

PAPER DETAILS

TITLE: Google Earth Engine ile Türkiye'de Yanmış Alanların MODIS ve FireCCI51 Küresel Yanmış Alan Uydu Gözlem Verileriyle Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

AUTHORS: Hasan Tonbul

PAGES: 69-82

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3622465>

Google Earth Engine ile Türkiye'de Yanmış Alanların MODIS ve FireCCI51 Küresel Yanmış Alan Uydu Gözlem Verileriyle Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Comparative Assessment of Burned Areas in Turkey with MODIS and FireCCI51 Global Burned Area Satellite Observation Data using Google Earth Engine

Hasan Tonbul^{1*} 

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze-Kocaeli/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Hasan Tonbul
htonbul@gtu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1410382

Yayın süreci

Geliş tarihi: 26.12.2023
Kabul tarihi: 09.03.2024
Basım tarihi: 28.03.2024

Özet

Bu çalışmada, Google Earth Engine (GEE) platformunda MODIS MCD64A1 ve European Space Agency (ESA) Fire_cci v. 5.1 (FireCCI51) küresel yanmış alan gözlem verileri kullanılarak Türkiye'de 2015-2020 yılları arasında meydana gelen yanmış alanların konumsal ve zamansal dağılımları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Avrupa Orman Yangınları Bilgi Sistemi (EFFIS) verileriyle karşılaştırılarak yanmış alanların doğruluğu ve kapsamı değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen dönem boyunca, FireCCI51'in MCD64A1'e göre daha yüksek konumsal çözünürlüğe sahip olması ve küçük yanmış alanları daha hassas bir şekilde belirleme kapasitesine sahip olması daha fazla yanmış alan miktarları hesaplamasını sağlamıştır. Ayrıca, yanmış alanlardaki arazi örtüsü türlerinin belirlenmesinde MODIS MCD12Q1 arazi örtüsü sınıflandırma ürünü kullanılmıştır. 2015-2020 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen yangınlar sonucunda yanmış bölgeler içerisinde, her iki veri setine göre de, arazi örtüsü türlerinde ekili alanlar en yüksek yanma oranına sahiptir. MODIS MCD64A1 verileri, ekili alanlardaki yanmış alan oranını % 88,93 ile % 91,80 arasında, FireCCI51 ise % 78,23 ile % 89,53 arasında belirlemiştir. Ülkemizde yanmış alanların konumsal dağılımı, özellikle Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmıştır.

Anahtar kelimeler: Arazi örtüsü, EFFIS, GEE, Küresel yanmış alan veriseti, Yanmış alan haritalama

Abstract

In this study, the spatial and temporal distributions of burned areas in Turkey between 2015 and 2020 were identified using MODIS MCD64A1 and European Space Agency (ESA) FireCCI51 global burned area observation data on the Google Earth Engine platform. The results obtained were compared with EFFIS data to evaluate the accuracy and comprehensiveness of burned areas. During the period examined in the study, FireCCI51's higher spatial resolution compared to MCD64A1 and its ability to determine small burned areas more precisely enabled it to calculate higher burned area amounts. Additionally, MODIS MCD12Q1 land cover classification product was used to determine land cover types in burned areas. Among the areas burned by fires in Turkey between 2015 and 2020, cultivated areas have the highest burn rate in land cover types according to both datasets. MODIS MCD64A1 data determined the burned area rate in cropland between 88.93% and 91.80%, and FireCCI51 determined the burned area rate between 78.23% and 89.53%. The spatial distribution of burnt areas in our country is concentrated especially in the Mediterranean, Aegean and Southeastern Anatolia regions.

Keywords: Land cover, EFFIS, GEE, Global Burned area dataset, Burned area mapping

1. Giriş

Orman yangınları, her yıl küresel ölçekte yaklaşık olarak Avrupa'nın büyüklüğüne eşit bir alanı etkilemekte ve dünya çapında önemli çevresel problemlere neden olmaktadır (Giglio vd., 2018). Yangınlar, birçok ekosistemde doğal bir bozulma sonucu meydana gelmesine rağmen özellikle belirli bölgelerde insan yaşamı için öngörülemeyen tehditler oluşturmaktadır. Aynı zamanda, dünya çapında devasa orman yangınlarının neden olduğu binlerce hektarlık yanmış alan doğal ekosistemlerin bozulması ve tahribatı noktasında ciddi problemler yaratmaktadır (Yıldız vd., 2023). Bitki örtüsünün ortadan kalkması ve bitki örtüsü yapısının değişmesi, yanma olaylarından sonra ekosistemler için zararlı etkilere neden olmaktadır (Tonbul vd., 2022). Orman yangınları sonucu atmosfere büyük miktarlarda karbondioksit salındığı ve iklim değişikliğini tetikleyen sera etkisi gazlarının arttığı tahmin edilmektedir (Amos vd., 2019). Buna ek olarak, iklim değişikliği orman yangını davranışını tetiklemekte ve birçok bölgede yaz aylarında uzun süreli kuraklıklara neden olmaktadır (Liu vd., 2010). Kuraklık dönemleri ve sıcak hava dalgaları gibi hava koşullarına bağlı tehlikeleri etkileyen öngörülemeyen iklim değişiklikleri nedeniyle, orman yangınlarının meydana gelmesi ihtimalinin önümüzdeki yıllarda da artış göstereceği tahmin edilmektedir (Katagis & Gitas, 2022).

Yanan orman alanları hakkında doğru ve güvenilir bilgiye sahip olmak, yangın olayının tüm yönleriyle anlaşılmasında ve etkili afet yönetimi planlamasında sürdürülebilir ve etkili bir orman yangın yönetimi için oldukça önemlidir (Tonbul vd., 2019; Kavzoğlu vd., 2021). Yangın yönetiminin tutarlı ve sağlam bir şekilde karakterize edilmesi, yangınlara karşı bitki örtüsünün direncini artırmaya, yakıt yönetimini iyileştirmeye, ekosistemleri korumaya, yangın emisyonlarını ölçmeye ve yanan alandaki küresel eğilimleri değerlendirmeye yardımcı olmaktadır (Moreno vd., 2014). Öte yandan, uzaktan algılama teknolojileri, orman yangınları hasar tespiti ve değerlendirilmesi hususunda bölgesel, kıtasal ve küresel ölçekte bilgi sunarak yangın yönetimi ve yangın politikalarına oldukça önemli katkılar sağlamaktadır (Chuvieco vd., 2019a).

Uzaktan algılama, uydu kaynaklı sensörler tarafından sağlanan sistematik gözlem özelliğiyle, özellikle küresel ölçekte mevcut yangın rejimlerini belirleme noktasında oldukça etkili bir araçtır. Uydu gözlemlerinin ve uzaktan algılamanın orman yangın bilimi ve yönetimi konusunda kullanılan en belirgin uygulamalarından biri, yanmış alanların analiz edilerek yangın etkilerinin tahmin ve analiz edilmesi üzerinedir (Akyürek, 2023; Demirel & Türk, 2023). Uzaktan algılama teknolojilerinin, dünya çapında geniş alanların düşük maliyetle sistematik olarak izlenmesine yönelik bilgi çıkarımına olanak sağlaması, özellikle son 20 yıllık süreçte yanmış alan bilgilerinin üretilmesini önemli ölçüde kolaylaştırmıştır (Chuvieco vd., 2019a; Katagis & Gitas, 2022).

Günümüzde, küresel yanmış alan ve aktif yangın gözlem sistemleri, yanan alan ve duman bulutlarının konsantrasyonu ve bileşimi de dahil olmak üzere birçok yangının özelliğini araştırmak için kullanılmaktadır (Kaufman vd., 2002; Giglio vd., 2018). Bu bağlamda, Avrupa Uzay Ajansı'nın İklim Değişikliği Girişimi Programı tarafından tasarlanan ve küçük yangınları tespit etmeyi amaçlayan MODIS tabanlı FireCCI51 ve/veya MODIS MCD64A1 yanmış alan gözlem verileri literatürdeki birçok çalışmada kullanılmıştır (Chuvieco vd., 2018; Campagnolo vd., 2021; Demir & Dursun, 2023; Humber vd., 2019). Bu çalışmalarda esas olarak, iki hibrit yanmış alan algoritmasının aktif yangın verilerini kullanım şekillerindeki farklılıklar ve bu farklılıkların sebepleri araştırılmıştır (Hall vd., 2021). Örneğin, Katagis ve Gitas (2022) tarafından Akdeniz ekosistemlerinde MODIS MCD64A1 ve FireCCI51 yanmış alan verilerinin doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, söz konusu verilerin orman ve yarı doğal alanlarda meydana gelen yangınları tespit etme performanslarına dair önemli bilgiler sunarak bölgesel yangın izleme uygulamalarında kullanılabilir potansiyellerini vurgulamıştır. Zhang vd. (2022) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise 2015-2019 yılları arasındaki yanmış alanlar MCD64A1 ve FireCCI51 gözlem verileri kullanılarak belirlenmiş ve bu iki veri seti arasındaki konumsal ve zamansal korelasyonlar araştırılmıştır.

