



Orman yangınlarının yüzey koşulları ve biyofiziksel dinamikler üzerindeki etkileri: İzmir ili örneği

Çağan Alevkayalı ^{1*}

¹İzmir Bakırçay Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 09/06/2026

Kabul Tarihi: 14/07/2026

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1967015>

*Sorumlu Yazar:

cagan.alevkayali@bakircay.edu.tr

ÖZ

Araştırma Makalesi

Giriş ve Hedefler Son yıllarda iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışları uzun süreli kuraklık koşulları ve artan nüfus baskısı nedeniyle Akdeniz ekosistemlerinde orman yangınlarının sıklığı belirgin biçimde artmıştır. Bu çalışma Akdeniz iklim kuşağında yer alan İzmir ilinde 2015–2025 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının mekânsal dağılımını, eğilimini, yangın şiddetini ve yangınlarla ilişkili biyofiziksel stres süreçlerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Yöntemler Bu kapsamda gerçekleştirilen uygulamalarda yangınlardan etkilenen alanların belirlenmesi ve yangın öncesi ile sonrası ekosistem koşullarının analiz edilmesi amacıyla Landsat 8–9 OLI görüntülerinden yararlanılmıştır. Yangın şiddetinin belirlenmesinde Fark Normalize Yanma Oranı (dNBR) kullanılmış; yüzey sıcaklığı, vejetasyon sağlığı ve yüzey nemliliğini temsil etmek için sırasıyla Sıcaklık Durum İndeksi (TCI), Vejetasyon Durum İndeksi (VCI) ve Vejetasyon Nemliliği Durum İndeksi (VMCI) hesaplanmıştır. Elde edilen zaman serilerine Mann–Kendall eğilim testi ve Sen'in Eğimi analizi uygulanarak biyofiziksel göstergelerdeki uzun dönemli eğilimler ortaya konulmuştur. Ayrıca dNBR ile TCI, VCI ve VMCI indeksleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde Spearman korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Bulgular Elde edilen çıktılar yüksek yangın şiddetine sahip alanların özellikle artan termal stres, azalan yüzey nemliliği ve zayıflayan vejetasyon koşulları ile ilişkili örüntüler içerdiğini göstermektedir. Eğilim analizleri aktif yangın alanlarında biyofiziksel stresin belirgin şekilde arttığını; buna karşılık eski yangın alanlarında ise kısmi ekolojik iyileşme ve vejetasyon toparlanmasının gözlemlendiği belirlenmiştir.

Sonuçlar Bu çalışmada yangınların yalnızca anlık meteorolojik olayların bir sonucu olmadığı aynı zamanda uzun dönemli ekosistem stres ve yüzey koşullarındaki değişimlerin bir çıktısı olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Orman yangınları, yangın şiddeti, vejetasyon sağlık dinamikleri, termal stres, eğilim analizi

Impacts of forest fires on surface conditions and biophysical dynamics: A case study of İzmir province

ABSTRACT

Background and Aims In recent decades, climate-driven warming, prolonged drought, and growing population pressure have increased the frequency of forest fires across Mediterranean ecosystems. This study examines the spatial distribution, temporal trends, fire severity, and associated biophysical stress processes of forest fires in İzmir Province, a Mediterranean-climate region of Türkiye, during 2015–2025.

Methods Landsat 8–9 OLI imagery was used to delineate burned areas and characterize ecosystem conditions before and after fire events. We quantified fire severity using the differenced Normalized Burn Ratio (dNBR). The Temperature Condition Index (TCI), Vegetation Condition Index (VCI), and Vegetation Moisture Condition Index (VMCI) were calculated to characterize surface thermal conditions, vegetation status, and surface moisture, respectively. Mann–Kendall trend tests and Sen's slope estimates were then applied to the resulting time series to assess long-term changes in these biophysical indicators. Spearman correlation analysis was also used to examine the relationships between dNBR and the TCI, VCI, and VMCI indices.

Results The findings indicate that areas exposed to high fire severity exhibit patterns associated with increased thermal stress, reduced surface moisture, and declining vegetation condition. Trend analyses reveal a marked increase in biophysical stress across active fire-affected areas, whereas previously burned areas show partial ecological recovery and vegetation regeneration.

Conclusion Overall, the findings demonstrate that forest fires are not merely the outcome of short-term meteorological events but also reflect long-term ecosystem stress and changes in surface conditions.

Key Words: Forest fires, fire severity, vegetation condition dynamics, thermal stress, trend analysis

Bu makaleye atf:

Alevkayalı, Ç., 2025. Orman yangınlarının yüzey koşulları ve biyofiziksel dinamikler üzerindeki etkileri: İzmir ili örneği. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 13, 1967015.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Afetler, çoğunlukla bir anda meydana gelen insan yaşamını, ekonomik yapıyı ve doğal çevreyi olumsuz etkileyen kökeni itibarıyla doğal veya insan faaliyetleriyle gerçekleşen karmaşık olaylardır (Kaynak, 2025). Bu afetler içerisinde orman yangınları bitkileri ve birçok canlının yaşamını etkileyen günümüz ekosistem yönetiminin karşı karşıya olduğu etki derecesi yüksek afetlerden biridir (Güney, Mert ve Gülsoy, 2023). Geleneksel yaklaşımlar yangını anlık bir afet olarak nitelendirse de güncel literatürde yangın ekolojisi, yangınları tetikleyici mekanizmalar ile yayılma zemini arasındaki etkileşimden kaynaklanan evrimsel bir olgu olarak nitelendirilmektedir (McLauchlan et al., 2020). Bu bağlamda uzun dönemli kuraklık koşulları, artan termal stres ve vejetasyon nemindeki azalma ekosistemlerin direnç kapasitesini zayıflatarak yangın oluşumu ve vejetasyon bozulmasına uygun çevresel koşulların gelişmesine neden olmaktadır (Sargıncı ve Beyazyüz, 2022). Dolayısıyla yangın olgusu yalnızca bir afet süreci olarak değil aynı zamanda ekosistem stresi, hidrolojik kırılganlık ve insan-çevre etkileşimi gibi çok boyutlu bir çevresel süreç olarak tanımlanmalıdır.

Orman yangınları, Türkiye ve Akdeniz havzası ekosistemlerinin iyileştirilmesi zor ve yitirilmesi kolay bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Ocak ve ark., 2024). Akdeniz Havzası gibi yangına hassas bölgelerde, yangınların %85'ten fazlasının insan kaynaklı (ihmal, piknik, sigara izmariti, anız yakma, enerji nakil hatları vb.) olduğu bilinmektedir (Ünlü, 2025). Nitekim, nüfus artışı ile yangın frekansı arasında anlamlı bir ilişki söz konusudur (Bekem Kara ve Kara, 2020). Özellikle Akdeniz Havzası'nda yakıt türü, topografya, sıcaklık ve nemlilik gibi koşulların etkileşimi, yangınların ortaya çıkması ve yayılması açısından öne çıkan mekânsal etkenlerdir (Usta, 2023). Bu meteorolojik ve fiziki parametrelerin yanı sıra iklim değişikliğine bağlı olarak artan yaz kuraklıkları ve ısı dalgaları da yangın olasılığını şiddetlendirmektedir (Tarım Orman-İş Sendikası, 2025). Bu durum yangın sürecinde etkili olan mekânsal değişkenlerin derinlemesine açıklanmasını gerektiğini göstermektedir.

