

Uzaktan Algılama ve CBS Kullanılarak Orman Yangınlarının Etkilerinin Analizi: Taşköprü 2020 Orman Yangını Örneği

Analysis of the Effects of Forest Fires Using Remote Sensing and GIS: The Case of the 2020 Taşköprü Forest Fire

Tolga Kaynak^{1*} 

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Tolga Kaynak
tolgakaynak@ohu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1643526

Yayın süreci

Geliş tarihi: 20.02.2025
Kabul tarihi: 05.06.2025
Basım tarihi: 27.09.2025

Özet

Orman yangınları, ekosistem üzerinde önemli çevresel etkiler yaratan ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit eden afetler arasında yer almaktadır. 2020 yılında Kastamonu ilinin Taşköprü ilçesinde meydana gelen orman yangınının yangın öncesi ve sonrası ekolojik değişimleri belirlemek için Sentinel-2 ve Landsat 8 uydu görüntülerinden elde edilen Fark Normalize Edilmiş Yanma Oranı (dNBR), Fark Normalize Edilmiş Bitki örtüsü İndeksi (dNDVI) ve Fark Arazi Yüzey Sıcaklığı (dLST) haritaları kullanılmıştır. Bu haritalar Avrupa Orman Yangın Bilgi Sistemi (EFFIS) verileriyle karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmıştır. dNBR sonuçları Sentinel-2 için %84,44, Landsat 8 için %81,53 doğruluk oranı ile yangın alanlarını yüksek doğrulukla belirlemiştir. dNDVI analizleri ise Sentinel-2 ve Landsat 8 için sırasıyla %77,84 ve %74,81 doğruluk sağlamıştır. Ayrıca, dLST haritası %77,26 doğruluk oranına ulaşmıştır. Sonuçlar, Sentinel-2 görüntülerinin daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olması nedeniyle yangın alanlarını belirlemede daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bununla birlikte, uydu verilerinin spektral bant genişlikleri, görüntüleme zamanlamaları ve atmosferik etkiler gibi faktörler de doğruluk üzerinde önemli etkiye sahip olmuştur. Bu çalışma, orman yangınlarının tespitinde Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerinin etkinliğini vurgulamakta; ayrıca yangın yönetim ve ekosistem restorasyon stratejilerinin geliştirilmesine yönelik bir bilimsel katkı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Orman yangını, CBS, Uzaktan algılama

Abstract

Forest fires are among the disasters that create significant environmental impacts on ecosystems and threaten the sustainability of natural resources. Difference Normalized Burn Ratio (dNBR), Difference Normalized Difference Vegetation Index (dNDVI), and Difference Land Surface Temperature (dLST) maps derived from Sentinel-2 and Landsat 8 satellite imagery were used to determine ecological changes before and after the forest fire that occurred in Taşköprü district, Kastamonu province, in 2020. Accuracy analysis was performed by comparing these maps with data from the European Forest Fire Information System (EFFIS). dNBR results identified fire areas with high accuracy, with an accuracy rate of 84.44% for Sentinel-2 and 81.53% for Landsat 8. dNDVI analysis provided accuracy rates of 77.84% and 74.81% for Sentinel-2 and Landsat 8, respectively. In addition, dLST map achieved an accuracy rate of 77.26%. The results showed that Sentinel-2 imagery produced more accurate results in determining fire areas due to their higher spatial resolution. However, factors such as spectral bandwidths of satellite data, imaging timings and atmospheric effects have also had a significant impact on accuracy. This study highlights the effectiveness of Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) techniques in detecting forest fires; it also presents a scientific contribution to the development of fire management and ecosystem restoration strategies.

Keywords: Forest fire, GIS, Remote sensing

1. Giriş

Afetler, toplumların kendi kaynaklarıyla başa çıkamayacağı düzeyde, insan hayatını, ekonomik yapıyı ve doğal çevreyi olumsuz etkileyen olaylar olarak tanımlanmaktadır (Smith vd., 2023). Afetler genel olarak doğal ve insan kaynaklı afetler olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Doğal afetler, jeolojik, meteorolojik ve biyolojik faktörlerden kaynaklanırken, insan kaynaklı afetler ise insan faaliyetlerinin bir sonucudur. Doğal afetler arasında deprem, sel, heyelan, kasırga ve orman yangınları gibi olaylar yer almaktadır. Buna karşın, insan kaynaklı afetlere ise endüstriyel kazalar, nükleer felaketler ve kimyasal sızıntılar örnek gösterilmektedir (Alexander, 2002). Orman yangınları, hem doğal hem de insan kaynaklı nedenlerle meydana gelebilen karmaşık afet türlerinden biridir. Doğal nedenler arasında özellikle yıldırım düşmesi ve uzun süreli kurak hava koşulları öne çıkarken; insan kaynaklı nedenler, tarım arazilerinin açılması, anız yakma uygulamaları ve ormanlık alanlarda ihmalkâr davranışlar gibi etkenleri içermektedir.

Orman yangınları, doğal ekosistemlerin yapısını, biyolojik çeşitliliği ve karbon döngüsünü olumsuz etkileyen, çoğu zaman geri dönüşü zor zararların meydana geldiği karmaşık olaylardır (Bowman vd., 2009). Bu yangınlar, uzun vadede toprağın verimliliğini düşürebilir. Yangın sonrası artan erozyon ve çölleşme riski, ekosistemin kendini toparlama sürecini zorlaştırabilir. Orman yangınları, özellikle Akdeniz iklim kuşağında bulunan ülkelerde yoğun olarak görülmekte ve yaz aylarında daha tehlikeli hale gelmektedir. Bu dönemde İspanya, Yunanistan, İtalya ve Portekiz gibi Güney Avrupa ülkelerinde kaydedilen yüksek sıcaklıklar ve düşük nem oranı, yangınların çıkış ve yayılım riskini artıran başlıca iklimsel etkenler arasında yer almaktadır (San-Miguel-Ayanz vd., 2013). Kaliforniya ve Avustralya'da da benzer şekilde yüksek sıcaklıklar, kuraklık ve kuvvetli rüzgârlar yangın sezonunun şiddetini artırmaktadır (Bowman vd., 2009). Türkiye ise coğrafi konumu ve iklim özellikleri nedeniyle Akdeniz iklimine sahip bölgelerinde yoğun olarak orman yangınlarına maruz kalmaktadır. Orman Genel Müdürlüğü (OGM) verilerine göre, Türkiye'de 2021 yılında gerçekleşen yangınlarda yaklaşık 142 bin hektar ormanlık alan zarar görmüştür (Orman Genel Müdürlüğü, 2021).

UA teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte uydu verileri orman yangınlarının izlenmesinde, kontrol altına alınmasında ve etkilerinin analiz edilmesinde yangın yönetimi stratejilerinin başarılı olması açısından önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Yüzey sıcaklığı, orman yangınlarının tespiti ve izlenmesinde önemli bir parametredir. Yangın sırasında ve sonrasında yüzey sıcaklığındaki değişimler, yangının şiddeti ve yayılımı hakkında bilgi sağlar. Spektral yanma indeksleri ise, farklı dalga boylarındaki yansıma değerleri kullanılarak yanan alanların belirlenmesi ve yangın etkilerinin haritalanmasında kullanılmaktadır (Lentile vd., 2006). Normalize Edilmiş Yanma Oranı (NBR) ve Yanan Alan İndeksi (BAI), bu analizlerde yaygın olarak kullanılan temel indekslerdir (Key & Benson, 2006). Bununla birlikte, son yıllarda Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) ve bu veriden türetilen dLST göstergesi, yangın sonrası ısısal aykırılıkların belirlenmesinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle MODIS ve Landsat gibi platformlardan elde edilen LST verileri kullanılarak, yangın sonrası yüzey sıcaklığında meydana gelen değişimlerin mekânsal desenleri detaylı biçimde ortaya konabilmektedir (Maffei vd., 2018; Mohammed vd., 2025). dLST, sadece yanmış alanların belirlenmesiyle kalmayıp aynı zamanda yangının şiddetini yansıtan dolaylı bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Mehmood vd., 2024). Bu indeksler kullanılarak dünyanın farklı bölgelerindeki ve Türkiye'deki orman yangınları incelenmiştir.