Küresel ölçekli uydu sensörlerine ait yanmış alan belirleme gözlem verileri, yangın olaylarını inceleme ve izleme noktasında sundukları zamansal ve konumsal tutarlılıkları nedeniyle çeşitli ulusal ve uluslararası kurumlar tarafından günümüzde yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedirler. ABD ve Avrupa Birliği'ne bağlı birçok ülkenin küresel aktif yangın uydu gözlem ve yanmış alan tespit uydu gözlem ürünlerini (örneğin, MODIS, VIIRS, Landsat, Sentinel-2) kullanarak yangın izleme sistemleri çerçevesinde işlevsel olarak yanmış alan haritalama ürünleri geliştirdikleri ve kullanıcılara sundukları bilinmektedir. Bu bağlamda özellikle Google Earth Engine (GEE) platformunun kullanımı, MODIS ve VIIRS gibi küresel aktif yangın ve yanmış alan tespit uydu gözlem verilerinin işlenmesi ve analiz edilmesinde önemli bir role sahiptir. GEE'nin yüksek işlem gücü ve geniş veri kütüphanesi, uzun dönemli zaman serileri ve geniş konumsal kapsamda yangın olaylarının etkin bir şekilde incelenmesini mümkün kılmakta ve konumsal veri bütünlüğü ve erişilebilirliği açısından benzersiz avantajlar sunmaktadır (Rasul vd., 2021; Gholamrezaie vd., 2022).

Ülkemizde yanmış alanların tespit edilmesi ve envanterinin tutulması, Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından geleneksel yersel ölçümlere dayalı olarak yapılmakta ve güncel teknolojiler kullanılarak servis edilen uzaktan algılama esaslı küresel aktif yangın uydu gözlem veri servislerinden elde edilen verilerden yararlanılmamaktadır. Ayrıca, OGM tarafından servis edilen yanmış alanların çevre uzunluğunun ve yanmış alan miktarlarının güvenilirliği ve doğruluğunun nasıl elde edildiğiyle alakalı standart bir prosedür olmadığı bilinmektedir.

Özellikle, ülkemizin sahip olduğu ormanların büyük bir kesiminin yangın riski altında olması göz önünde bulundurulduğunda, ülkemiz için orman yangını hasar değerlendirilmesi, önlenmesi, erken tespiti ve orman yangını yönetim kararlarının desteklenmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışma kapsamında, ülkemizde geçmiş yıllara dayalı (2015-2020 yıllarını kapsayan) yanmış alanların alansal büyüklüklerini kapsayan verilerin uzaktan algılama tabanlı çeşitli küresel yanmış alan gözlem ürünleri kullanılarak elde edilmesi ve buna bağlı olarak konumsal ve zamansal eğilimlerinin GEE platformu kullanılarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, bu çalışmanın öncelikli hedefleri şu şekildedir; i) MODIS MCD64A1 ve European Space Agency (ESA) Fire_cci v. 5.1 (FireCCI51) yanmış alan gözlem verileri arasındaki farklılıkları ve benzerlikleri belirlemek, ii) yanmış alan gözlem verileri arasındaki konumsal alan farklılıklarını, Avrupa Orman Yangınları Bilgi Sistemi (EFFIS) verilerini referans alınarak karşılaştırmak, iii) yanmış alanlardaki arazi örtüsü sınıflarını belirlemek ve arazi örtüsü değişimlerinin konumsal ve zamansal dağılımını incelemektir.

2. Materyal ve Metotlar

2.1. Çalışma Alanı

Türkiye, Afrika, Asya ve Avrupa'nın kesiştiği noktada, jeopolitik açıdan öne çıkan bir konumda bulunmaktadır. Mevcut coğrafi konumu, Türkiye'yi farklı canlı türlerinin kıtalararası geçişleri için önemli bir geçiş noktası haline getirmektedir. Bu durum, Türkiye'nin biyolojik ve ekolojik çeşitliliğinin zenginleşmesinde önemli bir faktör olarak görev almaktadır. Türkiye'nin toplam yüzölçümü yaklaşık 783.562 km² olup bu alanın önemli bir kısmı ormanlarla kaplıdır. OGM 2020 yılı Türkiye Orman Varlığı raporuna göre Türkiye'nin toplam orman alanı 229.330 km² olup bu oran ülkenin genel yüzölçümünün yaklaşık %29,4'üne denk gelmektedir (Orman Genel Müdürlüğü, 2020). Ülkemizdeki ormanların genel dağılımı ve yapısı, ülkenin coğrafi konumu ve çeşitli iklim koşulları nedeniyle büyük çeşitlilik göstermektedir. Karadeniz Bölgesi'nde yoğun yağışlar sonucu oluşan ormanlar, Türkiye'nin en verimli orman alanlarını oluştururken, Akdeniz ve Ege Bölgesi'nde ise makilik alanlar yaygındır. İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleri ise, daha az ormanlık alanlara sahip olup, bu bölgelerde step ve yarı kurak arazi şartları hakimdir.

2.2. Veri Kaynakları

2.2.1. Küresel Yanmış Alan Gözlem Verileri

Yanmış alan verileri, bitki örtüsü olan bir yüzeyden kömür, kül ve çıplak toprak yüzeyine geçişi algılayarak yangından etkilenen alanları tanımlar (Roy, 1999). Yanmış alan haritalama esas olarak kalıcı olmayan bir arazi örtüsü değişikliğinin tespit edilmesi problemidir ve çeşitli algoritmalar uygulanarak konumsal/zamansal ölçekte farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. 2000'li yılların başından itibaren, görünür ve yakın kızılötesi spektrumlar kullanılarak uydu esaslı yanmış alan analizleri küresel ölçekte yapılmaktadır. Ek olarak, yanmış alan verileri, dinamik küresel bitki örtüsü modellerine gömülü yangın modüllerinin kalibrasyonunun ve doğruluğunun belirlenmesine katkıda bulunmaktadır (Moreno vd., 2021).

Küresel yanmış alan gözlem verileri, düşük konumsal çözünürlüklerine (250-1000 m arası) rağmen, erken tespit, yangın söndürme ve hasar tespiti değerlendirilmesi gibi operasyonel faaliyetler için kullanılabilecek günlük görüntü elde edebilme avantajı sağlarlar (Mouillot vd., 2014). Ayrıca, bu sensörlere ait gözlem verileri, yangın aktivitesinin analizi, ortalama yanmış alan ve yanmış alan eğilimlerinin zamansal sürekliliği ve konumsal varyasyonları gibi yangın rejimlerinin özelliklerinin belirlenmesi için de yaygın olarak tercih edilirler. Bu çalışmada, küresel ölçekte servis edilen MODIS MCD64A1 ve ESA FireCCI51 yanmış alan gözlem verilerine GEE platformu kullanılarak erişilmiştir.

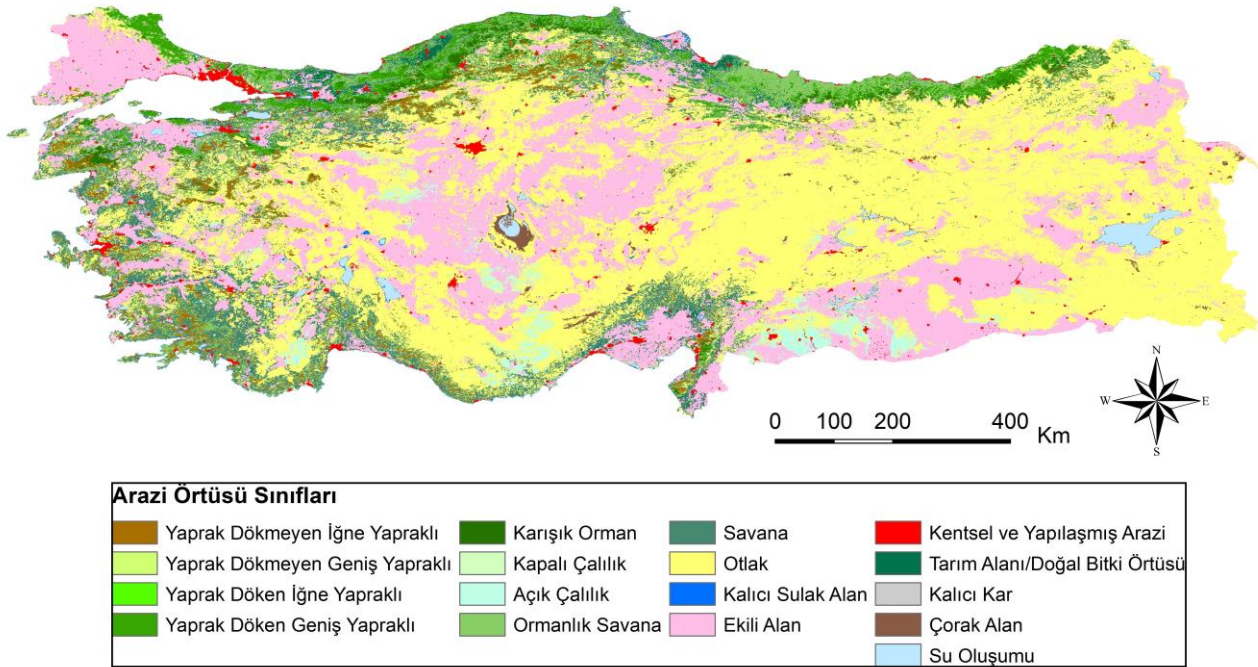
MODIS sensörüne ait MCD64A1 isimli yanmış alan haritalama ürünü, günlük MODIS yüzey reflektans görüntülerini 1 km konumsal çözünürlüklü MODIS aktif yangın verileriyle birleştirilerek 500 m konumsal çözünürlüklü yanmış alan haritaları üretmektedir. Bu ürün, MODIS sensörünün Terra ve Aqua bantlarının 1240 ve 2130 nanometredeki yansımalarından türetilen spektral bilgiyi kullanarak yanmaya duyarlı bir spektral bant indeksi oluşturur ve aynı zamanda MODIS Terra ve Aqua görüntülerine dinamik eşikler ve zamansal değişkenlik ölçütü uygular (Humber vd., 2019). 2000 yılından günümüze kadar olan süreci kapsayacak şekilde yanmış alan verisi servis eden bu sistem, yanmış ve yanmamış eğitim örneklerinin seçimine rehberlik etmek içinde ayrıca kullanılabilmektedir. Ücretsiz olarak kullanıcılara sunulan ve MODIS sensörüne ait üretilen en güncel yanmış alan ürünü olan MODIS MCD64A1 ürünlerine NASA'ya ait olan LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center) kurumunun web sitesinden ulaşılabilir (LP DAAC, 2023).