Yangınlara ilişkin mekânsal özelliklerin incelenmesinde Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kapsamındaki teknikler yersel verilerin bilgisayar ortamında nicel verilere dönüştürmesiyle gerçekleştirilmektedir (Gayır ve Arslan, 2018; Pekkan ve ark., 2022). Bu konudaki öncül veriler Sentinel, Landsat ve Modis uyduları tarafından sağlanan görüntülerdir (Polat ve Kaya, 2021; İban and Şahin, 2022; Çelik ve ark., 2023). Bu uydulara ait görüntüler genellikle bant kombinasyonları ile oluşturulan indeksler yardımı ile incelenmektedir. Yangın alanlarına ilişkin verilerin analiz edilmesi için uydu görüntülerin işlenmesinde en yaygın kullanılan indekslerin başında Normalize Yanma Şiddeti (Normalized Burned Ratio, NBR) gelmekte ve bu indeks yangın sonrası alanların yanma derecesini de etkili gösterebilmektedir (Miller and Thode, 2007; Karabulut ve ark., 2013; Geçen ve Topuz, 2021; Yüksel, 2022). Bu indeks yangın öncesi ve sonrası NBR değerlerinin normalize edilmesi ile Fark Normalize Yanma Oranı (dNBR) yangın şiddetine ilişkin daha güçlü veriler sunmaktadır (Key and Benson, 2006; Kazı ve ark., 2026). UA çalışmaları ayrıca orman yangınlarının mekânsal ve zamansal etkilerini değerlendirirken yangın şiddeti, yanma derecesi ve

yanmış alan büyüklüğü gibi pek çok mekânsal değişkenin incelenmesine olanak sağlamaktadır (Lee et al., 2024; Zahabnazouri et al., 2025). Bu parametreler yangın sonrası etkilerin mekânsal dağılımını ve yangın öncesi riskli alanların belirlenmesi sürecinde değerlendirme gücünü de artırmaktadır.

Uydu görüntüleri yardımı ile piksel bazlı analizlerin çok yönlü kullanımı yangın öncesi ve sonrası yüzey koşullarının değiştiğini göstermektedir (Çolak and Sunar, 2023). Bu spektral yaklaşımların başında Yer Yüzey Sıcaklığı (Land Surface Temperature, LST) ve Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) değerleri gelmektedir (Singh et al., 2003; Yılmaz, 2026). UA tabanlı yaklaşımlar özellikle farklı bant kombinasyonlarını zamansal olarak ele alan detaylı bilgiler de sunmaktadır (Kavzoğlu ve ark., 2021 Gürbüz, 2023). UA tabanlı indekslerin dönemsel veya periyodik olarak incelenmesini sağlayan Sıcaklık Durum İndeksi (Temperature Condition Index, TCI) ve Vejetasyon Durum İndeksi (Vegetation Condition Index, VCI) değerlendirmeleri ise dönemseliği yansıtan ileri düzey yaklaşımlardır (Bento et al., 2020). TCI, belirli bir zaman diliminde her piksel için LST değerlerinin dönemsel minimum ve maksimum sınırları kullanılarak değer aralığı temelinde normalize edilmesiyle hesaplanmaktadır (Cihan ve ark., 2022). Bu sayede vejetasyon yüzeylerindeki termal stresin yıllar süresince tutarlı bir biçimde temsil edilmesi sağlanmaktadır (Kumar and Shekhar, 2015). VCI ise NDVI değerlerinin dönemsel ekstrem değerler üzerinden bitki örtüsünün yoğunluğu ve fotosentetik aktivitesi doğrultusunda normalize edilmesini sağlayarak stresli veya seyrek bitki örtüsünü düşük değerlerle; sağlıklı vejetasyonu ise yüksek değerlerle göstermektedir (Quiring and Ganesh, 2010). Bu iki indeks genellikle kuraklık analizlerinde kullanılsa da yangın süreçlerinin izlenmesi ve potansiyel yangın alanlarının belirlenmesinde de önemli bir araç olarak işlev görmektedir (Liu et al., 2016; Baniya et al., 2019; Nyongesa et al., 2023). Bu sayede TCI ve VCI indekslerindeki zamansal eğilimlerin (trend) birlikte simüle edilmesi, yangın yönetimi ve risk değerlendirmesi süreçlerinde öngörü gücünü artırmaktadır (Maffei et al., 2021). Bu indekslerin dışında vejetasyon nemliliğini ifade etmekte oldukça başarılı olan Normalleştirilmiş Nemlilik İndeksi (Normalized Moisture Index, NDMI) de ortamın yangına hassasiyetini temsil etmektedir. Bu indeksin dönemsellik düzeyinde normalleştirilmesine dayalı bir versiyonu literatürde yer almadığından bu çalışmada söz konusu parametre "Vejetasyon Nemlilik Durum İndeksi" (Vegetation Moisture Condition Index, VMCI) olarak isimlendirilmiştir.

Bu konuda UA tabanlı yaklaşımlar çok önemli olmakla birlikte uygulama esnasında dikkat edilmesi gereken bazı detaylar bulunmaktadır. Örneğin; Sivrikaya ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada NDVI, NDWI ve NBR indekslerinin birlikte kullanımıyla yangın riskinin yüksek doğrulukla belirlenebileceğini ileri sürerken; Polinova et al. (2019) yazarlarına ait çalışmada özellikle kuruyan bitki örtüsünün tespitinde ve yangın davranış modellerinin haritalanmasında yüksek çözünürlüklü doğrulama verilerine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır. Buna karşın Bilal (2025) çalışmasında söz konusu spektral indekslerin zamansal düzeyde makine öğrenmesi gibi ileri analiz yöntemleriyle entegre edilmediği sürece yangın riskini ve dinamiklerini temsil etmede görece yetersiz kalacağını savunmaktadır. Tüm bu çalışmalar orman yangınlarının UA temelli analizlerin detaylı ve bütüncül

bir şekilde tasarlanmasının yangınlara ilişkin önemli katkılar sunabileceğini göstermektedir.

Yangın sürecine ilişkin literatür değerlendirildiğinde Türkiye’de son yıllarda ortaya çıkan yangınların insan kaynaklı olduğu görülürken ortamın hazır bulunuşluğu ve yangın sonrası ekosistemin iyileşme süreçlerinin de incelenmesi gerektiği anlaşılmaktadır (Karadaş ve Altinkaya, 2025). Bu süreçte orman yangınlarının etkilediği bölgelerin başında İzmir İl’inin geldiği bilinmektedir. İzmir İli ülke genelinde son yıllarda yangın yoğunluğunun arttığı bir bölge olup (Demirel ve Türk, 2023) il sınırları içerisinde 2025 yılında farklı bölgelerde çok sayıda orman yangını meydana gelmiştir (Ege Orman Vakfı, 2025). Bu özelliğinden dolayı İzmir UA temelli yangın araştırmalarında sıkça tercih edilen bir çalışma alanı olmuştur (Aksoy ve Çabuk, 2018; Oğuz ve ark., 2021; Özdemir ve Demir, 2022). Özellikle bazı bölgelerde yangınların tekrarlama eğilimi göstermesi ve yüksek şiddetle gerçekleşmesi alanın yangın dinamikleri açısından dikkat çekici bir örnek teşkil etmektedir (Tonbul et al., 2022). Bu bağlamda İzmir ili kapsamında yangın olayları ile ekosistemin biyofiziksel tepkilerinin mekânsal indeksler ve bunlara ait zamansal eğilimler üzerinden analiz edilerek mekânsal karakterizasyonunun ortaya konulmasına olanak sunmaktadır (Wagenbrenner ve et al., 2021; Roces-Díaz et al., 2022; Ducruet et al., 2026). Bu çalışmada İzmir ve çevresinde meydana gelen orman yangınları izole olaylar olarak değil uzun dönemli biyofiziksel koşulların şekillendirdiği ekosistem tepkileri olarak ele alınmıştır.