Vlassova vd. (2014), farklı dönemlerde alınmış Landsat görüntülerini kullanarak LST ile orman yangını şiddeti arasındaki ilişkiyi incelemiş ve dLST ile dNDVI arasındaki korelasyonun, yanmış alanların belirlenmesinde güçlü bir gösterge olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, dLST'nin yalnız başına değil, dNBR ve dNDVI gibi spektral indekslerle birlikte kullanıldığında yangının ısı ve biyofiziksel etkilerini daha doğru yansıttığını göstermiştir. Fernández-García vd. (2018), yangına eğilimli üç farklı iklim bölgesinde yangın şiddetini değerlendirmek amacıyla dNBR, dNDVI ve dLST gibi metrikleri kullanarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, farklı iklim bölgelerinde meydana gelen yangınların, Landsat görüntüleri ile incelenmiş; özellikle dNBR'nin yangın şiddetinin mekânsal dağılımını belirlemede yüksek doğruluk sağladığı raporlanmıştır. Ayrıca, dNDVI'nin yangın sonrası vejetasyon toparlanmasını hassas bir şekilde yansıttığı, dLST'nin ise yüzey sıcaklıklarındaki değişimlerle birlikte yanmış alanların tespiti ve yangın sonrası ısısal anomalilerin belirlenmesinde tamamlayıcı bir gösterge olduğu vurgulanmıştır. García-Llomas vd. (2019), Akdeniz'e özgü yangına eğilimli orman ekosistemlerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında, Landsat 8, Sentinel-2 ve Deimos-1 uydu verilerinden türetilen dNBR, dLST ve dNDVI indekslerini karşılaştırmalı olarak analiz etmiş ve farklı sensörlerin yanlışlık şiddeti belirlemedeki performanslarını değerlendirmiştir. Çalışmada, Sentinel-2 verilerinin daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olması nedeniyle küçük ölçekli yangın etkilerinin belirlenmesinde daha doğru sonuçlar verdiği, buna karşın Landsat 8'in zamansal kapsam avantajı sunduğu raporlanmıştır. Ayrıca, dNBR indeksinin özellikle yüksek şiddetli yanmış alanlarda daha güçlü ayrımlar sağladığı, dNDVI'nin ise vejetasyon kaybının incelenmesinde tamamlayıcı bir rol üstlendiği ifade edilmiştir. Bu bulgular, dNBR ve dNDVI'nin uygun sensör seçimiyle birlikte kullanıldığında yangın sonrası etkilerin daha hassas şekilde izlenmesine katkı sunduğunu göstermiştir. Fernández-Manso ve Quintano (2022), Landsat uydu verilerinden türetilen yüzey enerji dengesi değişkenlerinin analiz edilmesiyle, yangın alanlarında dNBR ile uyumlu sonuçlar verebildiği tespit edilmiştir. Bu kapsamda, enerji dengesi parametrelerinin dSLT yerine dNBR ve dNDVI ile birlikte değerlendirilmesinin, yangın şiddeti haritalarının yorumlanmasında çok boyutlu bir analiz çerçevesi sunduğu vurgulanmıştır. Srivastava vd. (2021), Avustralya'nın güneydoğu Queensland bölgesinde, yangın öncesi planlama ve

yönetim süreçlerinde mekânsal veri tabanlarının etkin kullanımını araştırmışlardır. Araştırmacılar, uydu verileri, topografik analizler ve bitki örtüsü sınıflamaları gibi çok katmanlı coğrafi verileri bir araya getirerek kontrollü yakma uygulamaları için karar destek sistemleri geliştirmiştir. Çalışma, dNBR, dNDVI ve dLST gibi UA göstergelerinin, mekânsal karar destek sistemleriyle entegrasyonunun, yangın sonrası analizlerin ötesinde proaktif yangın yönetiminde de değer taşıdığını tespit etmişlerdir. Guo vd. (2022), Çin'in güneyindeki ormanlarda yürüttükleri çalışmada, yangın şiddetinin belirlenmesinde optimum spektral indeksi seçmek için 12 farklı spektral indeksi karşılaştırdılar. Çalışma kapsamında dNBR, RdNBR ve RBR'nin diğerlerinden daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Zheng vd. (2022), çalışma alanının yanma şiddetinin tespitinde dNBR ve dNDVI oldukça düşük performans göstermiştir. dLST ise bunlara kıyasla %34.80 ile daha yüksek genel doğruluğa sahip olmuştur. Bu sonuçlar nedeniyle çalışma kapsamında yanma şiddeti seviyelerinin bulunmasında dLST, dNBR ve dNDVI yerine SSTCA-SVR modelinin kullanılmasının yararlı olacağı belirtilmiştir. Barnadi vd. (2023), Endonezya'daki Gililawa Darat adasında meydana gelen büyük çaplı bir orman yangınının yanma şiddeti potansiyelini değerlendirmek için dNBR, MIRBI, dMIRBI, CSI, dCSI, NDVI, dNDVI, EVI ve dEVI gibi Sentinel-2 ile üretilen ve LST, dLST, LST/EVI ve d(LST/EVI) gibi Landsat 8 ile üretilen göstergeler kullanılmıştır. Doğruluk değerlendirme aşamasında Sentinel-2 uydusundan üretilen dNBR en iyi performansı göstermiştir. Buna karşın Landsat uydusu kullanılarak oluşturulan göstergelerden dLST en yüksek genel doğruluk ve kappa değerlerine sahip olmasına rağmen zayıf performans göstermiştir. Mohammed vd. (2025), Bangladeş'teki Rema-Kalenga Yaban Hayatı Koruma Alanı'nda, dNBR ile insan kaynaklı orman yangınlarının mekânsal analizini gerçekleştirmiştir. Ayrıca bu indeksin farklı spektral indeksler (dNDVI, dLST ve dEVI), toprak özellikleri (kum, silt ve kil gibi) ve bitki özellikleri (çıplak zemin, ağaç örtüsü ve çalı örtüsü gibi) arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu işlemi yangının verdiği hasarı ve orman ekosisteminin yeniden büyüme potansiyelini tespit etmek için gerçekleştirmişlerdir. dNBR ile karşılaştırılanlar arasındaki ilişki orman yangınlarının etkisini anlamada anlamlı bulunmuştur. Sobrino vd. (2019) arazi üzerindeki ölçümler ile dNBR ve dNDVI indekslerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada, bu indeksler ile arazi gözlemleri arasında anlamlı ilişkiler bulunduğu belirtilmiştir. Ancak, indekslerin doğruluğu, bitki örtüsü tipi, yangının şiddeti ve bölgesel değişkenlik gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebileceğini söylemişlerdir. Avetisyan vd. (2023) farklı orman ekosistemlerinde yangın sonrası değişimlerin izlenmesi için kullanılan spektral indekslerin etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmada, dNDVI, dNBR ve dDI gibi indekslerin, yanmış alanların tespitinde farklı performans gösterdiği ve özellikle orman yapısı ile topografik değişkenlerin indeks performansını doğrudan etkilediği sonucuna varılmıştır. Qarallah vd. (2022) çalışmalarında, yarı-kurak bir bölgedeki küçük ölçekli orman yangınlarının tespiti için Sentinel-2 ve Landsat 8 uydu verileri kullanılmıştır. Çalışmada, yüksek mekansal çözünürlüğe sahip Sentinel-2 verilerinin, Landsat 8 verilerine kıyasla yangın sonrası değişimlerin daha ayrıntılı bir şekilde belirlenmesine olanak sağladığı ifade edilmiştir. Ancak, küçük ölçekli yangınların tespitinde her iki uydu sisteminin de bazı kısıtlamalara sahip olduğu vurgulanmıştır.

Türkiye'de yapılan çalışmalarda ise Çolak ve Sunar (2018) yangın öncesi ve sonrası yüzey sıcaklığı değişimlerinin mekansal analizi yapılmıştır. Çalışma, yüzey sıcaklığı verilerinin yangın öncesinde yüksek yangın riski taşıyan alanların belirlenmesinde ve yangın sonrası ekosistem değişimlerinin izlenmesinde önemli bir gösterge olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) verilerinin doğruluğunun atmosferik koşullar ve yüzey özellikleri gibi değişkenlerden etkilendiği belirtilmiştir. Erener ve Sarp (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada uydu görüntülerinin orman yangınlarının izlenmesinde ve analizinde etkin bir araç olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Çalışma, yangın alanlarının belirlenmesi sürecinde uydu görüntülerinin ve CBS destekli analizlerin önemini vurgulamıştır. Sarp vd. (2018) Mersin-Anamur orman yangınının UA teknikleri ile analiz edilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiş ve mekansal analizlerin yangın alanlarının belirlenmesinde etkin bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Sabuncu ve Özener (2019), İzmir-Seferihisar orman yangını örneğinde yanmış alanların tespiti için UA tekniklerini kullanarak farklı indekslerin etkinliğini değerlendirmiştir. Bu çalışmada, yangın alanlarının belirlenmesinde NBR gibi indislerin öne çıktığı belirtilmiştir. Aynı zamanda, yangın sonrası alanların geri kazanım sürecinin izlenmesi açısından da UA yöntemlerinin önemine dikkat çekilmiştir. Çolak ve Sunar (2020), İzmir'in Menderes ilçesinde meydana gelen orman yangınına incelemiştir. Çalışmada dLST ile dNBR arasında yüksek korelasyon tespit edilmiştir. Ayrıca kapalılık oranının %71'den büyük ve eğimin ise %35'ten büyük olduğu alanlarda yanma olayının en fazla olduğu tespit edilmiştir. Yüksel (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışma, farklı UA indislerinin yanmış alanların tespitindeki etkinliğini incelemiş ve 2022 yılında Mersin'in Gülnar bölgesinde gerçekleşen orman yangını örnek olay olarak ele almıştır. Bu çalışmada, yangın alanlarını belirlemede kullanılan farklı spektral indislerin karşılaştırmalı analizleri yapılmış ve en uygun yöntemlerin belirlenmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Abdikan vd. (2022) Akdeniz ekosistemindeki Türk kızılçamı ormanındaki yanmış alanların tespitinde Sentinel-2 bantları, Landsat 8 bantları, Sentinel-1 C-bant ve ALOS-2 L-bant SAR görüntülerinin geri saçılımı kullanılmıştır. Ayrıca bu verilerinden üretilen NBR, dNBR, dLST ve geri saçılım farkları da kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm özelliklerin yanmış alan haritasının üzerindeki katkıları analiz edilmiştir. analizler sonucunda ALOS-2 verilerinin Sentinel-1 verilerinden daha iyi katkı sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca doğruluğu değerlendiren istatistiksel metriklere göre Landsat 8 bantları, dNBR, dLST, ve L-bant kombinasyonunun iyi sonucu verdiği bulunmuştur. Çolak ve Sunar (2023) Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) verilerinin, yangın öncesi ve sonrası mekânsal analizlerdeki etkinliğini değerlendirmişlerdir.