ESA FireCCI51 yanmış alan gözlem verisi, 250 m konumsal çözünürlük sağlayarak mevcut yanmış alan ürünlerine katkıda bulunmak üzere geliştirilmiştir. Bu ürün, ESA'nın İklim Değişikliği Girişimi programı kapsamında finanse edilmekle birlikte önceki yanmış alan ürünleri olan FireCCI50 ve FireCCI41 ürünlerinin iyileştirilmiş versiyonudur.

Veri algoritması, yanmış alanları belirlemek ve haritalamak için günlük Terra MODIS kırmızı ve yakın kızılötesi yansıma ölçümlerini (MODIS MOD09GQ ürünü) ve MODIS aylık aktif yangın verilerini (MODIS MCD14ML) birleştirmek üzerine kurulmuştur. Bu iki aşamalı algoritma, başlangıçta aday yanmış pikselleri tanımlar ve ardından yangından sonraki on günlük süreci kapsayan bir pencere içinde bir bölge büyütme algoritması uygular (Humber vd., 2019). 2001 ve 2020 yılları arasını kapsayacak şekilde ücretsiz küresel ölçekli yanmış alan verisi servis eden FireCCI51 yanmış alan ürünlerine ESA'ya ait olan Fire CCI (Fire Disturbance Climate Change Initiative) projesinin web sayfasından ulaşılabilmektedir (Chuvieco vd., 2019b).

2.2.2. Arazi Örtüsü Verisi

Yanmış alanlardaki arazi örtüsü sınıflarını belirlemek ve arazi örtüsü değişimlerinin konumsal ve zamansal dağılımını belirlemek amacıyla, 500 metrelik konumsal çözünürlüğe sahip MODIS MCD12Q1 arazi örtüsü sınıflandırma ürünü kullanılmıştır. Bu ürün, rastgele orman sınıflandırıcısı ile türetilmiş 13 veri katmanı ve beş farklı sınıflandırma şemasını kapsamaktadır (Sulla-Menashe & Friedl, 2018). Bu çalışmada, Uluslararası Jeosfer-Biyosfer Programı (Annual International Geosphere-Biosphere Programme-IGBP) arazi örtüsü sınıflandırma şemasını ait sınıf kategorileri kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. 2020 yılına ait çalışma alanı için MODIS MCD12Q1 arazi örtüsü sınıflandırma ürününe dayalı IGBP sınıflandırma şemasına göre belirlenen sınıf kategorileri

IGBP sınıflandırması, 17 farklı arazi örtüsü sınıfına sahiptir (Friedl & Sulla-Menashe, 2022). Bu çalışmada, MODIS MCD12Q1 arazi örtüsü tipi ürün koleksiyonu, IGBP sınıflandırma şeması kullanılarak beş toplu bitki örtüsü sınıfına ayrılmıştır (Zhou vd., 2019). IGBP sınıflandırmasına göre, tüm orman türleri tek bir sınıfta (orman) toplanmıştır. Çalılık ve otlak alanları kapsayan sınıflar da tek bir sınıfta birleştirilmiştir. Ekili alan ve savana sınıfları ise ayrı sınıflar olarak tanımlanmıştır. Şehirleşme ve yapılaşma, kar ve buz ile seyrek veya az bitki örtüsü gibi kalan bitki örtüsü türleri ise "diğer" adı altında toplu bir bitki örtüsü sınıfında birleştirilmiştir. Sonuç olarak, arazi örtüsü sınıfları beş ana sınıf (orman, çalılık ve otlak alan, ekili alan, savana ve diğer) altında oluşturulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. IGBP sınıflandırmasına ait arazi türlerine göre gruplandırılmış beş arazi örtüsü sınıfı

Arazi Örtüsü Sınıfı	Arazi Örtüsü Türü
Orman	Yaprak Dökmeyen İğne Yapraklı
	Yaprak Dökmeyen Geniş Yapraklı
	Yaprak Döken İğne Yapraklı
	Yaprak Döken Geniş Yapraklı
	Karışık Orman
Çalılık ve Otlak alan	Kapalı Çalılık
	Açık Çalılık
	Otlak
Ekili Alan	Ekili alan
	Tarım Alanı/Doğal Bitki Örtüsü
Savana	Ormanlık Savana
	Savana
Diğer	Kalıcı Sulak Alan
	Kentsel ve Yapılaşmış Arazi
	Kalıcı Kar
	Çorak Alan
	Su Oluşumu

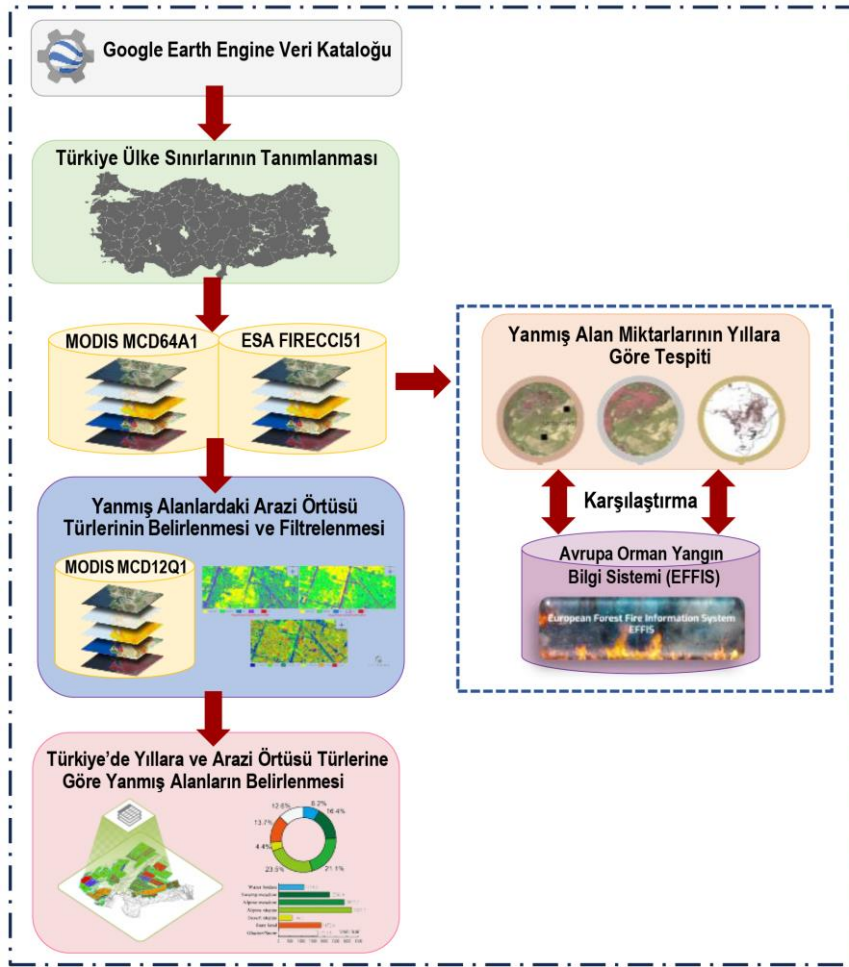
2.2.3. Avrupa Orman Yangın Bilgi Sistemi (EFFIS)