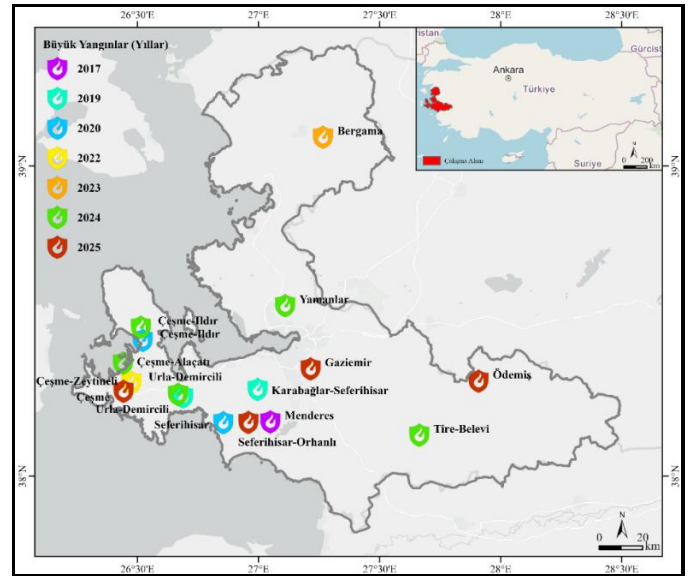
Literatürde orman yangınları çoğunlukla yangın sonrası etkilerin değerlendirilmesi veya anlık risk göstergelerinin haritalanması üzerinden ele alınırken yangın öncesi biyofiziksel stres birikimi ile yangın sonrası ekosistem tepkilerini birlikte değerlendiren yaklaşımlar görece sınırlı kalmaktadır. Bu çalışmanın amacı İzmir ili örneğinde Akdeniz orman ekosistemlerinde yangın şiddetinin belirleyicileri olarak yangın öncesi vejetasyon sağlığı, termal rejim ve hidrolojik stres koşulları gibi mekânsal stres birikiminden kaynaklanan değişimleri mekânsal analizler yoluyla modellenmesidir. Uydu tabanlı veriler yardımı ile 11 yıllık sürenin ele alındığı bu çalışmada; (i) dNBR değerleri ile yangın bölgeleri ve şiddet düzeylerinin ortaya konulması, (ii) orman alanlarında yüzeye ilişkin indekslerle (VCI, TCVI ve VMCI) zamansal değişimin kapsamında yangın sonrası iyileşmenin değerlendirilmesi ile (iii) spektral indekslerin zamansal eğilimlerinin 2025 yılı öncesine kadar biriken stresin 2025 yılı yangınları açısından yangın öncesi ilişkinin istatistiksel anlamlılık üzerinden açıklanması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma alanı

Bu çalışmaya ilişkin incelemeler Türkiye'nin batısında yer alan İzmir ili ve yakın çevresini kapsamaktadır. Çalışma alanı yaklaşık olarak 38°–39° kuzey enlemleri ile 26°–28° doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). İzmir ili, tipik bir Akdeniz İklimi etkisi altında olup yaz aylarında uzun süreli kuraklık, yüksek sıcaklıklar ve düşük bağıl nem değerleri ile karakterizedir (Erlat, 2003). Bu iklimsel özellikler özellikle yaz mevsiminin ilerleyen dönemlerinde yüzey nemliliğinin azalmasına ve bitki örtüsünün su stresine girmesine yol

açmaktadır (Şenlik ve Yılmaz, 2023). Bu nedenle çalışma alanı yangın açısından oldukça hassas bir bölge haline gelmektedir. Bölgedeki ortalama yıllık yağış miktarı 700 mm'nin biraz üzerinde olup, yağışların büyük bölümü kış aylarında gerçekleşmektedir (MGM, 2026). Buna karşılık yaz aylarında yağışın yok denecek kadar az olması yangın sezonu öncesinde yakıt kuruluğunu belirgin şekilde artırmaktadır. Bu kurumunun yanı sıra çalışma alanında özellikle 2024 ve 2025 yıllarında yangın sezonunda geçmiş yıllara göre yangın sayılarının artması son derece dikkat çekici olup çalışmanın da temel motivasyonunu oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İzmir ili konum haritası ve son 10 yıldaki büyük (>50 hektar) yangın alanları

Çalışma alanı topografya açısından kıyı ovaları, alçak plato yüzeyleri ve doğu kesimlerde yükselen dağlık alanların bir arada bulunduğu heterojen bir yapı sergilemektedir (Karadaş, 2014). Özellikle İzmir İlinin arızalı topografyası ve hızlı yapılaşma süreci sıcaklık düzeyindeki yerel mikroklima koşullarını etkileyerek yangın davranışını etkilemesi muhtemel mekânsal sıcaklık değişiminin farklılaşmasına katkıda bulunmaktadır (Yavaşlı et al., 2018). Arazi örtüsü bakımından ise kızılçam (*Pinus brutia*) ağırlıklı orman ekosistemleri, maki formasyonları ve tarım alanları mozaik bir yapı oluşturmaktadır (Özçankaya ve ark., 2021). Bu bitki örtüsü tipi yüksek reçine içeriği ve ince yanıcı materyal varlığı nedeniyle yangına duyarlılığı yüksek ekosistemler arasında yer almaktadır (Çakmak ve ark., 2025).

Bu bağlamda çalışma alanı yangınların yalnızca meteorolojik koşulların bir sonucu olarak değil aynı zamanda uzun dönemli biyofiziksel stres birikiminin bir çıktısı olarak değerlendirilmesine olanak tanıyan uygun bir örneklem sunmaktadır.