Çalışmanın ilk aşamasında yangın öncesi LST haritalarının tüm meteorolojik parametrelerle ciddi oranda ilişkili olduğu tespit edildi. Daha sonra yangın sonrası bozulmaları izlemek için yangın sonrası üretilen LST, dLST, NDMI, DI, dNBR ve TVDI arasında korelasyon analizi gerçekleştirildi. Bu işlem sonucunda en yüksek korelasyon dLST ile dNBR arasında bulunmuştur.

Türkiye’deki en şiddetli orman yangınları genellikle Akdeniz ve Ege Bölgelerinde meydana gelmiştir. Bu durum bölgelerdeki orman yangınları probleminin çok yönlü incelenmesi gerekliliğini gözler önüne sermiştir. Bu bağlamda, çalışma alanı olarak Türkiye’deki orman yangınları ile ilgili çalışmalar Akdeniz ve Ege bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Buna karşın, Karadeniz Bölgesi’nde meydana gelen büyük çaplı orman yangınlarına ilişkin UA temelli çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır. Özellikle 2020 yılında Kastamonu ilinin Taşköprü ilçesinde gerçekleşen büyük yangın, bu bölge için önemli bir örnek teşkil etmektedir. Bu bağlamda çalışma, Karadeniz Bölgesi’ndeki orman yangını dinamiklerinin anlaşılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Nitekim 2020 yılında Karadeniz Bölgesindeki Kastamonu ilindeki Taşköprü ilçesinde meydana gelen orman yangınında önemli derecede orman kaybı söz konusu olmuştur. Bu nedenle çalışma, hem literatürdeki bölgesel boşluğu doldurmayı hem de Taşköprü orman yangını özelinde yüzey sıcaklığı ve spektral yanma indekslerinin kullanım potansiyelini ortaya koymayı hedeflemiştir.

Çalışmada kapsamında, yangın öncesi ve sonrası koşullar karşılaştırılarak zarar tespiti yapılmasına yönelik analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca farklı UA göstergelerinin (dNBR, dNDVI ve dLST) birlikte değerlendirilmesi yoluyla Karadeniz Bölgesi’nde gerçekleşen nadir bir yangın olayına çok boyutlu bir yaklaşım sunarak bölgesel literatüre özgün bir katkı sağlamayı hedeflemiştir. Bununla birlikte, çalışma sonuçları, orman yangınlarına ilişkin önleme, müdahale ve iyileştirme süreçlerinde karar vericilere bilimsel veriler sunarak büyük bir fayda sağlamaya yönelik stratejik bir yaklaşım sunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

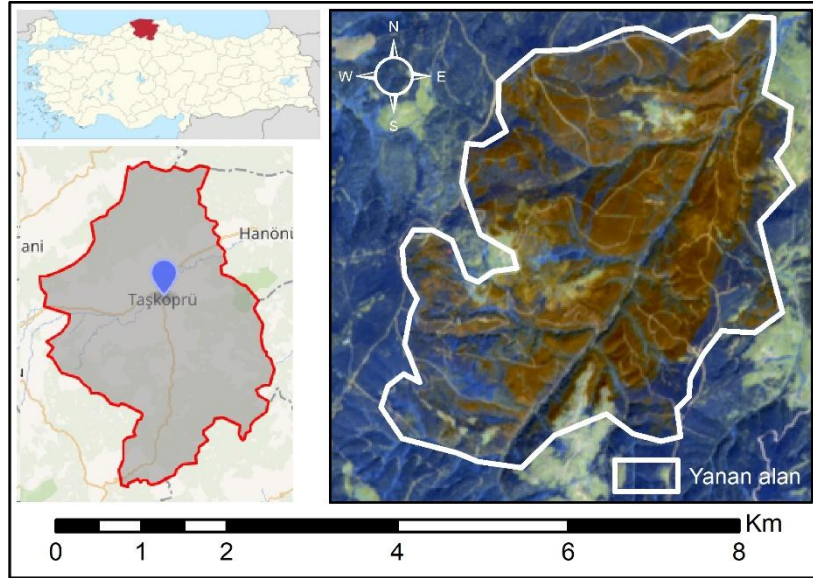
Bu çalışma kapsamında, 2 Eylül 2020 tarihinde Kastamonu ili Taşköprü ilçesine bağlı Derekaraağaç Köyü’nde meydana gelen orman yangınının etkilerini analiz etmek amacıyla, Sentinel-2 ve Landsat 8 görüntüleri kullanılmıştır. Uydulardan elde edilen çok bantlı görüntüler, yangın öncesi ve sonrası dönemleri kapsayacak şekilde seçilmiştir. Yangının etkilerini değerlendirmek amacıyla dNBR, dNDVI ve dLST göstergeleri üretilmiş; ayrıca model çıktılarının referans verilerle uyumu değerlendirilmiştir.

2.1 Çalışma Alanı

Kastamonu ili, coğrafi yapısı, iklimsel özellikleri ve zengin orman varlığı ile Karadeniz Bölgesi’nde önemli bir yere sahiptir (İbret, 2018). Kastamonu il merkezinin 42 km kuzeydoğusunda yer alan Taşköprü ilçesinde, Karadeniz iklimi ile iç kesimlerin karasal iklimi arasında geçiş özellikleri gözlemlenmektedir. Yıl boyunca genellikle bol yağış alan ilçede, yaz mevsimi kurak ve sıcak, kış mevsimi ise soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Ortalama yıllık sıcaklık 10-12 °C arasında olup, yıllık yağış miktarı 800-1.200 mm arasında değişmektedir. Yüzölçümü yaklaşık 1.971 km² olan ilçe, Tosya, Kastamonu merkez, Hanönü ve Cide ilçeleriyle komşudur. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 500 metre civarında olup, batıdan doğuya doğru alçalan bir topoğrafik yapıya sahiptir.

Bölge halkının temel geçim kaynaklarının başlarında tarım, hayvancılık ve orman ürünleri gelmektedir. Ayrıca orman varlığı açısından zengin ve biyolojik çeşitliliği yüksek bir bölgedir. Bölgedeki bu zenginlikler, hem tarım hem de orman faaliyetlerine dayalı olarak çeşitli ekonomik olanaklar sunmaktadır. Bu durum, bölgedeki sanayi yatırımlarının gelişmesine de katkı sağlamaktadır. MOPAK gibi hâlen faaliyet gösteren kâğıt fabrikasının yanı sıra, son yıllarda bazı küçük sanayi işletmeleri (ağaç işleri, konfeksiyon, sarımsak işleme gibi) de faaliyete geçmiştir. Taşköprülü girişimcilerle kurulan EKOL Ağaç Sanayi, ilçenin ihracat yapan örnek kuruluşlarından biri olarak dikkat çekmektedir (Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı, 2012). Ancak, bölgenin doğal kaynaklarına dayalı bu ekonomik faaliyetler, çevresel risklerle de karşı karşıyadır.

Taşköprü, sahip olduğu geniş orman alanları, yaz aylarında artan sıcaklıklar ve düşük nem oranları gibi iklimsel koşullar nedeniyle orman yangınlarına karşı hassas bir bölge konumundadır. Orman yangınları, tarım alanlarının ve köylünün geçim kaynaklarını tehdit eden büyük bir sorun oluşturmaktadır. Çevresel açıdan değerlendirildiğinde, yangınlar sonucu ortaya çıkan tahribat, bölgedeki bitki ve hayvan popülasyonlarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ekonomik açıdan ise can veya mal kayıplarına neden olabilmektedir. Bu çalışmada ele alınan vaka kapsamında, Taşköprü ilçesine bağlı Derekaraağaç Köyü’nde 2 Eylül 2020 tarihinde saat 15.00’te başlayan orman yangını, 700 hektardan fazla orman alanını yok etmiştir. Bu yangın sırasında Tekeoğlu Mahallesi’nde bulunan 4 ev ve 4 samanlık zarar görmüş, ancak can kaybı yaşanmamıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

2.2. Kullanılan Veri Kaynakları

Çalışma kapsamındaki girdi verileri Sentinel-2 ve Landsat 8 uydularından elde edilmiştir. Bu uydular kullanılarak üretilen girdi verilerinin doğruluk analizinde ise, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi (JRC) tarafından işletilen ve orman yangınlarının UA teknikleriyle izlendiği kapsamlı bir bilgi sistemi olan EFFIS veri tabanından 2 Eylül 2020 tarihine ait, çalışma alanında meydana gelen orman yangınının yerini gösteren vektör formatındaki harita temin edilmiştir (European Forest Fire Information System, 2023). EFFIS tarafından elde edilen yangınları gösteren poligonlar, hem ulusal hem de uluslararası orman yangını ile ilgili çalışmalarda referans veri kaynağı olarak kullanılmıştır (Lasaponara vd., 2019; Llorens vd., 2021; Çelik vd., 2024). Bu bağlamda, çalışmada da EFFIS yangın sınırları, model çıktılarının doğruluğunun değerlendirilmesinde güvenilir bir referans olarak ele alınmıştır. Sentinel-2 uydu görüntüleri Avrupa Birliği Uzay Ajansı (ESA)'nın web sitesinden (European Space Agency, 2021) ve Landsat 8 uydu görüntüleri ise Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmaları Kurumu (USGS)'in web sitesinden (U.S. Geological Survey, 2021) elde edilmiştir. Sentinel-2 görüntüleri L1-C seviyesinde, Landsat 8 görüntüleri ise L1 seviyesinde olup, her iki veri seti de radyometrik ve geometrik düzeltmelerden geçirilerek analizlere uygun hale getirilmektedir (Çelik vd., 2024). Bu iki uydu, farklı spektral ve mekansal özelliklere sahip olup, yangın etkilerinin daha ayrıntılı analiz edilmesine olanak sağlamaktadır.