Avrupa Orman Yangın Bilgi Sisteminin kısaltması olan EFFIS (European Forest Fire Information System), Avrupa kıtasındaki ormanların yangınlardan korunmasıyla görevlendirilmiş tüm kurum ve kuruluşlara destek olmak üzere tasarlanmıştır (EFFIS, 2023). EFFIS, kullanıcılara orman yangınları hakkında bilgi sağlamak amacıyla çeşitli mekansal çözünürlüklerde ve doğruluk derecelerinde veri setleri kullanmaktadır. EFFIS yanmış alan verileri, MODIS VNIR ve SWIR verilerinin (sırasıyla 250 m ve 500 m) ve MODIS'in 1 km aktif yangın ürününün (Giglio vd., 2003) yanı sıra çeşitli yardımcı verilerin kombinasyonundan elde edilmektedir (Petropoulos vd., 2010). Söz konusu konumsal çözünürlükler, bazı diğer uydu görüntülerine kıyasla daha düşük olmakla birlikte, bölgesel ve kıtasal ölçekte orman yangınlarını izlemek ve değerlendirmek için değerli bilgiler sağlar. Ayrıca, MODIS yanmış alan ürününün doğruluğu, diğer yanmış alan tahminleriyle yapılan karşılaştırmalar sonucunda değerlendirilmiş ve yangın izleme amaçları için güvenilir olduğu ifade edilmiştir (Kalivas vd., 2013). Bunun yanı sıra, EFFIS optik ve termal uydu verilerine dayanarak, Avrupa Birliği ülkelerindeki orman koruma hizmetlerine, orta ile düşük mekansal çözünürlükte güncel ve güvenilir gerçek zamanlı yangın bilgileri sunmaktadır. Bu durum, mekansal çözünürlüğün bazı diğer uydu verileri kadar yüksek olmamasına rağmen, yangın yönetimi ve müdahale süreçleri için değerli ve zamanında bilgilerin sağlandığını göstermektedir (Filipponi, 2019).

Avrupa Komisyonu'nun ilgili birimlerine ve Avrupa Parlamentosu'na, Avrupa'daki orman yangınlarına dair güncel ve güvenilir bilgiler sunmaktadır. On yılı aşkın bir süredir, kırk farklı Avrupa, Ortadoğu ve Kuzey Afrika ülkesinden oluşan bir uzmanlar ağı tarafından desteklenmektedir. EFFIS, 2015 yılından bu yana Copernicus programının bir parçası olarak faaliyet göstermekte ve özellikle acil durum yönetim hizmetleri içerisinde önemli bir bileşen olarak yer almaktadır. Ayrıca, bu sistem aktif yangın vakalarına ilişkin güncellemelerle hizmet verirken, geçmişte gerçekleşen yangınlar hakkında tarihsel bilgileri de sunar. Kullanıcılar, interaktif haritalar aracılığıyla mevcut veya geçmiş yangınları inceleyebilirler. Bu kapsamlı veri seti, web sitesi üzerinden interaktif hizmetler ya da çeşitli uygulama programlama arayüzleri aracılığıyla sorgulanarak doğrudan erişilebilir ve kullanılabilir durumdadır (EFFIS Fuel Map, 2023).

2.2.4. Metodoloji

Bu çalışmanın amacı, 2015-2020 yılları arasındaki Türkiye'deki yanmış alanların alansal büyüklüklerini uzaktan algılama teknikleri kullanarak elde etmek ve GEE platformu aracılığıyla bu verilerin konumsal ve zamansal analizlerini gerçekleştirmektir. Çalışmanın ana bileşenlerini ve süreç akışını özetleyen iş akış şeması, Şekil 2'de sunulmuştur.



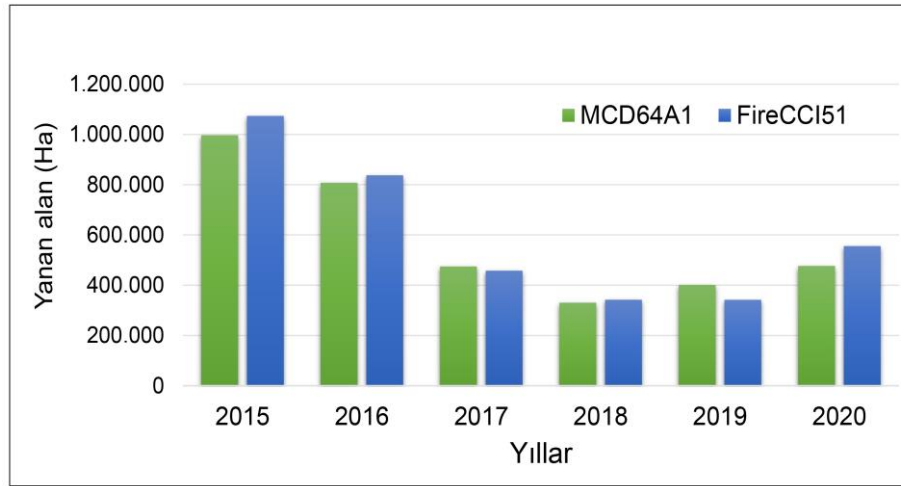
Şekil 2. Çalışma kapsamında izlenen iş akış şeması

Çalışma kapsamında, 2015-2020 yılları arasında Türkiye'deki yanmış alanların analizinde, MODIS MCD64A1 ve ESA FireCCI51 küresel yanmış alan gözlem verileri başlıca veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Ardından, yanmış alanlardaki bitki örtüsü türlerinin belirlenmesi amacıyla MODIS MCD12Q1 arazi örtüsü sınıflandırma ürününden faydalanılmıştır. Bu ürün, yanmış bölgelerdeki bitki örtüsü çeşitliliğinin analiz edilmesinde ve yangınların farklı bitki örtüsü türleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır. GEE programı kullanılarak, her bir yıl için yanmış alanların toplam büyüklüğü hektar cinsinden hesaplanmış ve yanmış alanlardaki bitki örtüsü türleri tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, daha sonra EFFIS tarafından sağlanan vektör verileriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma hem konumsal hem de zamansal açıdan gerçekleştirilerek, MODIS MCD64A1 ve ESA FireCCI51 küresel yanmış alan ürünleri ile EFFIS verileri arasındaki uyumluluğu ve farklılıkları detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Bu analiz süreci, yanmış alan tespitlerinin doğruluğunu ve mevcut veri setlerinin kapsamlılığını ve güvenilirliğini değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir.

3. Bulgular

3.1. Küresel Yanmış Alan Gözlem Verilerine Dayalı Yanmış Alan Miktarları

Bu çalışmada, Türkiye'deki yanan alanların tespit edilmesi amacıyla ücretsiz olarak servis edilen MODIS MCD64A1 ve ESA FireCCI51 küresel yanmış alan gözlem verilerinden yararlanılmış ve yıl bazlı toplam yanmış alan miktarları Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. MODIS MCD64A1 ve ESA FireCCI51 yanmış alan miktarlarının karşılaştırmalı analizi

Şekil 3 incelendiğinde, her iki gözlem verisinin de tespit ettiği toplam yanmış alan miktarlarının yıllara göre değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. MCD64A1 verisi, 2015-2020 yıllarında sırasıyla 996.539, 807.574, 474.635, 330.289, 401.216 ve 476.688 hektar yanmış alan tespit etmiştir. Buna karşılık, FireCCI51, aynı zaman aralığında yanmış alanları her yıl için sırasıyla 1.073.645, 837.343, 457.746, 342.110 ve 555.664 hektar olarak belirlemiştir. Her iki gözlem verisi arasındaki toplam yanmış alan miktarı farkı, 2020 yılında en büyük olmuştur. Bu dönemde, FireCCI51 gözlem verisi, MCD64A1 gözlem verisinden 78.976 hektar daha fazla yanmış alan tespit etmiştir. Her iki gözlem verisi arasındaki toplam yanmış alan miktarı farkının en küçüğü ise, 2018 yılında gerçekleşmiş ve FireCCI51 gözlem verisi, MCD64A1 gözlem verisinden 11.821 hektar daha fazla yanmış alan tespit etmiştir.

3.2. Arazi Örtüsü Türlerine Göre Yanmış Alan Miktarları

Farklı orman türleri, çeşitli düzeylerde biyoçeşitliliğe ev sahipliği yapmakta olup, bu alanların restorasyonu genel orman ekosistem sağlığının sürdürülmesi açısından kritik öneme sahip olmaktadır. Bu nedenle, yangından etkilenen orman türlerine dair bilgi edinilmesi biyolojik çeşitliliğin korunması bakımından ve sürdürülebilir orman yönetimi açısından oldukça önemlidir (Stephens vd., 2013). 2015-2020 yılları arasında Türkiye’de yangınlar sonucu oluşan yanmış alanların bitki örtüsü türlerine dayalı analizi, MODIS MCD12Q1 arazi örtüsü sınıflandırma ürünü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflandırma, belirlenen yıllarda yangın etkisine maruz kalan orman, çalılık ve otlak alan, ekili alan, savana ve diğer kategorilerindeki arazi türlerinin ayrıntılı bir envanterini sağlamıştır (Tablo 2).