2.2 Veriler ve indeksler

Yangına ilişkin verilerin karşılaştırılması konusunda ilk olarak 2015 yılı sonrasında NBR değeri hesaplanarak yangın sonrası yangının şiddeti ortaya konulmuştur. Bu indeksin 2015 yılından itibaren başlatılmasının nedeni çalışmanın ilk aşamalarında Landsat 7 ve daha önceki uydulara ait görüntülerin son yıllara ilişkin karşılaştırmalar açısından uyumlu olmadığı için

belirlenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan Landsat 8 OLI/TIRS ve Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 görüntüleri, Google Earth Engine (GEE) bulut tabanlı platform aracılığıyla elde edilmiştir (Gorelick et al., 2017; EROS, 2024). NBR, yakın kızılötesi olan band 4 (NIR) ve kısa dalga kızılötesi bant 7 (SWIR) bantları arasındaki farkın normalize edilmesiyle elde edilmekte olup, yanmış alanların belirlenmesi ve yangın şiddetinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir spektral indekstir (Key and Benson, 2005). Bu çalışmada NBR indeksi kullanım amacı yangından etkilenen alanları ortaya koymaktır (Formül 1). NBR, aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (1)$$

Yangın öncesi görüntüler yangın gerçekleşmeden hemen önceki en yakın bulutsuz tarih seçilerek; yangın sonrası görüntüler ise yangın etkisinin belirgin olduğu ilk uygun tarih dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada 2015–2025 yılları arasını kapsayan yaz sezonuna (Haziran–Ekim) ait uydu verileri kullanılmıştır. Böylece dNBR indeksi yangın öncesi ve sonrası her yıl haziran ayına ait son görüntü ile Ekim ayına ait ilk görüntü yardımı ile hesaplanmıştır (Formül 2). Görüntülerin tamamında bulutluluk oranı %5 olup hiçbiri için maskeleme yapılmamıştır. Elde edilen dNBR değerleri maksimum ve minimum değerler üzerinden yangın etkisinin büyüklüğünü ve vejetasyon kaybının derecesini temsil etmektedir. Yüksek dNBR değerleri, daha yüksek yangın şiddetine ve daha büyük biyokütle kaybına işaret etmektedir. dNBR sonuçları literatürde yaygın olarak kullanılan uzun dönemlik (2015–2025) eşik değerler çerçevesinde sınıflandırılarak yangın şiddeti kategorileri (düşük, orta, yüksek) belirlenmiştir (Key and Benson, 2005).

$$dNBR = NBR_{\text{öncesi}} - NBR_{\text{sonrası}} \quad (2)$$

Vejetasyon dinamiklerinin ve klorofil yoğunluğunun belirlenmesinde Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) kullanılmıştır (Formül 3):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3)$$

Yüzey nem koşullarını ve yangın öncesi dönemdeki yakıt nemi durumunu değerlendirmek amacıyla literatürde kritik bir gösterge kabul edilen NDMI değerleri hesaplanmıştır (Formül, 4):

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (4)$$

Uzun dönemli termal değişimleri izlemek amacıyla LST değeri uydunun algıladığı ölçümler önce spektral radyans, ardından Kelvin cinsinden Parlaklık Sıcaklığına (T_b) dönüştürülmüştür. Çalışmada temel olarak Cook et al. (2014) tarafından geliştirilen tek kanallı yüzey sıcaklığı algoritması uygulanmıştır (Formül, 5).

$$LST = \frac{T_b}{1 + (\lambda \times \frac{T_b}{\rho}) \ln(\epsilon)} \quad (5)$$

- LST: Santigrat veya Kelvin cinsinden Arazi Yüzey Sıcaklığıdır.
- T_b : Sensör kalibrasyon sabitleri (K_1 , K_2) ile hesaplanmış olan Parlaklık Sıcaklığıdır (Kelvin).
- λ : Emisyon bandının etkili dalga boyudur (Landsat 8/9 Band 10 için 10.895 μm).
- ϵ : Pikselin Yüzey Yayınım Katsayısıdır (Land Surface Emissivity - LSE).
- $\ln$: Doğal logaritmadır.
- ρ : Boltzmann sabiti ($h \times c / \sigma$) kaynaklı bir fiziksel değer sabittir (Formül 6):

$$\rho = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (6)$$

Ancak atmosferik etkiler ve nesnelerin ısıyı yayma kapasitelerinin farklı olması nedeniyle, parlaklık sıcaklığı doğrudan gerçek yüzey sıcaklığını yansıtmamaktadır. Bu kısıtlılığı gidermek ve piksellerin homojen olmayan (su, çıplak toprak ve bitki örtüsünün bir arada bulunması) yapısını modele dahil etmek için Malakar et al. (2018) tarafından uygulanan (su, çıplak toprak ve bitki örtüsünün bir arada bulunması) Formül 7’de görülen yüzey yayılım katsayısı (ϵ), ardından Formül 8 ile sürece eklenen Bitki Örtüsü Oranı (P_v - Proportion of Vegetation) piksel bazında dinamik biçimde (her görüntü ayrı ele alınarak) hesaplanmıştır:

$$\epsilon = \epsilon_v \times P_v + \epsilon_s \times (1 - P_v) + d_\epsilon \quad (7)$$

Buradaki değerler;

ϵ_v ve ϵ_s : Sırasıyla tam bitki örtüsü (0.99) ve çıplak toprak (0.97) için standart yayılım değerleridir.

d_ϵ : Yüzey pürüzlülüğünü (boşluk etkisi) temsil eden düzeltme terimidir.

P_v : NDVI verisinden üretilen bitki örtüsü oranıdır ve şu formülle bulunur:

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right)^2 \quad (8)$$

Farklı yıllar arasında karşılaştırılabilirliği sağlamak amacıyla tüm indeksler 2015–2025 dönemini kapsayan uzun dönem referans veri kümesi kullanılarak tekrar normalize edilmiştir. Bu kapsamda uzun döneme ait tüm haziran aylarının ait son görüntüler elde edilmiştir. Dahası her piksel için uzun yıllık haziran ayına ait minimum ve maksimum değerler belirlenmiştir.

Ekosistemdeki termal ve biyofiziksel stres koşullarını eş zamanlı temsil etmek amacıyla VCI, TCI ve VMCI değerleri hesaplanmıştır. Normalleştirilmiş NDVI değerlerinden türetilen VCI, bitki sağlığının dönemsel değişimini temsil etmektedir (Formül 9).

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (9)$$

TCI ise her piksel için termal koşulların görelî durumunu temsil etmekte ve LST maksimum değerlerine göre artan termal stresi normalleştirilmesinde dayanmaktadır (Formül 10):

$$TCI = \frac{LST_{\max} - LST}{LST_{\max} + LST_{\min}} \quad (10)$$

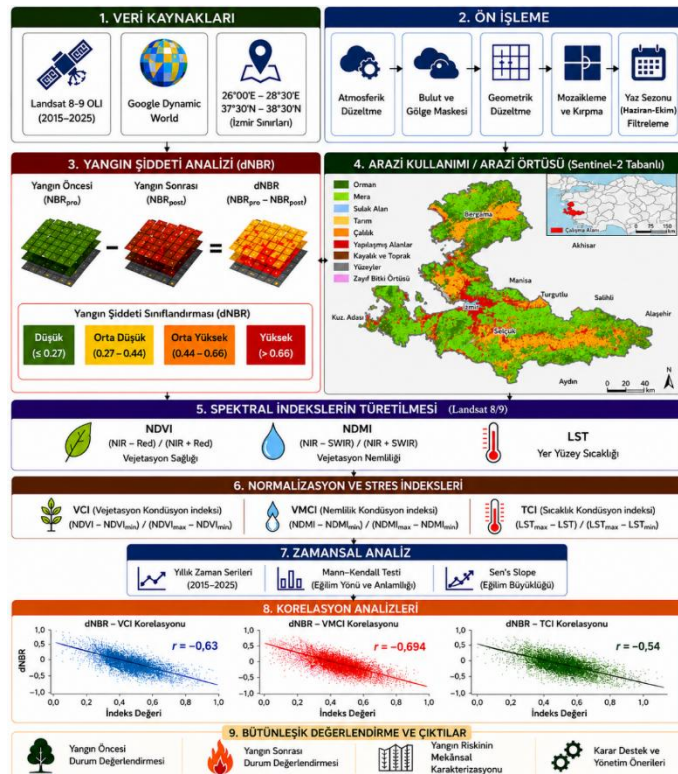
VCI formülünde olduğu gibi uzun yıllık normalleştirilmiş NDMI değerleri ise VMCI hesaplanmasında kullanılmıştır (Formül 11):

