişimi ve yanan alan belirlenmiştir. Çalışma sonucunda farklı eşik değerlerindeki belirlenen alanlarda görüntüdeki tuz-biber etkisi ve gölge etkisi nedeniyle tek piksel olduğu alanlarda karışmalar olduğu belirlenmiştir. Bu tek piksellerin fark işlemi sırasında meydana gelen bozulmalar ve gölge etkisi çok az miktarda yanan alan içine girebileceği belirlenmiştir. Bu durum yaklaşık 30.000 km² büyüklüğünde bir alana ait yanan alanların belirlenmesi üzerine yapılan çalışmada kabul edilebilir düzeyde olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu durum piksellerin birleştirilmesi uygulaması ile bozuk piksellerin azaltılması mümkündür. Fakat MODIS uydusu kaba çözünürlüklü olmasından dolayı yüksek çözünürlüklü sonuçlar kullanılmıştır Chuvieco vd. (2002) tarafından yapılan yanan alanları farklı spektral indeksler kullanarak belirledikleri çalışma sonucunda, NDVI indeksi için benzer karışmalar olduğunu belirtmişlerdir. Farklı eşik değerleri kullanıldığında, arazi değişimi oranlarının da değiştiği gözlemlenmiştir. Daha yüksek eşik değerleri kullanıldığında arazi değişim oranları daha düşük olurken, daha düşük eşik değerleri kullanıldığında ise arazi değişim oranları daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 2020 ve 2021 yılları arasında en yüksek arazi değişim oranları, 0.2 ve 0.3 eşik değerleri ile elde edilmiştir.

Ancak 0.4, 0.5 ve 0.6 eşik değerleri kullanıldığında da anlamlı arazi değişim oranları elde edilmiştir. Chen vd. (2016) tarafından yapılan çalışma sonuçlarında 0.2 ve 0.3 eşik değerinde yanan alan sınıfı en yüksek düzeyde belirlenirken, eşik değerleri arttıkça yanan alan sınıfı içerisinde düştüğü belirtilmiştir. Long vd. (2019) LANDSAT görüntüsünde 30 m çözünürlüklü yıllık yanan alanları Google Earth Engine üzerinden belirlediği araştırmada NDVI eşik değeri değişim oranları, 0.2 ve 0.3 eşik değerleri ile elde etmiştir. Çalışma sonuçları yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Arazi değişimi oranlarının en yüksek olduğu alanlar, genellikle ormanlık ve sulak alanlar ile tarım arazileri arasındaki geçiş bölgeleri olmuştur. Bu bölgelerde insan faaliyetlerine bağlı arazi kullanım değişiklikleri gözlemlenmiştir. Bu sorunun ortadan kaldırılabilmesi için su kütlelerinin maskelenmesi işleminin başarılı olduğu belirlenmiştir. Yanan alanların çoğunluğu, orman ve çalılık alanlarıdır. Yanan alanların büyük bir kısmı, insan kaynaklı etkinliklerden kaynaklanan yangınlar nedeniyle gerçekleşmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma sonuçlarına göre, GEE ortamında Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların belirlenmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Doğru eşik değerinin belirlenmesi, doğal afet riskinin ve arazi örtüsü değişiminin doğru bir şekilde belirlenmesi açısından önemlidir. Bu nedenle, farklı eşik değerleri kullanılarak yapılan çalışma sonucunda en uygun eşik değeri belirlenmiştir. Çalışma alanında 0.3 eşik değeri kullanılarak arazi örtüsü değişimi ve yanan alanlar gibi doğal afet riskinin doğru şekilde belirlenmesine ve gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olabileceği belirlenmiştir. GEE ortamında Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak 2020 ve 2021 yılı Eylül ayına ait NDVI haritaları ile farklı eşik değerleri kullanılarak yapılan arazi değişimi ve yanan alan belirleme çalışması sonuçlarına ilişkin bazı gözlemler şunlardır:

- Farklı eşik değerleri kullanıldığında, arazi değişimi ve yanan alan belirleme sonuçları önemli ölçüde farklılık gösterebilir.
- Belirlenen eşik değeri arttıkça, yanan alanların belirlenmesindeki doğruluk artar, ancak diğer arazi değişimi sınıflarının doğruluğu azalır.
- Belirlenen eşik değeri düşük olduğunda, yüksek NDVI değerine sahip olan ve kırsal alanda olması beklenen bitki örtüsü de yanan alan olarak belirlenebilir.
- Belirlenen eşik değeri yüksek olduğunda, küçük ölçekli yanan alanlar belirlenemeyebilir.
- Yüksek NDVI değerlerinin yanan alan olarak yanlış sınıflandırılmasını önlemek için, diğer uydu görüntüleri ve/veya mekansal verilerle birlikte kullanılması gerekmektedir.
- Türkiye’de diğer alanlara geliştirilen kod uygulanarak, yer tabanlı gözlemler ve diğer coğrafi verilerle entegre edilerek daha kesin sonuçlar elde etmek için kullanılabilecektir.