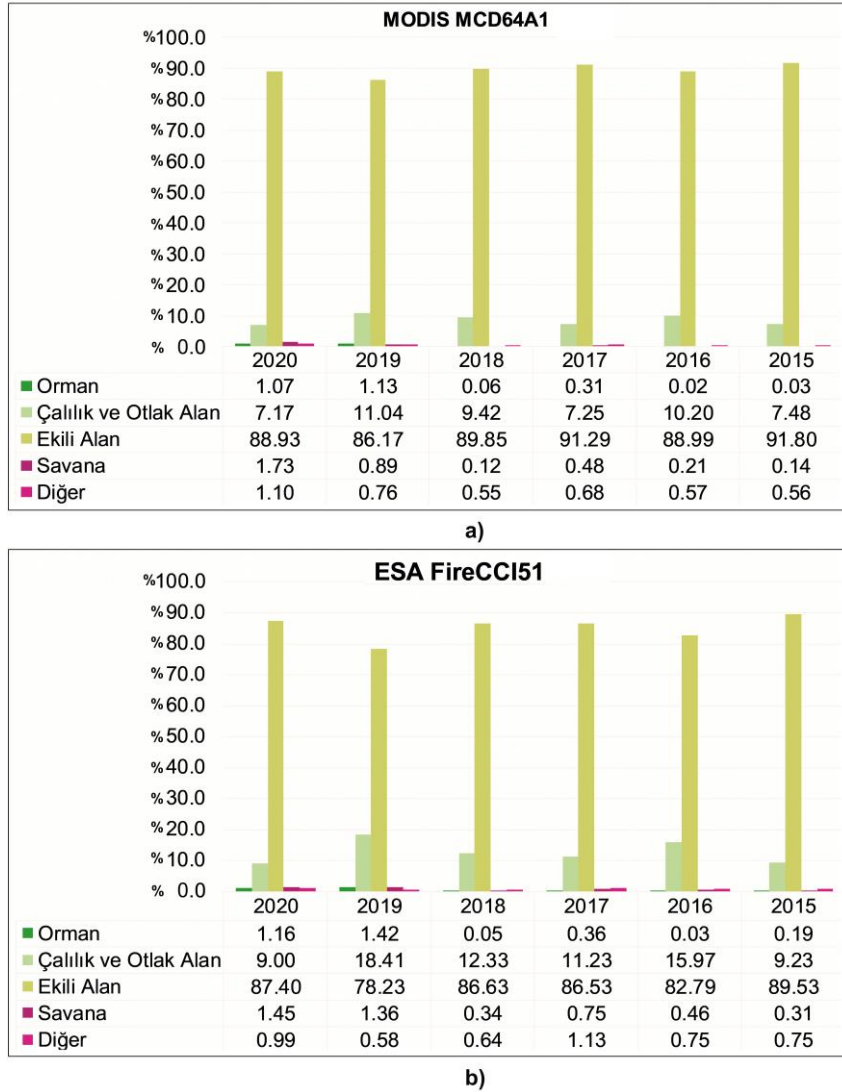
Tablo 2. Türkiye’de 2015-2020 Yılları arasında yanmış alanların hektar cinsinden arazi örtüsü türlerine göre dağılımı

Yıl		Arazi Örtüsü Türleri					Toplam (ha)
		Orman (ha)	Çalılık ve Otlak Alan (ha)	Ekili Alan (ha)	Savana (ha)	Diğer (ha)	
2020	MCD64A1	5.107	34.165	423.901	8.250	5.265	476.688
	FireCCI51	6.439	50.033	485.653	8.056	5.483	555.664
2019	MCD64A1	4.518	44.307	345.747	3.578	3.066	401.216
	FireCCI51	4.856	62.952	267.479	4.650	1.977	341.914
2018	MCD64A1	192	31.126	296.764	387	1.820	330.289
	FireCCI51	188	42.180	296.384	1.153	2.205	342.110
2017	MCD64A1	1.458	34.414	433.271	2.263	3.229	474.635
	FireCCI51	1.633	51.426	396.088	3.442	5.157	457.746
2016	MCD64A1	196	82.379	718.672	1.727	4.600	807.574
	FireCCI51	214	133.744	693.227	3.840	6.318	837.343
2015	MCD64A1	292	74.502	914.839	1.365	5.541	996.539
	FireCCI51	2.016	99.088	961.217	3.318	8.006	1.073.645

Tablo incelendiğinde, ele alınan tüm yıl aralıklarında yangınlardan en çok etkilenen arazi örtüsü türünün ekili alanlar oldukları görülmektedir. Ekili alanların en çok etkilendiği yıl olarak 2015 yılı ön plana çıkmaktadır. Söz konusu yılda MCD64A1 ve FireCCI51 yanmış alan gözlem verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar ekili alanlardaki yanmış alan miktarını sırasıyla 914.839 ve 961.217 ha olarak hesaplamışlardır. Öte yandan, orman sınıfının yangınlardan en çok etkilendiği yıl 2020 yılı olarak belirlenirken; bu yılda MCD64A1 ve FireCCI51 yanmış alan gözlem verileri ormanlık alanlardaki yanmış alan miktarını sırasıyla 5.107 ve 6.439 ha olarak tespit etmişlerdir.

Yıllık ve arazi örtüsü türlerine göre yanmış alanların karşılaştırması detaylı olarak incelendiğinde; 2020 yılında, ormanlık alanlarda FireCCI51, MCD64A1'e göre yaklaşık 1.332 ha daha fazla yanmış alan tespit etmiştir. Çalılık ve otlak alanlarda FireCCI51, MCD64A1'den yaklaşık 15.868 ha daha fazla; ekili alanlarda ise 61.752 ha daha fazla alan bildirmiştir. 2019 yılında, ormanlık alanlarda FireCCI51'in tespiti MCD64A1'e göre 338 ha fazla olurken, çalılık ve otlak alanlarda bu fark 18.645 ha, ekili alanlarda ise 78.268 ha'dır. 2018 yılında, ormanlık alanlarda her iki yanmış alan gözlem verisi benzer sonuçlar verdiği görülürken çalılık ve otlak alanlarda FireCCI51, MCD64A1'e göre 11.054 ha daha fazla, ekili alanlarda ise 380 ha daha az yanmış alan tespit etmiştir. 2017 yılında, ormanlık alanlarda FireCCI51, MCD64A1'e göre 175 ha daha fazla; çalılık ve otlak alanlarda 17.012 ha daha fazla; ekili alanlarda ise 37.183 ha daha az yanmış alan belirlemiştir. 2016 yılında, ormanlık alanlarda FireCCI51, MCD64A1'e kıyasla 18 ha daha fazla; çalılık ve otlak alanlarda ise 51.365 ha daha fazla; ekili alanlarda ise 25.445 ha daha az yanmış alan tespit etmiştir. 2015 yılında, ormanlık alanlarda FireCCI51, MCD64A1'e göre 1724 ha daha fazla; çalılık ve otlak alanlarda ise 24586 ha daha fazla; ekili alanlarda ise 46378 ha daha fazla yanmış alan bildirmiştir (Tablo 2).

Şekil 4'te MODIS MCD64A1 ve ESA FireCCI51 küresel yanmış alan gözlem verilerinin yıllık ve arazi örtüsü sınıflarına göre yüzdesel yanmış alan karşılaştırması gösterilmiştir.



Şekil 4. Yanmış alanlardaki arazi örtüsü sınıflarının yüzdesel dağılımları: (a) MODIS MCD64A1 ve (b) ESA FIRECCI51

Her iki gözlem verisi içinde 2015 ve 2020 yılları arasında ekili alanlar oransal olarak en yüksek yanmış alan yüzdelere sahiptir. Yüzdesel olarak bakıldığında, her yıl ekili alanlarda meydana gelen yanmış alanların oranı % 85-90 arasında değişmektedir. Örneğin, 2020 yılında MCD64A1 ve FireCCI51 veri setlerinde ekili alanlarda meydana gelen yanmış alanların oranları sırasıyla % 88,93 ve % 87,40'tır. Her iki veri setinde de ekili alanlar ile çalılık ve otlak alanlara göre ormanlık alanlar, savanalar ve diğer sınıfına ait yanmış alanların nispeten daha az olduğu tespit edilmiştir.