$$VMCI = \frac{NDMI - NDMI_{min}}{NDMI_{max} + NDMI_{min}} \quad (11)$$

Literatürde genellikle kuraklık analizlerinde kullanılan bu indeksler, çalışmaya yangın öncesi çevresel koşulları belirlemek amacıyla eklenmiştir. Böylece yangın sonrası ortaya çıkan vejetasyon kayıplarının sinyali bozması engellenmiş ve ekosistemin yangın öncesinde gösterdiği termal, vejetatif ve nem bazlı stres tepkileri izole edilerek analiz edilmiştir.

2.3 Yöntem: eğilim analizleri ve korelasyon testi

Bu çalışmada yangın öncesi ekosistem koşullarının belirlenmesi ve yangın sonrası biyofiziksel değişimlerin değerlendirilmesi amacıyla çok aşamalı bir analiz yaklaşımı uygulanmıştır (Şekil 2). Bu doğrultuda tüm yüzeye ilişkin indeksler yangın gerçekleşene kadar olan süreci temsil edecek şekilde yıllık zaman serileri biçiminde yapılandırılmıştır. Elde edilen seriler üzerinde parametrik olmayan Mann–Kendall testi ve Sen’in Eğimi yöntemleri uygulanarak piksel bazlı mekânsal eğilimler nicel olarak belirlenmiştir. Mekânsal ilişkilerin belirlenmesi için görüntü tabanlı korelasyon analizleri uygulanmıştır.



Şekil 2. Çalışmanın tüm aşamalarına ilişkin akış şeması

Çalışmada ilk olarak 2015-2025 yıllarının her birinde meydana gelen yangınların etkisini ortaya koymak amacıyla dNBR değerleri hesaplanmıştır. Ardından elde edilen sonuçların güvenilirliği literatürde yaygın olarak kullanılan eşik değerler ve

yüksek çözünürlüklü görüntüler üzerinden doğrulanmıştır. Yangın şiddetine ilişkin bu indekse ait sonuçlar Şekil 2’de görüldüğü üzere yanana alanlarda 0-0,27 arasındaki değerler düşük şiddetli, 0,27-0,44 orta düşük, 0,44-0,66 orta yüksek ve 0,66 üzeri yüksek olarak sınıflandırılmaktadır (Gürbüz, 2023). Çalışmanın devamında yanan alanların biyofiziksel koşulların zamansal değişimini ortaya koymak amacıyla TCI, VCI ve VMCI indeksleri üzerinde piksel tabanlı eğilim analizleri gerçekleştirilmiştir. Eğilim analizleri her piksel için 2015–2025 dönemini kapsayan yaz sezonu zaman serileri üzerinden uygulanmış ve ekosistem bileşenlerinin uzun dönemli değişim eğilimleri belirlenmiştir. Bu yaklaşım sayesinde yalnızca tek bir tarihe ait koşullar değil aynı zamanda termal stres, vejetasyon sağlığı ve yüzey nemliliğindeki süreklilik gösteren değişim Mann Kendall trend analizi (Kendall, 1938; Mann, 1945) ile Sen’in Eğimi (Sen, 1968) uygulanarak elde edilmiştir. Özellikle negatif TCI eğilimleri artan sıcaklık baskısını, VCI ve VMCI eğilimleri ise vejetasyon sağlığı ile yüzey nemliliğinde temsil ettiklerinden dolayı tercih edilmiştir. Elde edilen eğilim sonuçları yangınların ortaya çıktığı alanlarda uzun dönemli ekosistem stres birikiminin mekânsal dağılımını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu incelemelerden yararlanılarak yıllara ilişkin süreç derinliği oluşturulmuştur.

Eğilim analizlerinin ardından dNBR ile TCI, VCI ve VMCI eğilimleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla piksel tabanlı korelasyon analizleri uygulanmıştır. Spearman (*RHO* katsayısı) korelasyon yaklaşımı sayesinde yüksek yangın şiddeti üzerinden biyofiziksel stres bileşenleriyle istatistiksel ilişkiler ortaya konulmuştur (Spearman, 1987). Bu analizlerde yangın şiddeti ile termal stres, vejetasyon canlılığı ve yüzey nemliliği arasındaki mekânsal ilişkilerin yönü ve gücü değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan analizlerin bütüncül hedefi olarak yangınların yalnızca insan kaynaklı olmadığını aynı zamanda uzun dönemli ekosistem stres süreçlerinin bir çıktısı olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Tüm analizler piksel tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Son aşamada tüm analizlerin çıkış noktası olan 2025 yılına ilişkin yangın şiddeti sınıfları çalışma alanındaki gerçek yanma örüntüleri üzerinden arazi gözlemleriyle doğrulanmıştır. Başka bir deyişle elde edilen çıktılarının değerlendirilmesi farklı yanma şiddeti sınıflarına karşılık gelen vejetasyon koşulları arazide incelenmiştir. Çalışmanın sağlıklı olması açısından geçmiş dönemlerdeki yangın alanlarında yangın sonrası doğal yenilenme süreçleri incelenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. 2025 yılı Seferihisar ve Foça yangınları yangın sonrası görüntüler

Metodolojinin son aşamasında incelenen yangınların kronolojik dağılımı dikkate alınarak mekân tabanlı örüntülerin üzerinden iki temel aşamada değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki literatürde yaygın olarak kullanılan klasik yangın sonrası değerlendirme yaklaşımlarından farklı olarak 2025 yılı yangınlarının etkili olduğu alanlarında yangın öncesi TCI, VCI ve VMCI indekslerin mekânsal eğiliminin kullanılmasıdır. Şöyle ki yangınların ortaya çıktığı bu bölgelerde VCI, TCI ve VMCI indeks verilerinin henüz 2025'te gerçekleşmeden önceki durum ortaya konulmuştur. İkinci aşamada yangın sonrası için ise 2025 yılı haziran-ekim ayları baz alınarak hesaplanan dNBR indeksi üzerinden yangın sonrası duruma ilişkin etki ve iyileşme süreçleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde çalışmada bir yandan yangın oluşumuna zemin hazırlayan öncül çevresel koşullar ortaya koyulurken diğer yandan yangın sonrası ekosistemin verdiği tepkiler bütüncül bir şekilde ele alınmıştır.