Bu gözlemler ışığında, arazi değişimi ve yanan alan belirleme çalışmaları için en uygun eşik değerinin belirlenmesi önemlidir. Bu, belirli bir bölgeye ve çalışmanın amaçlarına bağlı olarak değişebilir. Arazi örtüsü değişimi ve yanan alanların doğru şekilde belirlenmesinde ve gerekli önlemlerin alınmasında GEE ortamında hızlı ve düşük maliyetli önlemlerin, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile yapılabileceği önerilmektedir.

Kaynaklar

- Abdikan, S., Bayik, C., Sekertekin, A., Bektas Balcik, F., Karimzadeh, S., Matsuoka, M., & Balik Sanli, F. (2022). Burned area detection using multi-sensor SAR, optical, and thermal data in Mediterranean pine forest. *Forests*, 13(2), 347. doi: 10.3390/f13020347.
- Akay, A. E., Podolskaia, E., & Uçar, Z. (2021). Effects of Improving Forest Road Standards on Shortening the Arrival Time of Ground-based Firefighting Teams Accessing to the Forest Fires. *European Journal of Forest Engineering*, 7(1), 32-38. doi: 10.33904/ejfe.952174.
- Alkan Akıncı, H., & Akıncı, H. (2023). Machine learning based forest fire susceptibility assessment of Manavgat district (Antalya), Turkey. *Earth Science Informatics*, 16(1), 397-414.
- Amos, C., Petropoulos, G. P., & Ferentinos, K. P. (2019). Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. *International Journal of Remote Sensing*, 40(3), 905-930.
- Arıkan, C., Tümer, İ. N., Aksoy, S., & Sertel, E. (2022, June). Determination of burned areas using Sentinel-2A imagery and machine learning classification algorithms. In *4th Intercontinental Geoinformation Days, 2022. Proceedings*. (pp. 43-46).
- Ayele, G. T., Seka, A. M., Taddese, H., Jemberrie, M. A., Ndehedehe, C. E., Demissie, S. S., & Melesse, A. M. (2022). Relationship of attributes of soil and topography with land cover change in the Rift Valley Basin of Ethiopia. *Remote Sensing*, 14(14), 3257. doi: 10.3390/rs14143257.