Yangın öncesine (29 Ağustos 2020) ve yangın sonrasına (13 Eylül 2020) ait Sentinel-2 görüntüleri 10 m, 20 m ve 60 m mekansal çözünürlüğe sahip olup, toplam 13 spektral bant içermektedir (European Space Agency, 2021). Yangın öncesi (29 Ağustos 2020) ve yangın sonrası (16 Ekim 2020) tarihlerine ait Landsat 8 görüntüleri ise toplam 11 spektral banda sahip olan 15 m ile 100 m arasında değişen mekansal çözünürlükte veriler içermektedir.

2.3. dNBR, dNDVI ve dLST Değerlerinin Hesaplanması

Bu çalışma, 2020 yılında Taşköprü bölgesinde meydana gelen orman yangınının ekosistem üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. UA ve CBS teknolojileri, yangın öncesi ve yangın sonrası durumu gözlemlemek için bölgenin Landsat 8 uydü görüntülerinden elde edilen NBR, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), ve LST haritalarını üretmek için kullanılmıştır.

NDVI, fotosentez yapan bitkilerin yoğunluğunu ve sağlığını belirlemek amacıyla kullanılan birimsiz bir UA göstergesidir. Bu endeks, kırmızı (Red) ve yakın kızılötesi (NIR) bantlarının yansıma değerleri arasındaki birtakım matematiksel işleme dayanarak hesaplanmaktadır (Denklem 1). NDVI değeri 1'e yakın olan bölgeler sağlıklı bitki örtüsüne sahipken, 0 veya negatif değerlere yakın bölgeler vejetasyonsuz alanlar olarak sınıflandırılmaktadır (Tucker, 1979).

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red) \quad (1)$$

Ormanların yangın öncesinde NDVI değerleri genellikle yüksek olmaktadır. Bu durum, bitki örtüsü yoğunluğu yüksek olan alanlarda, yangının yayılmasına katkıda bulunabilecek yanıcı madde miktarının fazla olduğu anlamına gelmektedir.

Yangın sonrası NDVI değerleri ise genellikle inanılmaz bir şekilde düşer, çünkü yangın bitkilerin klorofil içeriğini yok eder ve toprağı açığa çıkarır. Bu değişim, yanmış alanların tespit edilmesi ve yangın sonrası ekosistem restorasyonu için önemli bir veri kaynağı sunmaktadır.

Yangın öncesi ve sonrası NDVI değerleri arasındaki fark, dNDVI (Differential NDVI) olarak adlandırılmaktadır ve Denklem 2 ile hesaplanmaktadır:

$$dNDVI = NDVI_{\text{öncesi}} - NDVI_{\text{sonrası}} \quad (2)$$

dNDVI yangın sonrası bitki örtüsündeki değişiklikleri ve hasar düzeyini belirlemeye yardımcı olmaktadır. dNDVI değeri ne kadar büyükse, yangının ekosistem üzerindeki etkisi o kadar şiddetli olmaktadır.

NBR, yangın sonrası tahribatı belirlemek için kullanılan birimsiz bir UA indeksidir. NBR, yangın sonrası ekosistem değişimlerinin detaylı olarak değerlendirilmesine olanak tanır. Yanmış alanların belirlenmesi, yangının şiddetinin anlaşılması ve rehabilitasyon sürecinin planlanmasında önemli bir rol oynar (Parks vd., 2015). Bu endeks, yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlarının kullanılmasıyla hesaplanmaktadır:

$$NBR = (NIR - SWIR)/(NIR + SWIR) \quad (3)$$

Sağlıklı vejetasyon, NIR bandında yüksek yansıtma gösterirken, SWIR bandında düşük yansıtma sergiler. Ancak yangın sonrası, bitki örtüsü tahrip olduğu için NIR yansıması azalırken, SWIR yansıması artmaktadır (Key & Benson, 2006). Yangın öncesi ve sonrası NBR değerleri arasındaki farkı temsil eden dNBR yanmış alanların şiddetine ilişkin kategorik değerlendirmeler yapılmasını sağlar.

LST, bir bölgenin yüzey sıcaklığını ifade eden ve termal kızılötesi bant kullanılarak hesaplanan bir UA parametresidir. Bu çalışmada, LST hesaplamaları Landsat 8 TIRS sensörüne ait termal kızılötesi Band 10 (10.60–11.19 µm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bant, yüzey sıcaklığı analizlerinde yaygın olarak tercih edilen ve atmosferik etkileri minimize eden bir spektral aralık sunmaktadır. LST hesaplama sürecinde sırasıyla radyans dönüşümü, parlaklık sıcaklığı hesaplaması, yüzey yayınlılığı (emissivity) tahmini ve nihai LST değerinin belirlenmesi adımları izlenmiştir. Tüm bu işlemler, Landsat uydu verilerine özgü parametrelerle hesaplanan ve literatürde yaygın kabul görmüş standart yöntemlere dayanmaktadır (Junaidi vd., 2021; Ezzaher vd., 2023; Lv vd., 2024; Moharir vd., 2024).

Yangın sırasında ve sonrasında yüzey sıcaklıklarında önemli değişimler meydana gelmektedir. Yangın sonrası dönemde, yanmış alanlar güneş ışığını daha fazla emer ve bu durum LST değerlerinde artışa neden olur (García & Caselles, 1991).

Yangın öncesi ve sonrası LST değerleri arasındaki fark, dLST olarak adlandırılmaktadır ve şu denklem ile hesaplanmaktadır:

$$dLST = LST_{\text{sonrası}} - LST_{\text{öncesi}} \quad (4)$$

dLST, yangın sonrası yüzey sıcaklığındaki değişimleri belirlemek için kullanılır. dLST'nin yüksek olduğu bölgeler, yangının şiddetinin yüksek olduğu ve yüzey özelliklerinin değiştiği alanları temsil etmektedir. LST ve dLST analizleri, yanmış alanların belirlenmesi ve yangın sonrası toprak sıcaklığı değişimlerinin izlenmesi açısından büyük öneme sahiptir.

2.4 Doğruluk Değerlendirmesi

Türkçeye Alan Çakışma Oranı olarak çevrilen Area of Overlap Coefficient (AoC), UA veya CBS verilerinden elde edilen model çıktıların, referans verilerle olan uyumunu nicel olarak değerlendirmek amacıyla kullanılan temel doğruluk ölçütlerinden biridir. AoC, model tarafından tespit edilen ve referans veri ile örtüşen alanların yüzdesini ifade eder. Bu ölçütün matematiksel tanımı:

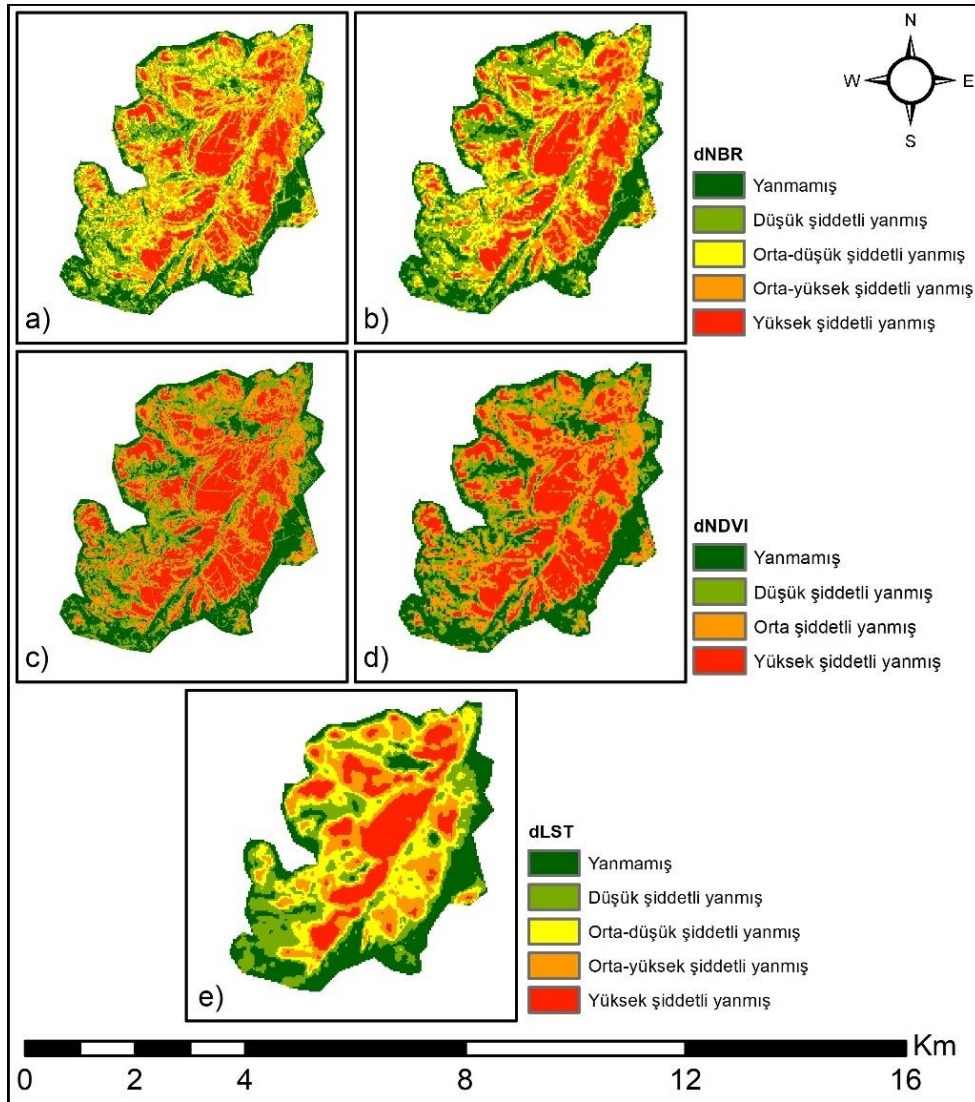
$$AoC(\%) = \frac{\text{Gerçek pozitif alan (TP)}}{\text{Referans veri tarafından belirlenen toplam alan (TP + FN)}} * 100 \quad (5)$$

EFFIS verileri doğrultusunda yapılan doğruluk değerlendirmesinde, her bir sınıflandırma sonucunun EFFIS poligonlarıyla çakışma düzeyi analiz edilmiştir. TP, hem model tarafından yanmış olarak sınıflandırılan hem de EFFIS verisinde yangın sınırı içinde kalan alanları ve FN ise model tarafından yanmamış olarak sınıflandırılan ancak EFFIS poligonları içinde kalan bölgeleri temsil etmektedir. AoC değeri %100'e ne kadar yakınsa, model o kadar yüksek doğrulukta tahmin yapmaktadır. Düşük AoC değerleri ise modelin tahmin yeteneğinin yetersiz olduğunu gösterir.