3. Sonuçlar

İzmir'de orman yangınlarının meydana gelmesinin temelinde insan kaynaklı ihmallerin olmasıyla birlikte yüzeye ilişkin bazı parametrelerin yangının başlangıcını ve yayılma

sürecini etkilediği önceki bölümlerde ele alınmıştır. Yangınların ortaya çıkışında çeşitli nedenler olsa da buradaki önemli aktörlerden biri sıcaklık artışı ve buna bağlı yanabilirlik, biyokütle stoğu ve rüzgâr gibi iklimsel unsurlardır. Bu çalışma yangın sonrası ve yangın öncesinde zemine ilişkin koşulların orman alanlarında uydu görüntüleri ile incelenmesine odaklandığından yangına maruz kalan alanlarda yüzey sıcaklığı, bitki canlılığı ve yüzey nemliliğini gösteren indeksler kullanılmıştır. Bu kapsamda çalışma 3 temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada yangın şiddetinin İzmir ilinde incelenen yıllara göre dağılımı ve şiddeti ele alınmıştır. Ardından 2025 yılına kadar her yıla ait haziran ayının son görüntüsüne ilişkin yüzey sıcaklığı, bitki canlılığı ve nemlilik indeksleri yangın sonrası son dönemki yangınlardan yalıtılarak ortaya konulmuştur. Son olarak 2025 yangınlarının gerçekleştiği bölgelerde yangın şiddeti ile yangın öncesi 2015-2025 yılları aralığındaki eğilim karşılaştırılmıştır. Böylece indekslere ilişkin eğilim analizleri ile yangın sonrası şiddet değeri korelasyon analizleri ile ortaya konularak yangın öncesine ilişkin süreçlerin değişimi değerlendirilmiştir.

3.1 İzmir'de gerçekleşen 2015–2025 dönemi yangınlarının mekânsal dağılımı ve şiddeti

İzmir ilinde 2015–2025 döneminde meydana gelen orman yangınlarına ait indeks sonuçları, ayrıntılı eğilim analizleri yapılmadan da son yıllarda hem yangın frekansında hem de yangınlardan etkilenen alan büyüklüğünde belirgin bir artış yaşandığına işaret etmektedir. Bu bağlamda yangın şiddetinin mekânsal ve zamansal dağılımını ortaya koymak amacıyla yaz sezonunu temsil eden haziran ve yangın sezonu kapanışını temsil eden ekim ayı görüntülerinden türetilen dNBR indeksleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar dNBR'nin yangın alanlarının sınırlarını ve şiddetini belirlemede yüksek mekânsal duyarlılık göstermiştir.

Bu doğrultuda İzmir İl sınırlarında son 11 yılı ilişkin incelemelerde 2017, 2019, 2023, 2024 ve 2025 yıllarının yüksek yangın aktivitesi ile öne çıktığı belirlenmiştir. Her ne kadar tüm yıllara ilişkin yangınlar meydana gelse de yangın yoğunluğu ve şiddetindeki belirgin artış nedeniyle 2017, 2019, 2024 ve 2025 yılları diğerlerinden ayırmak gerekir. Bu yıllar geniş alanlı yanma olaylarını ve yüksek biyokütle kaybının gözlemlendiği kritik yangın dönemlerini temsil etmektedir. Mekânsal olarak değerlendirildiğinde 2017'de Gümüşdüz (1 Temmuz), 2019'da Karabağlar (18 Ağustos), 2023'te Bergama (24 Haziran) ve 2024'te Yamanlar (15 Ağustos) çevresi yüksek dNBR değerleri ile karakterize edilmiştir (Şekil 4). Bu alanlarda yangın şiddetinin artması, tekrarlayan yangın olaylarıyla ilişkili birikimli ekosistem bozulmasına da işaret etmektedir.

Öncelikle zaman serisi değerlendirmelerinde etkinliği yüksek olan 2017, 2019, 2023 ve 2024 yılları da yüksek yangın aktivitesi ile dikkat çeken dönemler arasında yer almaktadır. Özellikle 2017 yılında Gümüşdüz yangını (Şekil 4a), 2019 yılında Karabağlar (Menderes) çevresinde (Şekil 4b); 2023 yılında Bergama (Şekil 4c) ve 2024 yılında Yamanlar Dağı çevresinde tespit edilen yüksek dNBR değerleri (Şekil 4d), bu alanlarda yangın şiddetinin de son derece arttığı görülmektedir. Belirlenen yangın alanlarının tamamında yangın şiddeti açısından indeks değerinin çok yüksek ($>0,6$) sınıfta olduğu belirlenmiştir. Yangın izlerinin mekânsal dağılımı

incelendiğinde yüksek şiddetli yangınların çoğunlukla vejetasyon formasyonlarının yoğunlaştığı ve yerleşme-orman geçiş zonlarında kümелendiği dikkat çekmektedir. Bu yangınlar arasında Menderes ilçe merkezinin batısında 2019 Karabağlar yangınında yüksek ve orta şiddette dNBR değerleri çok yüksek şiddetteki alanın çevresini sarmaktadır. Bu durum yangının yanan alanın merkezinde daha etkili olduğuna işaret etmektedir.

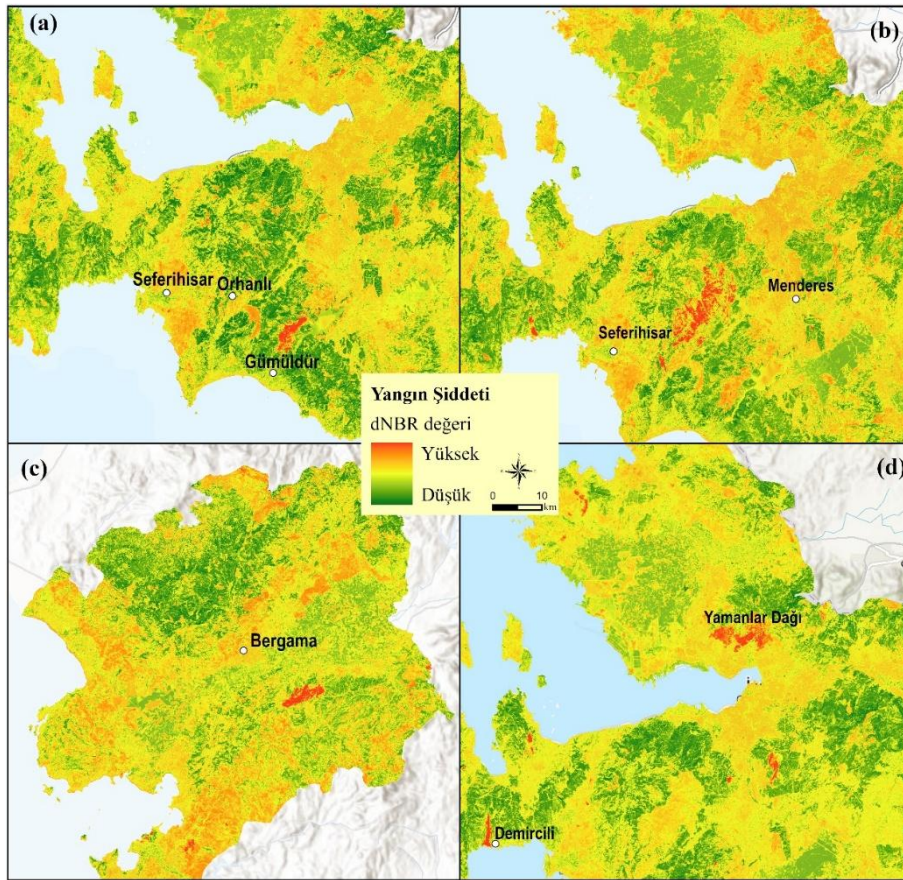
Buradaki indeks sonuçlarına göre yangın şiddetinin 2025 yılı özelinde yangın sayısı ve yanan alan yoğunluğunun arttığı belirlenmiştir. 2025 yılına ilişkin yangınlarda Çeşme ardından Seferihisar, Gaziemir, Ödemiş, Aliğa ve Foça çevresinde yoğunlaşan yüksek dNBR değerleri geniş alanlı ve yüksek şiddetli yangınların oluştuğunu göstermektedir (Şekil 5c). Bu indeks yardımı ile yerleşme ve tarım alanları maskelenmeden de yangın alanları kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Burada en yüksek yangın şiddeti Çeşme (Şekil 5a) ve Seferihisar (Şekil 5b) yangınlarında ($dNBR > 0.6$) toplam alanın %60'ın üzerinde olduğu belirlenmiştir. Seferihisar yangının iki ayrı bölgede etkili olmakla birlikte doğuya doğru uzanan bölümde yangının daha şiddetli olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5b). Bu bulgu arazi gözlemleri karşılaştırıldığında Seferihisar'ın doğusunda daha gür bir vejetasyon örtüsünün bulunması şiddetini belirleyen önemli etmenlerden biri olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle biyokütle miktarının yüksek olduğu alanlarda yangın şiddetinin de artacağı yönündeki beklenti doğrulanmıştır.