3.3. EFFIS, MCD64A1 ve FireCCI51 Yanmış Alan Verilerinin Karşılaştırmalı Analizi

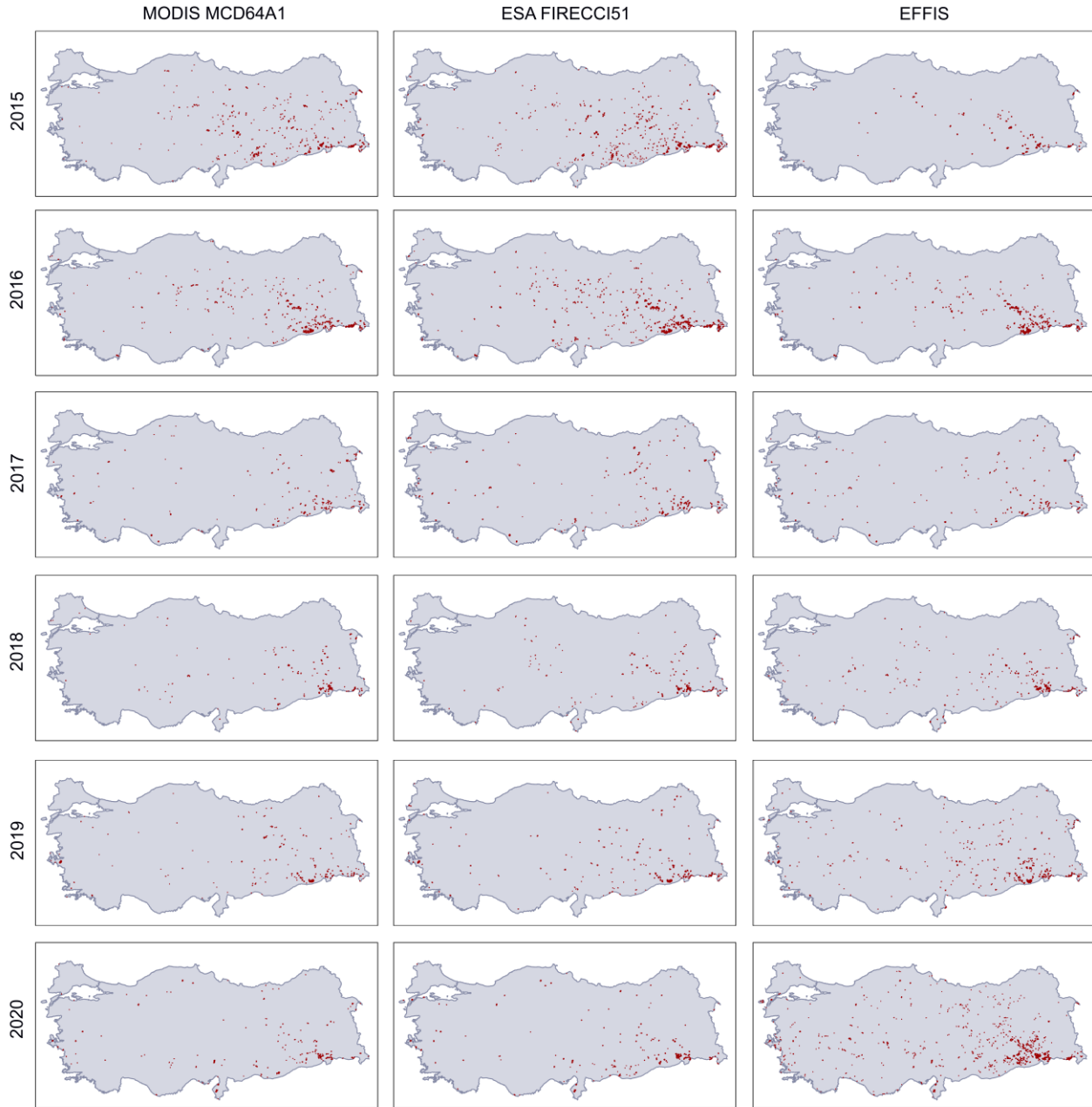
Bu çalışma kapsamında, MODIS MCD64A1 ve ESA FireCCI51 yanmış alan gözlem verileri ile 2015-2020 yılları arasında Türkiye'de belirlenen yanmış alan miktarları, Avrupa Orman Yangınları Bilgi Sisteminden (EFFIS) elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. EFFIS veri tabanında yanmış alan bilgileri vektör veri formatında web ortamında kullanıcılara ücretsiz olarak sunulmaktadır (EFFIS Fuel Map, 2023). Orman yangınlarının izlenmesi ve raporlanması amacıyla geliştirilen EFFIS sistemi, yanmış alan verilerini esas olarak ormanlardan elde etmektedir. Bu nedenle, ekili alanlar, tarım alanları gibi diğer alanlarda meydana gelen yanmış alanlar bu sistemin kapsamı dışında kalmaktadır (San-Miguel-Ayanz vd., 2012; Turco vd., 2019). Bu bağlamda, EFFIS verilerinin orman yangınlarına odaklanması göz önünde bulundurularak, MCD64A1 ve FireCCI51 verilerinden elde edilen yanmış alan bilgileriyle adil bir karşılaştırma yapabilmek için, ekili alanlar ve diğer arazi örtüsü türlerine ilişkin yanmış alan verileri analiz dışı tutulmuştur. Tablo 3'te, 2015-2020 yılları arasında Türkiye'deki yanmış alanların MCD64A1, FireCCI51 ve EFFIS veri setleri tarafından tespit edilen miktarları ha cinsinden sunulmuştur.

Tablo 3. MODIS MCD64A1, ESA FireCCI51 ve EFFIS veri setleri kullanılarak tespit edilen yıllık yanmış alan miktarlarının karşılaştırmalı analizi

YIL	Yanmış Alan Miktarları (ha)		
	MCD64A1	FireCCI51	EFFIS
2020	47.522	64.528	99.857
2019	52.403	72.458	81.246
2018	31.705	43.521	41.039
2017	38.135	56.501	47.738
2016	84.302	137.798	124.684
2015	76.159	104.422	55.728

Üç veri kaynağından elde edilen yanmış alanların karşılaştırmalı analizi, EFFIS, MCD64A1 ve FireCCI51 veri setlerinin yanmış alan tespitlerinde önemli farklılıklar sergilediğini ortaya koymuştur. EFFIS veri seti, 2019 ve 2020 yıllarında diğer iki veri setine kıyasla daha yüksek yanmış alan miktarları tespit etmiştir. Bu eğilim özellikle 2020 yılında dikkat çekici olup, EFFIS'in bu yılda tespit ettiği yanmış alan miktarı (99.857 ha), MCD64A1 (47.522 ha) ve FireCCI51'in (64.528 ha) tespitlerine göre Tablo 3'te gösterildiği gibi önemli ölçüde yüksek bulunmuştur. Öte yandan, MCD64A1 ve FireCCI51 arasında da farklılıklar gözlemlenmiştir. FireCCI51, genel olarak MCD64A1'e kıyasla daha yüksek yanmış alan miktarları belirlemiş olup, bu durum yanmış alanların algılanmasında kullanılan farklı yöntemlerin, sensör özelliklerinin ve veri işleme tekniklerinin bir sonucudur.

Türkiye'de 2015-2020 yılları arasında MODIS MCD64A1, ESA FireCCI51 ve EFFIS veri setlerine dayalı olarak tespit edilen yanmış alanların konumsal dağılımı Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, yanmış alanların Türkiye'nin çeşitli bölgelerine dağıldığı; ancak en yüksek yoğunluğa Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde rastlandığı belirlenmiştir. Akdeniz ve Ege bölgelerindeki ormanlık alanların genişliği ve yaz aylarındaki yüksek sıcaklık değerleri, bu bölgelerde yanmış alan oluşumunu arttıran faktörler arasındadır. Bunun yanı sıra, ormanlık alanların daha az olduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesi, kurak iklim koşulları nedeniyle otlak alanlarında sık sık yangınların meydana geldiği bir bölge olarak gözlemlenmektedir.



Şekil 5. 2015-2020 yılları arasında çalışma bölgesindeki MODIS MCD64A1, ESA FIRECCI51 ve EFFIS veri setlerine ait yangın verilerinin coğrafi dağılımı

3.4 MODIS MCD64A1 ve FireCCI51 Veri Setlerinin Doğruluk Analizi

MODIS MCD64A1 ve FireCCI51 uydu veri setlerinin yanlış alanları tespit etme doğruluğunu değerlendirmek için Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS) verileri yer doğrulama verisi olarak kullanılarak karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Amaç, her veri setinin gerçek yanlış alanları yanlış alarmlara karşı doğru bir şekilde tanımlama güvenilirliği ve etkinliğini değerlendirmek için kesinlik, duyarlılık ve F1 skorunu hesaplamaktır. Bu, uydu veri setleri tarafından yanlış olarak bildirilen ve EFFIS verileri ile doğrulanmış alanların gerçek tespitler olarak kabul edildiği, farklılıkların ise potansiyel yanlış alarmları veya kaçırılan tespitleri işaret ettiği varsayımı üzerine gerçek pozitifler (TP), yanlış pozitifler (FP) ve yanlış negatifler (FN) hesaplanmasını içermiştir.

Analiz, 2015 yılından 2020 yılına kadar MCD64A1, FireCCI51 ve EFFIS tarafından hektar bazında hesaplanan yıllık yanlış alan verilerinin kullanılmasıyla başlamıştır. Kesinlik, TP'nin TP ve FP toplamına oranı olarak hesaplanmış, uydu veri setlerinin pozitif tahminlerinin doğruluğu hakkında bilgi sağlamıştır. Duyarlılık ise TP'nin TP ve FN toplamına oranı ile belirlenmiş, veri setlerinin yanlış alanların tüm ilgili örneklerini tanımlama yeteneğini yansıtmıştır.

Kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalaması olan F1 skoru, testin doğruluğunun bir ölçüsü olarak kullanılmış ve veri setlerinin genel performansına dengeli bir bakış sağlamıştır.