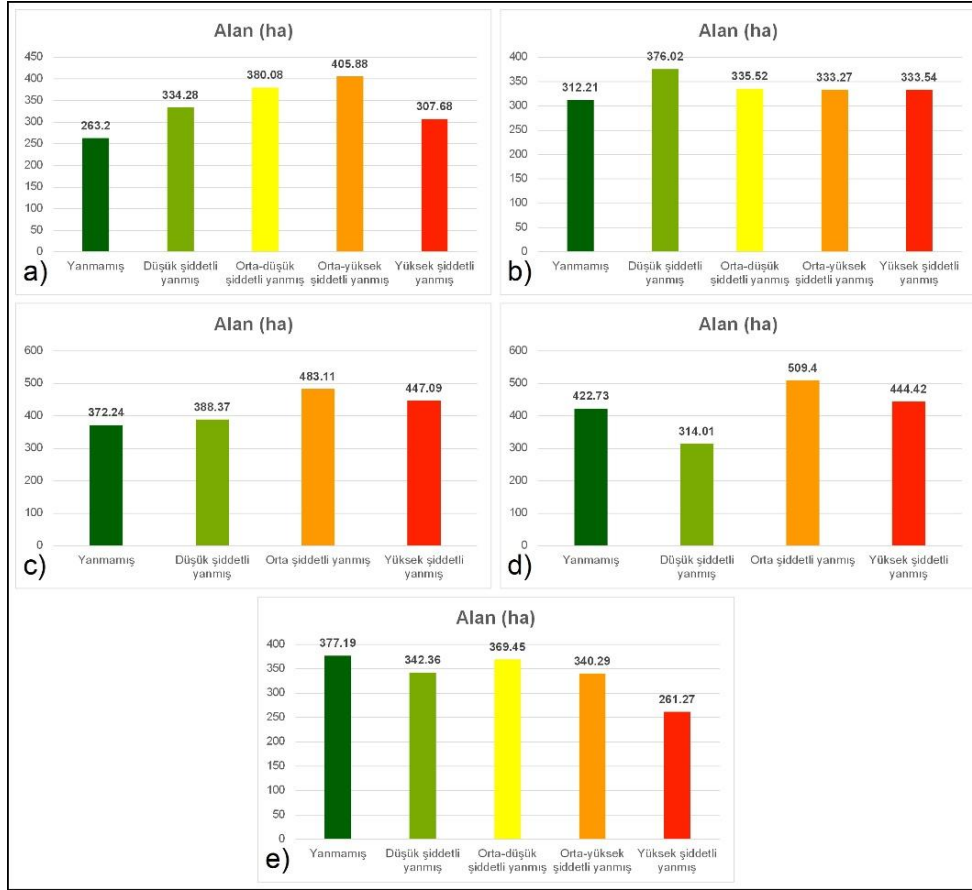
3. Bulgular

Çalışma alanında meydana gelen orman yangının şiddetini değerlendirmek için yangın öncesi ve yangın sonrası durumu gösteren Sentinel-2 ve Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Yangından etkilenen bölgeleri belirlemek için öncelikle her iki uydunun yangın öncesi ve sonrası tarihlerde çekilmiş görüntülerin NBR haritaları üretilmiştir. Daha sonra bu görüntülerden önceki görüntü sonraki görüntüden çıkarılarak Sentinel-2 ve Landsat 8 için dNBR haritaları elde edilmiştir. dNBR haritalarında uluslararası kabul görmüş eşik değer olan 0.1'den küçük alanlar yanmamış alan sınıflandırılmıştır (Şekil 2a ve Şekil 2b). Yine aynı kabul çerçevesinde 0.1-0.27 arası düşük şiddette yanmış, 0.27-0.44 arası orta-düşük şiddetli yanmış, 0.44-0.66 arası orta-yüksek şiddetli yanmış ve 0.66 üzeri ise yüksek şiddetli yanmış olarak sınıflandırılmıştır (U.S. Geological Survey, 2016; Çolak & Sunar, 2018; Çelik vd., 2024). Ayrıca bu sınıfların yangın alanı içindeki histogram dağılımı Şekil 3a ve Şekil 3b'de verilmiştir.

Sentinel-2 ve Landsat 8 tarafından oluşturulan dNBR haritalarının doğruluğunu değerlendirmek amacıyla, çalışma alanında rastgele bir biçimde 350 kontrol noktası seçilmiştir. Bu haritalar EFFIS tarafından sağlanan yangın poligonu verisi ile karşılaştırılmıştır. Her bir kontrol noktası, hem model çıktılarında (dNBR haritalarında) hem de referans veride (EFFIS poligonlarında) yanmış ya da yanmamış olarak tanımlanmıştır. Bu işlem sonucunda model tarafından yanmış olarak sınıflandırılan ve EFFIS poligonları içinde kalan noktaların toplamı TP ve model tarafından yanmamış olarak sınıflandırılan ancak EFFIS poligonları içerisinde yer alan noktaların toplamı FN de hesaplanmıştır. Bulunan nokta sayıları kullanarak dNBR haritalarının doğrulukları sırasıyla Sentinel-2 için %84.44 ve Landsat 8 için %81.53 olarak bulunmuştur.



Şekil 2. Farklı veri kaynakları kullanılarak oluşturulan yanmış alan şiddeti haritaları: a) Sentinel-2 görüntülerinden türetilen dNBR indeksi, b) Landsat 8 görüntülerinden türetilen dNBR indeksi, c) Sentinel-2 görüntülerinden türetilen dNDVI indeksi, d) Landsat 8 görüntülerinden türetilen dNDVI indeksi, e) Landsat 8 görüntülerinden türetilen dLST



Şekil 3. Farklı sınıflar için yanmış orman alanlarının alansal dağılımı: a) Sentinel-2 görüntülerinden türetilen dNBR indeksi, b) Landsat 8 görüntülerinden türetilen dNBR indeksi, c) Sentinel-2 görüntülerinden türetilen dNDVI indeksi, d) Landsat 8 görüntülerinden türetilen dNDVI indeksi, e) Landsat 8 görüntülerinden türetilen dLST

Yangın öncesine ve yangın sonrasına ait Sentinel-2 ve Landsat 8 uydu görüntülerinden toplam 4 adet NDVI haritaları üretilmiştir. Daha sonra her bir uydu görüntüsünün NDVI haritaları kendi içerisinde çıkarma işlemi yapılarak Sentinel-2 ve Landsat 8'in dNDVI haritaları oluşturulmuştur (Şekil 2c ve Şekil 2d). dNDVI haritaları yangın sonrası bitki örtüsü kaybı ve iyileşmesini değerlendirmek için elde edilmiştir. Bu haritalarda 0.1'den küçük alanlar yanmamış, 0.1-0.25 arası düşük şiddette yanmış, 0.25-0.45 arası orta şiddetli yanmış ve 0.45 üzeri ise yüksek şiddetli yanmış olarak kategorize edilmiştir (Sobrinho vd., 2019; Qarallah vd., 2022). Ayrıca bu sınıfların yangın alanı içerisindeki alansal dağılımını gösteren histogram Şekil 3c ve Şekil 3d'de verilmiştir.

dNDVI haritalarının doğruluk değerlendirmesi, EFFIS veri tabanından elde edilen yangın poligonları ile karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırma kapsamında Sentinel-2 ve Landsat 8 dNDVI haritalarından rastgele seçilen toplam 350 kontrol noktasında, her pikselin yanmış ya da yanmamış olup olmadığı hem model çıktısına (dNDVI) hem de referans veriye (EFFIS) göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda modelde yanmış olup, EFFIS poligonları içinde yer alan *TP* ve modelde yanmamış olarak sınıflandırılmış, ancak EFFIS yangın sınırları içinde kalan alan *FN* istatistiksel parametreleri hesaplanmıştır. Bu değerler *AoC* denkleminde kullanıldığında Sentinel-2 dNDVI haritası için doğruluk %77.84 ve Landsat 8 dNDVI haritası için ise doğruluk %74.81 elde edilmiştir.