Genel olarak İzmir'de orman yangınlarının dNBR sonuçlarına ilişkin dağılımlar değerlendirildiğinde son yıllarda yalnızca alan büyüklüğü açısından değil yangın şiddeti bakımından da belirgin artış olduğu dikkat çekmektedir. Burada

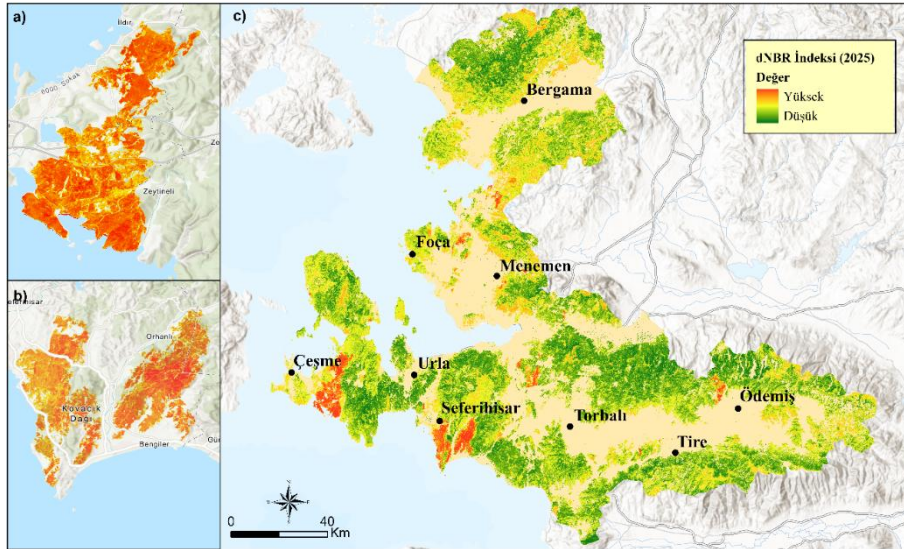
biyokütle varlığının yanı sıra yüzeye ilişkin yüzeye ilişkin sıcaklık veya bitki sağlığına ilişkin özelliklerinden kaynaklaması mümkündür. Böylece bir sonraki bölümde vejetasyon yapısı ve uzun dönemli biyofiziksel stres süreçlerindeki eğilimler incelenmiştir.

3.2 Orman alanlarında termal yüzey, vejetasyon durum iyileşmesi ve yangın şiddeti eğilimleri

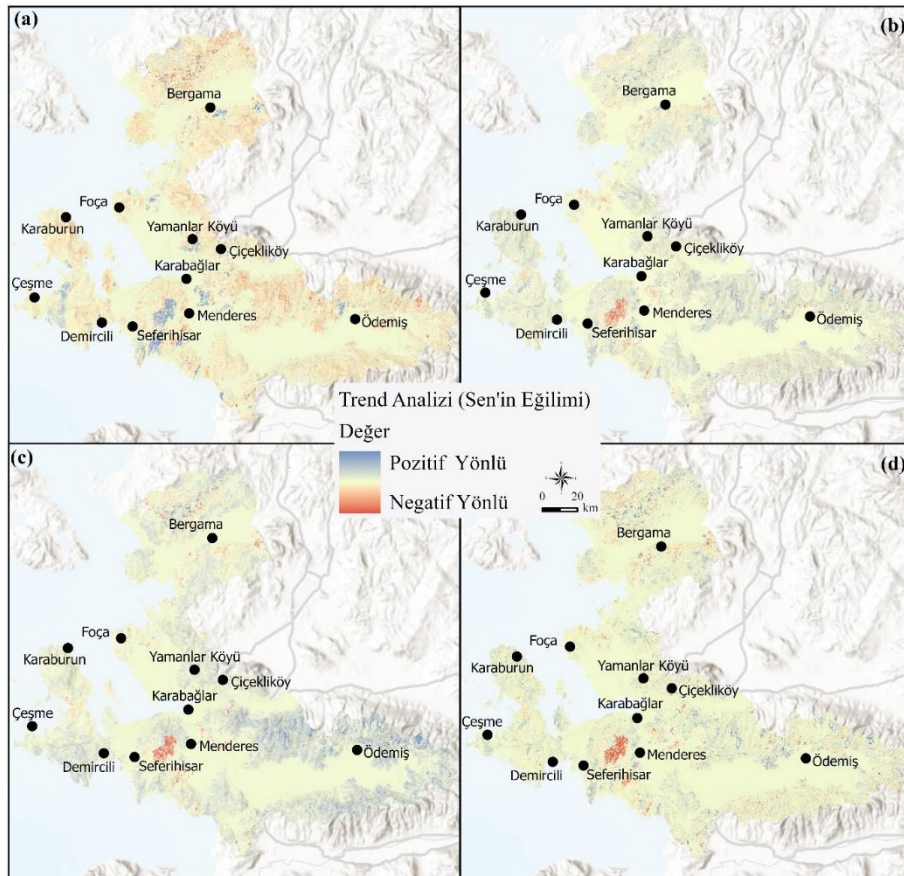
Çalışmanın bu bölümünde 2015 yılından 2025 yılı ekim ayına kadar olan uzun dönemli yangın şiddeti ile 2025 yılı haziran ayına ilişkin görüntüler üzerinden vejetasyon canlılığı, yer yüzey termal yansıma özellikleri ve vejetasyon yüzeylerinin nemliliğine ilişkin eğilimler mekânsal düzeyde ortaya konulmuştur (Şekil 6). Elde edilen eğilim sonuçları çalışmada tanımlanan önemli yangın olaylarıyla zemine ilişkin özellikler arasında yüksek düzeyde mekânsal tutarlılık göstermektedir. Bu tutarlılığın belirlenmesi için öncelikle Çeşme ve çevresi, Seferihisar, Karabağlar, Gaziemir, Yamanlar, Ödemiş ve Bergama İlçelerinde dNBR ile yangın alanlarının sınırları belirlenmiştir. Ardından bu alanlarda yangın baskısının zaman içerisindeki mekânsal eğilimi odak bölgeler üzerinden değerlendirilmiştir. Bulguların doğru yorumlanabilmesi açısından Şekil 6'da sunulan haritada mavi tonlar artış eğilimini göstermektedir. Bu renk tonu ile gösterilen bölgelerde dNBR indeksindeki artış yangın şiddetinin güçlendiğini gösterirken bitki sağlığının azalması, sıcaklık artışı ve nemliliğin düşmesi kırmızı renk ile temsil edilerek ekosistemdeki bozulmayı ifade etmektedir.