Elde edilen bulgular, FireCCI51 veri setinin % 90,20 duyarlılık oranı sergilediğini, EFFIS tarafından belirlenen yanmış alanları yüksek bir hassasiyetle tespit ettiğini göstermiştir. Fakat % 84,76'lık kesinlik oranı, yanlış alarmların varlığını öne sürmüştür. Buna karşın, MCD64A1 veri seti, % 93,81 ile daha yüksek bir kesinlik oranı göstererek tespitlerinde daha büyük bir doğruluk göstermiş, ancak % 68,80 ile daha düşük bir duyarlılık oranıyla bazı tespitleri kaçırdığını işaret etmiştir. FireCCI51 ve MCD64A1 için F1 skorları sırasıyla % 87,39 ve % 79,38 olarak belirlenmiş ve veri setlerinin performansındaki kesinlik ve duyarlılık arasındaki dengeli yapıyı vurgulamıştır. Bu karşılaştırma, MCD64A1 ve FireCCI51 veri setlerinin yanmış alanları belirleme konusundaki detaylı kapasitelerini ve kısıtlılıklarını ortaya koymaktadır. FireCCI51'in daha yüksek duyarlılığı, kapsamlı yanmış alan tespiti gerektiren uygulamalar için daha etkili olabileceğini öne sürmekte, ancak daha yüksek yanlış pozitifler riskiyle birlikte gelmektedir. Buna karşılık, MCD64A1'in üstün kesinliği, tespit edilen yanmış alanların doğruluğunun önemli olduğu senaryolarda kullanımının önemini göstermektedir, ancak bazı etkilenen alanları göz ardı edebilir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, iki küresel yanmış alan gözlem verisinin sistematik bir karşılaştırması gerçekleştirilmiş ve 2015-2020 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen yanmış alanların konumsal ve zamansal benzerlikler ile farklılıkları belirlenmiştir. ESA FireCCI51 ve MODIS MCD64A1 verileri arasındaki farklar büyük ölçüde kullanılan metodoloji ve konumsal ve zamansal çözünürlük farklılıklarından kaynaklanmaktadır (Zhang vd., 2022). FireCCI51 gözlem verisi, dünya çapında yangın olayları hakkında uzun vadeli, tutarlı ve güvenilir veriler sağlamak üzere tasarlanmıştır. İki aşamalı bir yaklaşıma dayanan FireCCI51 algoritması, günlük MODIS yakın kızılötesi reflektans ve termal anomali verilerini kullanmaktadır. İlk olarak, yalnızca yanma olasılığı yüksek pikseller tohum piksel olarak seçilmekte ve ardından, tüm yanmış alan tespit ederek ihmal hatalarını azaltmaya yönelik tohum piksellerden başlayarak bağlamsal büyüme algoritması uygulanmaktadır. Her iki aşamada da yangın koşullarına göre uyarlanmış algılama eşikleri kullanılmakta ve aktif yangın pikselleri tespit edilmektedir (Vetrina vd., 2021; Lizundia-Loiola vd., 2020; Zhang vd., 2022). Öte yandan, hibrit bir yaklaşıma dayanan MCD64A1, aktif yangın ve MODIS bulutsuz yüzey reflektans görüntüleri kullanılarak üretilmektedir. MCD64A1 algoritması, termal anomaliler ve yüzey yansımadaki değişiklikleri bütünleştirerek küresel ölçekte yanmış alanları belirlemektedir (Fornacca vd., 2017).

Literatürdeki bazı çalışmalar, MCD64A1 ve FireCCI51 arasındaki performans farklılıklarının, tarım arazileri içinde her algoritma tarafından kullanılan arazi örtüsü verisiyle ilişkili olabileceğini belirtmiştir (Hall vd., 2021). MCD64A1 ve FireCCI51 algoritmaları, tarım ve ekili alan arazileri için farklı kural setleri uygulamaktadır. Bu bağlamda, bu kurallar altındaki arazi örtüsü verisindeki herhangi bir hata, algoritmaların performansını doğrudan etkileyebilmektedir. Giglio vd. (2018), yangın tespit ve izleme algoritmalarının sağlamlığını ve hassasiyetini artırmak için, özellikle tarım ve ekili alanlarda doğru ve güvenilir arazi örtüsü bilgilerinin önemini vurgulamıştır. Öte yandan, Campagnolo vd. (2019) gerçekleştirdiği çalışmada Rusya'daki tarım arazileri içinde MCD64A1 verisine ait hata değerlerinin yüksek bulunmasının, bu verinin kullandığı arazi örtüsü ürünü içindeki parçalı tarım arazisi alanlarıyla ilişkilendirilebileceğini ifade etmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye'de 2015-2020 yılları arasında yanmış alanların konumsal ve zamansal dağılımları, MODIS MCD64A1 ve ESA FireCCI51 yanmış alan gözlem ürünleri kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, yanmış alanlardaki arazi örtüsü türleri MODIS MCD12Q1 arazi örtüsü sınıflandırma ürünü kullanılarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç ve bulgular, EFFIS verileriyle karşılaştırılarak yanmış alanların doğruluğu ve kapsamılığı değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel bulguları şu şekilde özetlenebilir:

- Elde alınan zaman aralığı içerisinde, MCD64A1, FireCCI51 ve EFFIS toplam yanmış alanı sırasıyla 330.226 ha, 479.228 ha ve 450.292 ha olarak hesaplamıştır. Bu sonuçlar, EFFIS ve FireCCI51 verilerinin tespit ettiği yanmış alan miktarının birbirlerine oldukça yakın olduğunu, ancak MCD64A1 veri setinin bu iki veri setine kıyasla daha düşük yanmış alan miktarı hesapladığını göstermiştir.
- MODIS MCD64A1 ve ESA FireCCI51 yanmış alan gözlem verileri arasındaki karşılaştırma, iki ürünün genel olarak benzer sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Bununla birlikte, FireCCI51 ürünü, MODIS MCD64A1 ürününe göre daha yüksek yanmış alan miktarları üretmiştir. Bu farklılık, FireCCI51 ürününün, küçük yanmış alanları daha etkin bir şekilde belirleyebilen gelişmiş bir algoritma kullanmasıyla ilişkilidir, bu da genel olarak daha yüksek yanmış alan tespitlerine neden olmaktadır.
- 2015-2020 yılları arasında MODIS MCD64A1 ve EFFIS FireCCI51 verilerine göre yanmış alanların arazi örtüsü sınıflarına göre yüzdesel dağılımına bakıldığında, her iki veri seti içinde ekili alanların en büyük paya sahip olduğu görülmektedir. MODIS MCD64A1 verileri, ekili alanlardaki yanmış alan oranını %88,93 ile %91,80 arasında, FireCCI51 ise %78,23 ile %89,53 arasında tespit etmiştir. Orman, çalılık ve otlak alanların yanı sıra savana arazi türlerinin yanmış alanlardaki oranları ise her iki veri setinde de ekili alanlara kıyasla daha düşüktür.

- Türkiye'de 2015-2020 yılları arasında yanmış alanların konumsal dağılımı, Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri olmak üzere üç ana bölgede yoğunlaştığını göstermektedir. Bu bölgelerde, ormanlık alanların genişliği, yaz aylarındaki yüksek sıcaklık değerleri ve kurak iklim koşulları gibi faktörler, yanmış alan oluşumunu arttıran etkenler olarak öne çıkmaktadır.