- Bahşi, K., Ustaoglu, B., Aksoy, S., & Sertel, E. (2023). Estimation of emissions from crop residue burning in Türkiye using remotely sensed data and the Google Earth Engine platform. *Geocarto International*, 38(1), 2157052. doi: 10.1080/10106049.2022.2157052.
- Bo, W., Liu, J., Fan, X., Tjahjadi, T., Ye, Q., & Fu, L. (2022). BASNet: Burned Area Segmentation Network for Real-Time Detection of Damage Maps in Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1627913. doi: 10.1109/TGRS.2022.3197647.
- Boschetti, L., Roy, D., Hoffmann, A. A., & Humber, M. (2009, November 10). MODIS Collection 5 Burned Area Product-MCD45. *User's Guide, Ver. 2*, 1-2. Retrieved from https://www.fao.org/fileadmin/templates/gfims/docs/MODIS_Burned_Area_User_Guide_2.0.pdf.
- Brovelli, M. A., Sun, Y., & Yordanov, V. (2020). Monitoring forest change in the amazon using multi-temporal remote sensing data and machine learning classification on Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 580. doi: 10.3390/ijgi9100580.
- Chen, W., Moriya, K., Sakai, T., Koyama, L., & Cao, C. X. (2016). Mapping a burned forest area from Landsat TM data by multiple methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(1), 384-402.
- Chuvieco, E., Martin, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110.
- Chuvieco, E., Mouillot, F., Van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., ... & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45-64. doi: 10.1016/j.rse.2019.02.013.
- Das, P., Behera, M. D., Barik, S. K., Mudi, S., Jagadish, B., Sarkar, S., ... & Chauhan, P. S. (2022). Shifting cultivation induced burn area dynamics using ensemble approach in Northeast India. *Trees, Forests and People*, 7, 100183. doi: 10.1016/j.tfp.2021.100183.
- Demir, N. (2020). NDVI analysis of Australian Bushfires with cloud computing. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 78-84.
- Dengiz, O., Dedeoğlu, M., & Kaya, N. S. (2022). Determination of the relationship between rice suitability classes and satellite images with different time series for Yeşil Küre Farm Lands. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 32(3), 507-526.
- Dursun, İ., & Yazıcı, N. (2022). Köppen-Trewartha ve Thornthwaite yöntemlerine göre Isparta yöresi iklim tipinin belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2), 264-279.
- FAO. (2015, Şubat 23). *Global Administrative Unit Layers (GAUL) level 1*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved From <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=12691>.
- GEE. (2021, Şubat 23). *Google earth engine [computer software]*. Retrieved From <https://earthengine.google.com/>.
- Hosseini, A., Hashemzadeh, M., & Farajzadeh, N. (2022). UFS-Net: A unified flame and smoke detection method for early detection of fire in video surveillance applications using CNNs. *Journal of Computational Science*, 61, 101638. doi: /10.1016/j.jocs.2022.101638.
- Hu, X., Ban, Y., & Nascetti, A. (2021). Uni-temporal multispectral imagery for burned area mapping with deep learning. *Remote Sensing*, 13(8), 1509. doi: /10.3390/rs13081509.
- JRC. (2016, Şubat 23). *Global surface water occurrence version 1.0 (1984-2015) european commission*. Joint Research Centre (JRC). Retrieved from <https://global-surface-water.appspot.com/download>.
- Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., & Kazancı, N. (2019). The geomorphological regions of Turkey. In Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., Kazancı, N. (Eds.), *Landscapes and Landforms of Turkey* (pp. 41-178), Springer, Cham.
- Lacouture, D. L., Broadbent, E. N., & Crandall, R. M. (2020). Detecting vegetation recovery after fire in a fire-frequented habitat using normalized difference vegetation index (NDVI). *Forests*, 11(7), 749. doi: /10.3390/f11070749.
- Lasaponara, R. (2006). Estimating spectral separability of satellite derived parameters for burned areas mapping in the Calabria region by using SPOT-Vegetation data. *Ecological Modelling*, 196(1-2), 265-270.
- Lasaponara, R., Abate, N., Fattore, C., Aromando, A., Cardettini, G., & Di Fonzo, M. (2022). On the use of Sentinel-2 NDVI time series and Google Earth Engine to detect land-use/land-cover changes in fire-affected areas. *Remote Sensing*, 14(19), 4723. doi: 10.3390/rs14194723.
- Liu, L., Zhang, Q., Guo, Y., Chen, E., Li, Z., Li, Y., ... & Ri, A. (2023). Mapping the Distribution and Dynamics of Coniferous Forests in Large Areas from 1985 to 2020 Combining Deep Learning and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 15(5), 1235. doi: 10.3390/rs15051235.
- Long, T., Zhang, Z., He, G., Jiao, W., Tang, C., Wu, B., ... & Yin, R. (2019). 30 m resolution global annual burned area mapping based on LANDSAT Images and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(5), 489. doi: 10.3390/rs11050489.
- Mathewos, M., Lencha, S. M., & Tsegaye, M. (2022). Land use and land cover change assessment and future predictions in the Matenchose Watershed, Rift Valley Basin, using CA-Markov simulation. *Land*, 11(10), 1632. doi: /10.3390/land11101632.