Yangın öncesi ve sonrasına ait Landsat 8 uydusunun termal bantları hem LST'yi üretmek hem de LST'nin orman yangını üzerindeki etkisini incelemek için kullanılmıştır. Yangın öncesi ve yangın sonrası için oluşturulan LST haritaları birbirinden çıkarılarak dLST çalışma bölgesinin haritası elde edilmiştir (Şekil 2e). dLST haritası -2 °C'den küçük, -2-0.5 °C, 0.5-3 °C, 3-6 °C ve 6 °C'den büyük olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu eşik değerleri, literatürde orman yangınları sonrasında yüzey sıcaklığında meydana gelen değişimlerin sınıflandırılmasına ilişkin yapılan çalışmalar temel alınarak belirlenmiştir (Çolak & Sunar, 2023). Bu sınıfların yangın alanı içindeki kapsadığı alanı gösteren histogram dağılımı Şekil 3e'de verilmiştir.

dLST haritasının doğruluğu, EFFIS yangın poligonları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu analiz kapsamında, raster formatında üretilen dLST haritası ile vektör formatındaki EFFIS yangın sınırları mekânsal çakıştırmaya tabi tutulmuştur. Bu işlem sırasında rastgele seçilen toplam 350 kontrol noktaları kullanılarak *TP* ve *FN* hesaplanmıştır.

Burada *TP* dLST haritasında yanmış olarak sınıflandırılan ve EFFIS poligonları içinde yer alan alan toplam nokta sayısını ifade ederken, *FN* ise dLST haritasında yanmamış olarak sınıflandırılan ancak EFFIS yangın sınırları içinde kalan toplam nokta sayısını ifade etmektedir. Bu hesaplamalar kullanılarak dLST için doğruluk değeri %77.26 olarak bulunmuştur.

4. Tartışma

Sentinel-2 ve Landsat 8 görüntülerinden elde edilen dNBR haritalarının sınıf bazındaki histogram dağılımı, orman yangınına maruz kalan alanların sırasıyla yaklaşık %84 ve %81'inin doğru şekilde tespit edildiğini ortaya koymuştur. Bu sonuç, yangının önemli etkilerini doğrulamıştır. EFFIS yangın çevreleri ile yapılan bu doğrulama, belirlenen yanmış alanlarının büyük ölçüde resmi yangın kayıtlarıyla örtüştüğünü ve dNBR indeksinin güvenilirliğini desteklediğini göstermiştir.

Sentinel-2 ve Landsat 8 ile elde edilen dNDVI haritaları EFFIS verileriyle karşılaştırıldığında doğruluk oranları sırasıyla %77.84 ve %74.81 olarak bulunmuş ve bu değerler, önemli bir vejetasyon değişimini göstermiştir. Bu sonuçlar, vejetasyon indekslerinin yangın sonrası koşullara oldukça duyarlı olduğunu belirten önceki çalışmalarla uyumlu bulunmuştur (Chuvieco vd., 2002; Veraverbeke vd., 2011; Mallinis vd., 2018; Smith vd., 2021).

Zaman serisi analizi, NDVI düşüşünün yangın sonrası dönemde en belirgin olduğunu ve yanmış alanlarda kısmi iyileşme gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, NDVI'nin zaman içinde yangın sonrası vejetasyonun izlenmesi için etkili bir şekilde kullanılabileceğini belirten önceki çalışmalarla tutarlılık sağlamıştır (Van Leeuwen, 2008; Pérez-Cabello vd., 2021).

Yanmış alanları belirlemede dLST'nin doğruluğu %77.26 olarak bulunmuş ve bu, yangın etkisi değerlendirmelerinde termal ölçümlerin potansiyel faydasını ortaya koymuştur. Yangın sonrası sıcaklık artışı en çok yüksek şiddetli yanmış alanlarda gözlemlenmiş ve bazı bölgelerde sıcaklık anormalliklerinde ciddi artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, yangın olaylarının bitki örtüsü kaybı ve toprak yüzeyinin açığa çıkması nedeniyle yüzey sıcaklığında önemli bir artışa neden olduğunu belirten önceki araştırmalarla uyumludur (Angelino vd., 2020; Yao vd., 2024).

AoC değerlerinin karşılaştırmalı analizi, Sentinel-2 verilerinin Landsat 8'e kıyasla yangınları daha hassas bir şekilde tanımladığını ortaya koymuştur. Bu farkın, Sentinel-2'nin 20 m mekansal çözünürlüğe sahip olmasına karşın, Landsat 8'in 30 m çözünürlüğe sahip olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ancak bu farklılık yalnızca mekansal çözünürlükle açıklanamaz. Literatürde belirtildiği üzere, Sentinel-2 ve Landsat 8 verileri arasında spektral bant genişlikleri ve merkezi dalga boyları açısından da farklılıklar bulunmaktadır (Mallinis vd., 2018). Sentinel-2, özellikle NIR ve SWIR bantlarında daha dar bant genişliklerine sahip olduğundan, yangın sonrası spektral değişimlerin daha hassas yakalanmasına imkân tanımaktadır. Ayrıca, Sentinel-2 verilerinin yangın sonrası dönemde daha kısa sürede alınması, bitki örtüsü toparlanmasının etkilerini minimize ederek daha gerçek zamanlı tespit yapılmasını sağlamıştır (Qarallah vd., 2022). Atmosferik koşullardan kaynaklanan yansıma ve saçılma farklılıkları da tespit performansında etkili olmuştur. Dolayısıyla, Sentinel-2'nin üstün performansı mekansal çözünürlük avantajı kadar bu ek faktörlerden de etkilenmektedir. Öte yandan, Landsat 8'in termal görüntüleme yetenekleri, yangın sonrası sıcaklık değişiklikleri hakkında ek bilgiler sunarak bölgesel yangın izleme için önemli bir veri kaynağı olmaya devam etmektedir. Orman yangının sonrasını gösteren Landsat 8 uydusundan, bulutluluğun olmadığı ilk görüntü tarihinin yangın söndürüldükten yaklaşık bir ay sonra alınabilmektedir. Bu durum, bölgede bitki örtüsünün gelişiminin hızlı olmasından dolayı görüntüde yanmamış alanların miktarı fazla çıkmasına sebep olabilmektedir. Buna karşın Sentinel-2 uydusu görüntüsünden yangın söndürüldükten hemen sonra çekilen görüntü alınabilmektedir.

EFFIS yangın verileri ile yapılan karşılaştırmalar, dLST'nin yanmış alanları belirlemede etkili olduğunu doğrulamakla birlikte, Sentinel-2 tarafından üretilen dNBR ve dNDVI gibi spektral indekslerden biraz daha düşük doğruluğa sahip olduğunu göstermiştir. dLST ile bu haritalar karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, çalışma alanının önemli bir kısmında örtüşmeler sağlanırken, özellikle yangın sınırına yakın alanlarda farklılıklar göstermiştir. Bu durumun temel nedenlerinden biri, dLST'nin yalnızca termal değişimlere duyarlı olmasıdır. Yüzey sıcaklığında gözlenen artış, her zaman bitki örtüsü kaybı ile birebir örtüşmemekte; toprak nemi, yüzey rengi, eğim yönelimi ve güneşlenme süresi gibi faktörler de sıcaklık farklarını etkileyebilmektedir. Örneğin, yangın sonrası düşük şiddetli etkilenmiş bazı bölgelerde dNDVI ve dNBR düşük değer gösterse de, toprak yüzeyinin açığa çıkması nedeniyle dLST değerleri yüksek kalabilmektedir. Bu da FN değerinin yüksek çıkmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, dLST, yangın sonrası termal anormalliklerin değerlendirilmesi ve arazi yüzey değişikliklerinin anlaşılması açısından değerli bir parametre olarak öne çıkmıştır.

Bulgular, dNBR'nin yangın şiddeti değerlendirmesi için birincil metrik olarak kullanılmasını desteklerken, dNDVI'nin bitki örtüsü kaybı ve iyileşmesi için güvenilir bir gösterge olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca, dLST, yangın sonrası termal anormallikler hakkında tamamlayıcı bilgiler sağlayarak yangının genel etkisinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuştur. Bu çalışmanın bir diğer önemli katkısı, Karadeniz Bölgesi gibi büyük çaplı orman yangınlarının nadiren incelendiği bir alanda kapsamlı bir UA tabanlı analiz gerçekleştirilmiş olmasıdır. Taşköprü 2020 orman yangınına odaklanan bu analiz, Sentinel-2 ve Landsat 8 verilerinin spektral ve termal özelliklerini çok boyutlu bir yaklaşımla değerlendirmiştir.

Bu kapsamda, yangın sonrası bitki örtüsü kaybı, sıcaklık anomalileri ve alan değişimleri farklı veri kaynakları kullanılarak bütüncül bir şekilde ele alınmış ve bölgesel yangın dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlanmıştır. Çalışmanın bulguları, Karadeniz Bölgesi'ndeki yangın izleme çalışmalarına yönelik literatürdeki sınırlı boşluğu doldurmakta ve gelecekteki araştırmalara önemli bir temel teşkil etmektedir.

5. Sonuçlar

Orman yangınları, doğal ve beşeri faktörlerin etkisiyle meydana gelen, ekosistem üzerinde yıkıcı sonuçlara yol açan afet türlerinden biridir. Orman yangınlarının en önemli nedenlerinden biri artan sıcaklık ve kuraklıktır. Küresel iklim değişikliği, sıcak hava dalgalarının sıklığını ve süresini artırarak yangın riskini yükseltmektedir. Özellikle düşük nem oranları ve azalan yağış miktarı, yanıcı madde birikimini artırarak yangınların yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Yangınlar sırasında açığa çıkan karbon monoksit, partikül maddeler ve diğer zararlı gazlar, hava kirliliğini artırarak insan sağlığını tehdit etmektedir. Orman yangınları, su havzalarını olumsuz etkileyerek su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Özellikle yangın sonrası meydana gelen kül, su kaynaklarına taşınarak ekosistem üzerinde zararlı etkiler oluşturabilmektedir. Orman yangınları, flora ve fauna üzerinde geri dönüşü zor etkiler yaratmaktadır. Yangınların sık yaşandığı bölgelerde habitat kaybı nedeniyle birçok tür tehdit altına girmektedir. Bu durum, biyoçeşitliliğin azalmasına ve ekosistemlerin doğal dengesinin bozulmasına yol açmaktadır.