Çalışmanın bulguları, Türkiye'de küresel uydu yanmış alan veri kullanımının önündeki engelleri aşmada ve çok kaynaklı uydu veri entegrasyonunun önünü açmada önemli bir adım teşkil etmektedir. Bu gözlem verileri, yanmış alanların boyutunu ve yayılma şeklini anlamamıza yardımcı olmak için önemli bir araçtır. Ancak, uygulama kısmında kullanıcılar uydu ürünlerinin (EFFIS dahil olmak üzere) sınırlamalarını dikkatlice göz önünde bulundurmalarıdır. Bu bağlamda, yanmış alanların tam boyutunu ve yayılma şeklini doğru bir şekilde ölçmek zor olabilir. Bu durum, yangınların karmaşıklığı ve değişkenliği ile uydu görüntülerinin çözünürlüğü ve doğruluğunun sınırlamalarından kaynaklanmaktadır. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için, farklı arazi örtüsü sınıfları üzerinde bu yanmış alan ürünlerinin performansını araştırmak ve zamansal/konumsal belirsizliklerini analiz etmek gibi ek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmalar, uydu yanmış alan ürünlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaya yardımcı olacaktır. Bu veri setleri bazı sınırlamaları olsa da yanmış alanları anlama ve yönetme konusunda oldukça değerli bir araçtır. Gelecekteki çalışmalar, uydu yanmış alan gözlem verilerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaya ve yangın etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde önemli bir rol oynayan Google Earth Engine veri kataloğu ve EFFIS yangın verisi erişimine, çalışmamı sağladıkları değerli katkılar için teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Akyürek, Z. (2023). Türkiye'deki 2000 – 2021 yılları arasındaki bitki örtüsü yangınlarının mekânsal analizi. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(1), 33–46. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1179051>
- Amos, C., Petropoulos, G. P., & Ferentinis, K. P. (2018). Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. *International Journal of Remote Sensing*, 40(3), 905–930. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1519284>
- Campagnolo, M., Oom, D., Padilla, M., & Pereira, J. (2019). A patch-based algorithm for global and daily burned area mapping. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111288. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111288>
- Chuvieco, E., Lizundia-Loiola, J., Pettinari, M. L., Ramo, R., Padilla, M., Tansey, K., ... Plummer, S. (2018). Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies. *Earth System Science Data*, 10(4), 2015–2031. <https://doi.org/10.5194/essd-2018-46>
- Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., ... Giglio, L. (2019a). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45–64. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>
- Chuvieco, E., Pettinari, M. L., Lizundia Loiola, J., Storm, T., & Padilla Parellada, M. (2019b). *ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci): MODIS Fire_cci Burned Area Grid product, version 5.1* [Data set]. Centre for Environmental Data Analysis. <https://dx.doi.org/10.5285/3628cb2fdb443588155e15dee8e5352>
- Demir, S. & Dursun, I. (2023). Determining burned areas using different threshold values of NDVI with sentinel-2 satellite images on gee platform: a case study of Muğla province. *International Journal of Sustainable Engineering and Technology*, 7(2), 117-130.
- Demirel, Y., & Türk, T. (2023). Türkiye'de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal ve mekânsal analizi. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 10(2), 136–150. <https://doi.org/10.9733/JGG.2023R0010.T>
- EFFIS Fuel Map. (2023). *EFFIS Data and Services*. <https://effis.jrc.ec.europa.eu/applications/data-and-services>
- EFFIS. (2023). *European Forest Fire Information System*. <http://effis.jrc.ec.europa.eu/>
- Filipponi, F. (2019). Exploitation of Sentinel-2 time series to map burned areas at the national level: A case study on the 2017 Italy wildfires. *Remote Sensing*, 11(6), 622. <https://doi.org/10.3390/rs11060622>
- Fornacca, D., Ren, G., & Xiao, W. (2017). Performance of three MODIS Fire products (MCD45A1, MCD64A1, MCD14ML), and ESA Fire_CCI in a mountainous area of Northwest Yunnan, China, characterized by frequent small fires. *Remote Sensing*, 9(11), 1131. <https://doi.org/10.3390/rs9111131>
- Friedl, M., & Sulla-Menashe, D. (2022). *MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061* [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.061>

- Gholamrezaie, H., Hasanlou, M., Amani, M., & Mirmazloumi, S. M. (2022). Automatic Mapping of Burned Areas Using Landsat 8 Time-Series Images in Google Earth Engine: A Case Study from Iran. *Remote Sensing*, 14(24), 6376. <https://doi.org/10.3390/rs14246376>
- Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D. P., Humber, M. L., & Justice, C. O. (2018). The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*, 217, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C. O., & Kaufman, Y. J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87(2–3), 273–282. [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(03\)00184-6](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(03)00184-6)
- Hall, J. V., Argueta, F., & Giglio, L. (2021). Validation of MCD64A1 and FireCCI51 cropland burned area mapping in Ukraine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102, 102443. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102443>
- Humber, M. L., Boschetti, L., Giglio, L., & Justice, C. O. (2019). Spatial and temporal intercomparison of four global burned area products. *International Journal of Digital Earth*, 12(4), 460–484. <https://doi.org/10.1080/17538947.2018.1433727>
- Kalivas, D., Petropoulos, G. P., Athanasiou, I., & Kollias, V. J. (2013). An intercomparison of burnt area estimates derived from key operational products: the Greek wildland fires of 2005–2007. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 20(3), 397–409. <https://doi.org/10.5194/npg-20-397-2013>
- Katagis, T., & Gitas, I. Z. (2022). Assessing the Accuracy of MODIS MCD64A1 C6 and FireCCI51 Burned Area Products in Mediterranean Ecosystems. *Remote Sensing*, 14(3), 602. <https://doi.org/10.3390/rs14030602>
- Kaufman, Y. J., Tanré, D., & Boucher, O. (2002). A satellite view of aerosols in the climate system. *Nature*, 419(6903), 215–223. <https://doi.org/10.1038/nature01091>
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Tonbul H., & Öztürk M. Y. (2021). Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları. In T. Kavzoğlu (Ed.) *Orman yangınları sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri* (pp. 219–251). Türkiye Bilimler Akademisi.
- Liu, Y., Stanturf, J., & Goodrick, S. (2010). Trends in global wildfire potential in a changing climate. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 685–697. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.002>
- Lizundia-Loiola, J., Otón, G., Ramo, R., & Chuvieco, E. (2020). A spatio-temporal active-fire clustering approach for global burned area mapping at 250 m from MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111493. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111493>
- LP DAAC, (2023). *MODIS MCD64A1: MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500 m SIN Grid*. USGS. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd64a1v006/>
- Moreno, M. V., Conedera, M., Chuvieco, E., & Pezzatti, G. B. (2014). Fire regime changes and major driving forces in Spain from 1968 to 2010. *Environmental Science & Policy*, 37, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.08.005>
- Moreno, M. V., Laurent, P., & Mouillot, F. (2021). Global intercomparison of functional pyrodiversity from two satellite sensors. *International Journal of Remote Sensing*, 42(24), 9523–9541. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1999529>
- Mouillot, F., Schultz, M. G., Yue, C., Cadule, P., Tansey, K., Ciais, P., & Chuvieco, E. (2014). Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing—A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.05.014>
- Orman Genel Müdürlüğü. (2020). *Türkiye Orman Varlığı 2020*. <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz-sitesi/TurkiyeOrmanVarligi/Yayinlar/2020%20T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varl%C4%B1%C4%9F%C4%B1.pdf>
- Petropoulos, G. P., Knorr, W., Scholze, M., Boschetti, L., & Karantounias, G. (2010). Combining ASTER multispectral imagery analysis and support vector machines for rapid and cost-effective post-fire assessment: A case study from the greek wildland fires of 2007. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(2), 305–317. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-305-2010>
- Rasul, A., Ibrahim, G. R. F., Hameed, H. M., & Tansey, K. (2020). A trend of increasing burned areas in Iraq from 2001 to 2019. *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), 5739–5755. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00842-7>
- Roy, D. P. (1999). Multi-temporal active-fire based burn scar detection algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 20(5), 1031–1038. <https://doi.org/10.1080/014311699213073>
- San-Miguel-Ayán, J., Schulte, E., Schmuck, G., Camia, A., Stroh, P., Liberta, G., ... Amatulli, G. (2012). Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: The European forest fire information system (EFFIS). In J. Tiefenbacher (Ed.), *Approaches to managing disaster-Assessing hazards, emergencies and disaster impacts* (pp. 87–108). IntechOpen.
- Stephens, S. L., Agee, J. K., Fulé, P. Z., North, M. P., Romme, W. H., Swetnam, T. W., & Turner, M. G. (2013). Managing Forests and Fire in Changing Climates. *Science*, 342(6154), 41–42. <https://doi.org/10.1126/science.1240294>
- Sulla-Menashe, D., & Friedl, M. A., (2018, May 14). *User Guide to Collection 6 MODIS Land Cover (MCD12Q1 and MCD12C1) Product*. USGS. https://lpdaac.usgs.gov/documents/101/MCD12_User_Guide_V6.pdf

- Tonbul, H., Colkesen, I., & Kavzoglu, T. (2019, 7–9 Kasım). *Forest fire and burn severity analysis in Cefalu region of Italy using Sentinel-2 imagery* [Conference presentation]. International Symposium on Applied Geoinformatics (ISAG-2019), Istanbul, Turkey.
- Tonbul, H., Colkesen, I., & Kavzoglu, T. (2022). Pixel- and Object-Based ensemble learning for forest burn severity using USGS FIREMON and Mediterranean condition dNBRs in Aegean ecosystem (Turkey). *Advances in Space Research*, 69(10), 3609–3632. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.02.051>
- Turco, M., Herrera, S., Tourigny, E., Chuvieco, E., & Provenzale, A. (2019). A comparison of remotely-sensed and inventory datasets for burned area in Mediterranean Europe. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 82, 101887. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.020>
- Vetrita, Y., Cochrane, M. A., Suwarsono, Priyatna, M., Sukowati, K. A. D., & Khomarudin, M. R. (2021). Evaluating accuracy of four MODIS-derived burned area products for tropical peatland and non-peatland fires. *Environmental Research Letters*, 16(3), 035015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd3d1>
- Yıldız, C., Cömert, R., Tanyaş, H., Yılmaz, A., Akbaş, A., Akay, S. S., ... Görüm, T. (2023). The effect of post-wildfire management practices on vegetation recovery: Insights from the Sapadere fire, Antalya, Türkiye. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1174155. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1174155>
- Zhang, S., Zhao, H., Wu, Z., & Tan, L. (2022). Comparing the ability of burned area products to detect crop residue burning in China. *Remote Sensing*, 14(3), 693. <https://doi.org/10.3390/rs14030693>
- Zhou, L., Wang, Y., Chi, Y., Wang, S., & Wang, Q. (2019). Contrasting Post-Fire Dynamics between Africa and South America based on MODIS Observations. *Remote Sensing*, 11(9), 1074. <https://doi.org/10.3390/rs11091074>