- MGM. (2023, Şubat 23). *Türkiye İklim İstatistikleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. Retrieved From <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISPARTA>.
- Nasery, S. & Kalkan, K. (2020). Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The case of Karabağlar district, İzmir/Turkey. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(2), 72-77.
- OGM. (2023, Mayıs 2). *Resmi İstatistikler, Orman Genel Müdürlüğü*. Retrieved From <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>.
- Özçelik, H. (2018). Flora of Dedegül Mountain and its effects to agricultural production of lakes region. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(2), 38-46.
- Özgül, N. (1976). Toroslar'm bazı temel jeoloji özellikleri. *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 19, 65-78.
- Payra, S., Sharma, A., & Verma, S. (2023). Application of remote sensing to study forest fires. In A.K. Singh & S. Tiwari (Eds.), *Atmospheric Remote Sensing: Principles and Applications Earth Observation* (pp. 239-260). Elsevier Science.
- Pulvirenti, L., Squicciarino, G., Fiori, E., Fiorucci, P., Ferraris, L., Negro, D., ... & Puca, S. (2020). An automatic processing chain for near real-time mapping of burned forest areas using sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 12(4), 674. doi: 10.3390/rs12040674.
- Ranagalage, M., Morimoto, T., Simwanda, M., & Murayama, Y. (2021). Spatial analysis of urbanization patterns in four rapidly growing south Asian cities using Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*, 13(8), 1531. doi: /10.3390/rs13081531.
- Roca, M., Navarro, G., García-Sanabria, J., & Caballero, I. (2022). Monitoring sand spit variability using Sentinel-2 and Google Earth Engine in a Mediterranean Estuary. *Remote Sensing*, 14(10), 2345. doi: 10.3390/rs14102345.
- Roteta, E., Bastarrika, A., Franquesa, M., & Chuvieco, E. (2021a). Landsat and Sentinel-2 Based Burned Area Mapping Tools in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(4), 816. doi: 10.3390/rs13040816.
- Roteta, E., Bastarrika, A., Ibisate, A., & Chuvieco, E. (2021b). A preliminary global automatic burned-area algorithm at medium resolution in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(21), 4298. doi: 10.3390/rs13214298.
- Sertel, E., Topaloğlu, R. H., Şallı, B., Yay Algan, I., & Aksu, G. A. (2018). Comparison of landscape metrics for three different level land cover/land use maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 408. doi: /10.3390/ijgi7100408.
- Sevinç, V. (2023). Mapping the forest fire risk zones using artificial intelligence with risk factors data. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(2), 4721-4732.
- Seydi, S. T., Akhoondzadeh, M., Amani, M., & Mahdavi, S. (2021). Wildfire damage assessment over Australia using sentinel-2 imagery and MODIS land cover product within the google earth engine cloud platform. *Remote Sensing*, 13(2), 220. doi: /10.3390/rs13020220.
- Şener, E. & Davraz, A. (2021). Yağış tabanlı farklı indisler kullanılarak meteorolojik kuraklık analizi: Isparta örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 404-418.
- Şenol, H., Alaboz, P., & Dengiz, O. (2020). Evaluation of the physico-chemical and nutrient elements status of soils formed on different parent materials using interpolation method. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(3), 505-516.
- Topaloğlu, R. H., Aksu, G. A., Ghale, Y. A. G., & Sertel, E. (2022). High-resolution land use and land cover change analysis using GEOBIA and landscape metrics: A case of Istanbul, Turkey. *Geocarto International*, 37(25), 9071-9097.
- Weslati, O., Bouaziz, S., & Sarbeji, M. M. (2023). Modelling and assessing the spatiotemporal changes to future land use change scenarios using remote sensing and CA-markov model in the mellegue catchment. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 51(1), 9-29.
- Williams, A. P., Abatzoglou, J. T., Gershunov, A., Guzman-Morales, J., Bishop, D. A., Balch, J. K., & Lettenmaier, D. P. (2019). Observed impacts of anthropogenic climate change on wildfire in California. *Earth's Future*, 7(8), 892-910.
- Xu, W., Wooster, M. J., Polehampton, E., Yemelyanova, R., & Zhang, T. (2021). Sentinel-3 active fire detection and FRP product performance-Impact of scan angle and SLSTR middle infrared channel selection. *Remote Sensing of Environment*, 261, 112460. doi: /10.1016/j.rse.2021.112460.
- Xu, L., Herold, M., Tsensbazar, N. E., Masiliūnas, D., Li, L., Lesiv, M., ... & Verbesselt, J. (2022). Time series analysis for global land cover change monitoring: A comparison across sensors. *Remote Sensing of Environment*, 271, 112905. doi: /10.1016/j.rse.2022.112905.
- Xulu, S., Mbatha, N., & Peerbhay, K. (2021). Burned Area Mapping over the Southern Cape Forestry Region, South Africa Using Sentinel Data within GEE Cloud Platform. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 511. doi: /10.3390/ijgi10080511.
- Yılmaz, O. S., Acar, U., Sanli, F. B., Gulgen, F., & Ates, A. M. (2023). Mapping burn severity and monitoring CO content in Türkiye's 2021 Wildfires, using Sentinel-2 and Sentinel-5P satellite data on the GEE platform. *Earth Science Informatics*, 16(1), 221-240.
- Zeybek, M., & Kalyoncu, H. (2016). The determination of water quality of Kargı Stream (Antalya, Turkey) in terms of physicochemical parameters. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 33(3), 223-231.

- Zhang, H. K., Roy, D. P., Yan, L., Li, Z., Huang, H., Vermote, E., ... & Roger, J. C. (2018). Characterization of Sentinel-2A and Landsat-8 top of atmosphere, surface, and nadir BRDF adjusted reflectance and NDVI differences. *Remote Sensing of Environment*, 215, 482-494. doi: /10.1016/j.rse.2018.04.031.
- Zhang, Q., Ge, L., Zhang, R., Metternicht, G. I., Liu, C., & Du, Z. (2021). Towards a deep-learning-based framework of Sentinel-2 imagery for automated active fire detection. *Remote Sensing*, 13(23), 4790. doi: /10.3390/rs13234790.