Türkiye'de orman yangınlarının en yoğun olarak gözlemlendiği bölgeler Akdeniz, Ege ve Marmara olup, bu alanlar uzun yıllardır çeşitli bilimsel çalışmalara konu olmuştur. Ancak Karadeniz Bölgesi'nde de zaman zaman büyük çaplı yangınlar meydana gelmekte ve bu durum, bölgedeki yangın riskinin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle 2 Eylül 2020 tarihinde Kastamonu'nun Taşköprü ilçesinde gerçekleşen yangın, bölge tarihinin en geniş alanlı ve etkili orman yangınlarından biri olarak kayıtlara geçmiştir. Bu olay, yalnızca yerel değil, bölgesel ölçekte de yangın dinamiklerinin araştırılması gerektiğine işaret etmektedir. Bu nedenle, çalışmada söz konusu yangın alanı örnek vaka olarak seçilmiştir.

UA ve CBS tekniklerinin entegre kullanımı, orman yangınlarının çevresel etkilerinin çok boyutlu değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, 2 Eylül 2020 tarihinde Kastamonu ili Taşköprü ilçesinde meydana gelen orman yangınının ekosistem üzerindeki biyofiziksel ve termal etkilerini tespit etmek amaçlanmıştır. Bu kapsamda dNBR, dNDVI ve dLST olarak adlandırılan farklı UA göstergeleri üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirmeler yapılmıştır. dNBR göstergesi, yanma şiddetinin mekânsal dağılımını yüksek doğrulukla tanımlayarak yangının doğrudan etkilediği alanların belirlenmesinde birincil veri kaynağı olarak öne çıkmıştır. Göstergenin, Sentinel-2 verisiyle %84,44 ve Landsat 8 verisiyle %81,53 doğruluk düzeyine ulaşması, farklı sensörlerle dahi istikrarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu başarı, özellikle NIR ve SWIR bantlarının yangın sonrası spektral yansımaları yakalamadaki duyarlılığıyla ilişkilidir.

Bitki örtüsündeki değişimi yansıtan dNDVI göstergesi, yangın sonrası vejetasyon kaybının değerlendirilmesinde tamamlayıcı bir rol üstlenmiştir. Sentinel-2 görüntüsüne dayalı analiz %77,84 doğruluk sağlarken, Landsat 8 temelli sonuçlar %74,81 doğruluk değeri ile bu bulguları desteklemiştir. dNDVI'nin zaman serisi analizinde ortaya çıkan ani düşüş, yangının klorofil yapısına verdiği zararı yansıtmaktadır. Aynı zamanda, belirli alanlarda tespit edilen kademeli artış, vejetatif toparlanma süreçlerinin mekânsal olarak izlenebileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, vejetasyon indekslerinin yangın sonrası değişimlere karşı yüksek hassasiyet gösterdiğini belirten önceki çalışmalarla tutarlılık sağlamıştır.

Landsat 8'in termal bantlarından elde edilen dLST göstergesi ise yangının yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerini ortaya koyarak, termal anomalilerin belirlenmesinde önemli katkı sunmuştur. Elde edilen %77,26 doğruluk oranı, dLST'nin yangın sonrası sıcaklık değişimlerine duyarlılığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, dLST çıktılarının dNBR ve dNDVI haritalarıyla karşılaştırmalı değerlendirilmesi sonucunda, birçok bölgede uyum gözlenmiş ancak bazı alanlarda farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklar özellikle yangın sınırına yakın geçiş bölgelerinde ve topografik çeşitliliğin fazla olduğu alanlarda ortaya çıkmış; yüzey sıcaklığındaki değişimlerin yalnızca yanma düzeyine değil, yüzey nemi, güneşlenme süresi ve toprak tipi gibi ekosistem bileşenlerine de bağlı olduğunu göstermiştir. Bu yönüyle dLST, dNBR ve dNDVI'ya kıyasla yangının etkilerini farklı bir boyutta ele almakta ve tamamlayıcı bilgi sağlamaktadır.

Sentinel-2 ve Landsat 8 verilerinin karşılaştırmalı analizi, Sentinel-2'nin daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olması nedeniyle yangın alanlarını belirlemede daha hassas sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, Sentinel-2 ve Landsat 8 arasındaki doğruluk farklılıklarının yalnızca mekânsal çözünürlükten kaynaklandığı sonucuna varmak eksik bir yaklaşım olur. Spektral bant karakteristikleri, atmosferik etkilerin farklı şekillerde yansımaları ve görüntüleme zamanlamasındaki farklılıklar da tespit edilen yangın alanlarının hassasiyetini doğrudan etkilemiştir. Sentinel-2'nin daha dar bant genişlikleri ve yangın sonrası daha erken veri sağlayabilmesi, yangın etkilerinin daha detaylı izlenmesine olanak sunmuştur. Bu bulgu, yangın sonrası analizlerde veri kaynaklarının tüm teknik özelliklerinin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır (Avetisyan vd., 2023; Qarallah vd., 2022). Buna karşın, Landsat 8'in termal bantları, yangın sonrası sıcaklık değişimlerini anlamada önemli katkılar sunmuştur.

Landsat 8 uydu görüntülerinin yangın sonrası alınmasında zaman farkı olması, bölgedeki hızlı bitki örtüsü yenilenmesi nedeniyle yanmamış alanların belirlenmesini etkileyebilmiştir. Buna karşın, Sentinel-2'nin daha erken elde edilen görüntüleri yangın etkilerini daha doğru bir şekilde yansıtabilmiştir. Bu bağlamda, UA teknolojileri ve CBS'nin entegre kullanımı, yangın sonrası alanların izlenmesi ve ekosistem restorasyon süreçlerinin yönetilmesi açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır. Özellikle Karadeniz Bölgesi'nde meydana gelen ve büyük orman kayıplarına neden olan Taşköprü 2020 yangını özelinde gerçekleştirilen bu çalışma, bölgesel düzeyde UA ve CBS tekniklerinin entegrasyonu ile orman yangını etkilerinin değerlendirilmesine yönelik literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmuştur. Gelişmiş analiz yöntemleri ile yangının çevresel etkileri daha doğru bir şekilde değerlendirilebilir ve gelecekteki yangın risklerini en aza indirmek için proaktif stratejiler geliştirilebilir. Ayrıca, bu tür çalışmaların ulusal yangın yönetim politikalarına entegre edilmesi, yangın önleme, müdahale ve iyileştirme süreçlerini optimize edebilir. Bu nedenle, bilimsel araştırmaların ve teknolojik ilerlemelerin bir araya getirilmesi, ekosistem temelli yangın yönetim sistemlerinin oluşturulmasına katkı sağlayarak sürdürülebilir orman yönetimi hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olacaktır.

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), Article 347. <https://doi.org/10.3390/f13020347>
- Alexander, D. E. (2002). *Principles of emergency planning and management*. Terra Publishing.
- Angelino, C. V., Cicala, L., Parrilli, S., Fiscante, N., & Ullo, S. L. (2020, September 26–October 2). *Post-fire assessment of burned areas with Landsat-8 and Sentinel-2 imagery together with MODIS and VIIRS active fire Products* [Symposium presentation]. IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (IGARSS), Waikoloa, HI, USA.
- Avetisyan, D., Stankova, N., & Dimitrov, Z. (2023). Assessment of spectral vegetation indices performance for post-fire monitoring of different forest environments. *Fire*, 6(8), Article 290. <https://doi.org/10.3390/fire6080290>
- Barnadi, I., Osawa, T., & Nuarsa, I. W. (2023). The accuracy of Gililawa Darat wildfire spread estimation using burn severity and WRF-SFIRE MODEL. *Ecotrophic*, 17(1), 119–136.
- Bowman, D. M., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., ... & Pyne, S. J. (2009). Fire in the Earth system. *Science*, 324(5926), 481–484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- 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. <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>
- Çelik, M. Ö., Fidan, D., Ulvi, A., & Yakar, M. (2024). Akdeniz bölgesi'ndeki orman yangınlarının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi: Mersin ili Silifke ilçesi örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 116–125. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1302553>
- Çolak, E., & Sunar, F. (2018, 18–21 Eylül). *Yüzey sıcaklığı ve spektral yanma indekslerinin orman yangını analizinde kullanımı* [Bildiri sunumu]. VII. Uzaktan Algılama–CBS Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye.
- Çolak, E., & Sunar, F. (2020). Spatial pattern analysis of post-fire damages in the Menderes District of Turkey. *Frontiers of Earth Science*, 14(2), 446–461.
- Çolak, E., & Sunar, F. (2023). Investigating the usefulness of satellite-retrieved land surface temperature (LST) in pre- and post-fire spatial analysis. *Earth Science Informatics*, 16(1), 945–963. <https://doi.org/10.1007/s12145-022-00883-8>
- European Forest Fire Information System. (2023). *Data and services*. Copernicus Europe's Eyes on Earth. 27 Kasım 2024'te <https://effis.jrc.ec.europa.eu/applications/data-and-services> adresinden alındı.
- Erener, A., & Sarp, G. (2017, 18–20 October). *Forest fire monitoring by using satellite images and information Technology* [Symposium presentation]. ISFOR 2017 International Symposium on New Horizons in Forestry, Isparta, Turkey.
- European Space Agency. (2021). *Sentinel-2 downloads*. 27 Kasım 2024'te https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Sentinel-2_downloads adresinden alındı.
- Ezzaher, F. E., Ben Achhab, N., Raissouni, N., Naciri, H., & Chahboun, A. (2023). Normalized Burn Ratio and land surface temperature pre-and post-Mediterranean forest fires. *Environmental Sciences Proceedings*, 29(1), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ecrs2023-15829>
- Fernández-García, V., Santamarta, M., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Marcos, E., & Calvo, L. (2018). Burn severity metrics in fire-prone pine ecosystems along a climatic gradient using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 206, 205–217. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.12.029>
- Fernández-Manso, A., & Quintano, C. (2022, June 27–July 1). *Nuevas metodologías basadas en teledetección para estimar la severidad de afección de un incendio* [Conference presentation]. 8° Congreso Forestal Español, Catalunya, Spain.

- García-Llamas, P., Suárez-Seoane, S., Fernández-Guisuraga, J. M., Fernández-García, V., Fernández-Manso, A., Quintano, C., ... & Calvo, L. (2019). Evaluation and comparison of Landsat 8, Sentinel-2 and Deimos-1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.006>
- García, M. J., & Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data. *Geocarto International*, 6(1), 31–37. <https://doi.org/10.1080/10106049109354290>
- Guo, L., Li, S., Wu, Z., Parsons, R. A., Lin, S., Wu, B., & Sun, L. (2022). Assessing spatial patterns and drivers of burn severity in subtropical forests in southern China based on Landsat 8. *Forest Ecology and Management*, 524, Article 120515. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120515>
- İbret, Ü. B. (2018). Kastamonu İlinin Coğrafi Özellikleri. In M. Eriş (Ed.), *81 İlde Kültür ve Şehir–KASTAMONU* (pp. 16–25). T.C. Kastamonu Valiliği.
- Junaidi, S. N., Khalid, N., Othman, A. N., Hamid, J. R. A., & Saad, N. M. (2021). Analysis of the relationship between forest fire and land surface temperature using Landsat 8 OLI/TIRS imagery. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 767(1), Article 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/767/1/012005>
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment (LA) sampling and analysis methods. In D. C. Lutes (Ed.), *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System* (pp. 219–269). United States Department of Agriculture.
- Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı. (2012). *2012 Yılı Faaliyet Raporu*. 2 Ocak 2025'te https://www.kuzka.gov.tr/dosya/2012_yillik_faaliyet_raporu.pdf adresinden alındı.
- Lasaponara, R., Proto, A. M., Aromando, A., Cardettini, G., Varela, V., & Danese, M. (2019). On the mapping of burned areas and burn severity using self-organizing map and Sentinel-2 data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(5), 854–858.
- Lentile, L. B., Holden, Z. A., Smith, A. M. S., Falkowski, M. J., Hudak, A. T., Morgan, P., Lewis, S. A., Gessler, P. E., & Benson, N. C. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*, 15(3), 319–345. <https://doi.org/10.1071/WF05097>
- Llorens, R., Sobrino, J. A., Fernández, C., Fernández-Alonso, J. M., & Vega, J. A. (2021). A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data: Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, Article 102243. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102243>
- Lv, Q., Liu, Z., Li, K., Guo, W., Zhou, S., Guan, R., & Wang, W. (2024). Influence of forest cover loss on land surface temperature differs by drivers in China. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 129(11), Article e2024JG008103. <https://doi.org/10.1029/2024JG008103>
- Maffei, C., Alfieri, S. M., & Menenti, M. (2018). Relating spatiotemporal patterns of forest fires burned area and duration to diurnal land surface temperature anomalies. *Remote Sensing*, 10(11), Article 1777. <https://doi.org/10.3390/rs10111777>
- Mallinis, G., Mitsopoulos, I., & Chrysafi, I. (2018). Evaluating and comparing Sentinel-2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece. *GIScience & Remote Sensing*, 55(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1354803>
- Mehmood, K., Anees, S. A., Luo, M., Akram, M., Zubair, M., Khan, K. A., & Khan, W. R. (2024). Assessing Chilgoza Pine (*Pinus gerardiana*) forest fire severity: Remote sensing analysis, correlations, and predictive modeling for enhanced management strategies. *Trees, Forests and People*, 16, Article 100521. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100521>
- Mohammed, Khan, A., Kuri, A., Ahammed, S., Al Muqtadir Abir, K., & Arfin-Khan, M. A. (2025). A Google Earth Engine approach for anthropogenic forest fire assessment with remote sensing data in Rema-Kalenga Wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 9(1), 45–66. <https://doi.org/10.1080/24749508.2023.2165297>
- Moharir, K., Singh, M., Pande, C., Singh, S. K., & Gelete, G. (2024). Mapping forest fire-affected areas using advanced machine learning techniques in Damoh District of Central India. *Knowledge-Based Engineering and Sciences*, 5(1), 62–80. <https://doi.org/10.51526/kbes.2024.5.1.62-80>
- Orman Genel Müdürlüğü. (2021). *Ormancılık istatistikleri*. 27 Kasım 2024'te <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> adresinden alındı.
- Parks, S. A., Holsinger, L. M., Miller, C., & Nelson, C. R. (2015). Wildland fire as a self-regulating mechanism: The role of previous burns and weather in limiting fire progression. *Ecological Applications*, 25(6), 1478–1492. <https://doi.org/10.1890/14-1430.1>
- Pérez-Cabello, F., Montorio, R., & Alves, D. B. (2021). Remote sensing techniques to assess post-fire vegetation recovery. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 21, Article 100251. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100251>
- Qarallah, B., Othman, Y. A., Al-Ajlouni, M., Alheyari, H. A., & Qoqazeh, B. A. A. (2022). Assessment of small-extent forest fires in semi-arid environment in Jordan using Sentinel-2 and Landsat sensors data. *Forests*, 14(1), Article 41. <https://doi.org/10.3390/f14010041>

- Sabuncu, A., & Özener, H. (2019). Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 317–326. <https://doi.org/10.21324/dacd.511688>
- San-Miguel-Ayanz, J., Moreno, J. M., & Camia, A. (2013). Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management*, 294, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.050>
- Sarp, G., Temurçin, K., Aldırmaz, Y., & Baydoğan, E. (2018, November 22–24). *Spatial analysis of forest fires using remote sensing technologies; a case of 2017 Mersin–Anamur forest fire* [Conference presentation]. Innovation and Global Issues Congress IV, Antalya, Türkiye.
- Smith, C. W., Panda, S. K., Bhatt, U. S., Meyer, F. J., Badola, A., & Hrobak, J. L. (2021). Assessing wildfire burn severity and its relationship with environmental factors: A case study in interior Alaska boreal forest. *Remote Sensing*, 13(10), Article 1966. <https://doi.org/10.3390/rs13101966>
- Smith, K., Fearnley, C. J., Dixon, D., Bird, D. K., & Kelman, I. (2023). *Environmental hazards: Assessing risk and reducing disaster*. Routledge.
- Sobrinho, J. A., Llorens, R., Fernández, C., Fernández-Alonso, J. M., & Vega, J. A. (2019). Relationship between soil burn severity in forest fires measured in situ and through spectral indices of remote detection. *Forests*, 10(5), Article 457. <https://doi.org/10.3390/f10050457>
- Srivastava, S. K., Lewis, T., Behrendorff, L., & Phinn, S. (2021). Spatial databases and techniques to assist with prescribed fire management in the south-east Queensland bioregion. *International Journal of Wildland Fire*, 30(2), 90–111. <https://doi.org/10.1071/WF19105>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- U.S. Geological Survey. (2016). *Landsat 8 Data Users Handbook*. United States Geological Survey – Science for a Changing World. 13 Aralık 2024'te <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8-data-users-handbook> adresinden alındı.
- U.S. Geological Survey. (2021). *Earth Explorer*. United States Geological Survey – Science for a Changing World. 5 Aralık 2024'te <https://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden alındı.
- Van Leeuwen, W. J. (2008). Monitoring the effects of forest restoration treatments on post-fire vegetation recovery with MODIS multitemporal data. *Sensors*, 8(3), 2017–2042. <https://doi.org/10.3390/s8032017>
- Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W. W., & Goossens, R. (2011). Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a Mediterranean environment with Landsat Thematic Mapper. *International Journal of Remote Sensing*, 32(12), 3521–3537. <https://doi.org/10.1080/01431161003752430>
- Vlassova, L., Pérez-Cabello, F., Mimbrero, M. R., Llovería, R. M., & García-Martín, A. (2014). Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of Landsat images. *Remote Sensing*, 6(7), 6136–6162.
- Yao, H., Yang, Z., Zhang, G., & Liu, F. (2024). Forest fire detection based on spatial characteristics of surface temperature. *Remote Sensing*, 16(16), Article 2945. <https://doi.org/10.3390/rs16162945>
- Yüksel, K. (2022). Yanan orman alanı tespitinde farklı uzaktan algılama indislerinin değerlendirilmesi: 2022 yılı Mersin (Gülnar) orman yangını örneği. *ArtGRID – Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 4(2), 160–171. <https://doi.org/10.57165/artgrid.1179074>
- Zheng, Z., Wang, J., Zou, B., Gao, Y., Yang, S., & Wang, Y. (2022). Initial assessment of burn severity using the transfer learning model. *National Remote Sensing Bulletin*, 26(10), 2001–2013.