Şekil 4. 2017 yılı Gümüşdüz yangını (a), 2019 Karabağlar (Menderes) yangını (b); 2023 Bergama yangını (c) ve 2024 Yamanlar ile Urla Demircili Yangınlarına ilişkin yangın şiddet haritaları



Şekil 5. 2025 yılına ait Çeşme (a), Seferihisar (b) ve İzmir İli (c) dNBR değerleri



Şekil 6. Çalışmada kullanılan uzun yıllık (2015-2025) dNBR indeksi eğilimi (a), VCI eğilimi (b); TCI eğilimi (c) ve VMCI eğilimi (d) haritaları

Yangın şiddetine ilişkin değerler İzmir İli genelinde orman yangınlarının oldukça etkili olduğunu bir kez daha göstermiştir (Şekil 6a). Mekânsal eğilimlere ilişkin bulgulardan bahsetmeden önce sonuçların daha iyi anlaşılması için Şekil 6'da yer alan haritalarda sarı renkli bölgeler anlamlı eğilimin olmadığı yani bitki olmayan (kayalık alanlar, bina ve diğer yapılar, toprak) arazileri temsil etmektedir. Bunun dışında Şekil 6'da yangın şiddetinin arttığı bölgeler İzmir ilinin son 11 yıllık

yangın karnesini mekânsal düzeyde yansıtmaktadır. Yangın şiddetine ilişkin dNBR değerlerindeki eğilim desenleri yangın şiddetindeki artışın kıyıdan iç kesimlere doğru uzanan ve kuzey–güney doğrultusunda süreklilik gösteren bir hat boyunca yoğunlaştığını göstermektedir (Şekil 6a). Özellikle Çeşme–Karaburun ve Seferihisar–Karabağlar hatları boyunca tekrarlayan yangınlara bağlı olarak birikimli bir şiddet eğilimi ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Yangınlarla zarar gören alanların

bazılarında hızlı iyileşme belirtilerine rastlanırken çok azında iyileşme süreçlerinin hızlandığı görülmüştür.

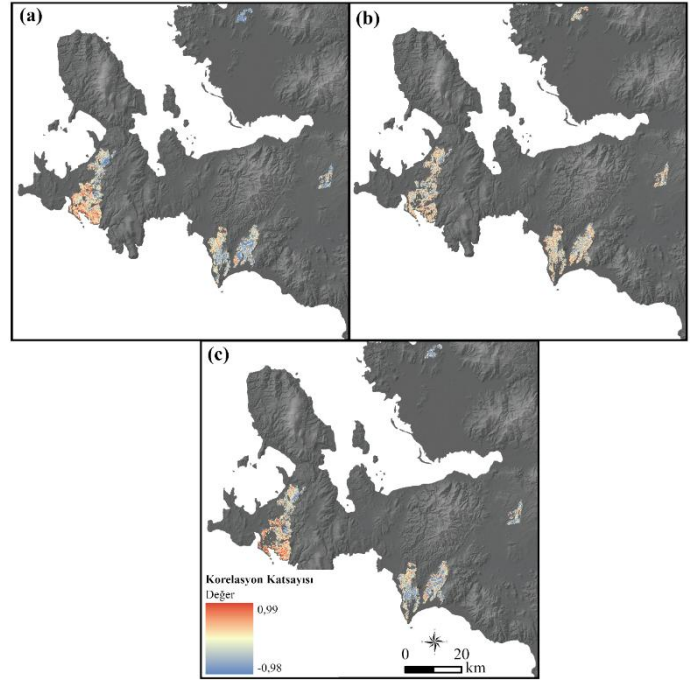
VCI değerlerindeki eğilimler incelendiğinde Bergama ve Foça çevresinde eski yangın alanlarında negatif yönlü eğilimler dikkat çekmektedir (Şekil 6b). Bu negatif eğilimler yangınların ardından bitki sağlığının olumsuz yönde değiştiğini göstermektedir. Bunun dışında bazı geçmiş yangın alanlarında eğilim olmadığının test edilmesi o bölgede vejetasyon sağlığında iyileşme yani yeniden bir canlanma olduğuna işaret etmektedir. Yangın sonrası iyileşme süreci Çeşme ve Urla (Demircili) çevresinde eğilimlere yansımada da Yamanlar ve Çiçekliköy yangınlarında vejetasyonda olumlu değişimler görülmektedir (Şekil 6b). Yamanlar yangını sonrasında bir yıl geçmesine karşın bölgede negatif eğilim sadece güneyde yerleşmelere yakın dar bir bölgede gözlenmiştir. VCI eğilimlerinde en yüksek negatif eğilim 2019 Karabağlar yangınında test edilmiştir. Bu durum yangın sonrası iyileşmenin bu bölgede çok az olduğuna işaret etmektedir. TCI değerlerindeki eğilimler yüzey sıcaklığının Nif Dağı ve Spil Dağı istikametinde azaldığını göstermektedir (Şekil 6c). Yangın alanlarına ilişkin uzun yıllık genel tablo incelendiğinde Bergama, Foça, Orhanlı ve Urla yangınlarının gerçekleştiği bölgelerde yüzey sıcaklığının zamansal olarak artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 6c). Bu indeks kapsamında da en yüksek negatif eğilimler 2019 yılı Karabağlar yangınının gerçekleştiği bölgeye karşılık gelmektedir. Son olarak VMCI değerlerindeki uzun yıllık eğilimler 2025 yılı yangınlarının olduğu bölgelerde negatif eğilimler test edilmesi oldukça dikkat çekicidir (Şekil 6d). Bu durum yangınların gerçekleşmeden önce yüzey nemliliğindeki önemli azalışları göstermektedir.

Eğilimlere ilişkin her üç indekse ait sonuçlarda vejetasyon durumunda yüzeye ilişkin termal stres ve vejetasyon nemliliğinde çalışmaya dahil edilen 2025 yılı yangınlarına kadar olan tüm yangın alanlarında negatif yönlü değişime işaret etmektedir (Şekil 6b, 6c, 6d). Diğer yandan beklendiği üzere tüm indekslerinin geçmiş yangınlar sonucunda neredeyse tüm yanan alanlarda vejetasyon sağlığında ve yüzey sıcaklığında olumsuz değişimlerin süregeldiğini göstermektedir. Buna ek olarak yangın sonrası ekosistem tepkileri ile vejetasyonun zamansal iyileşme süreçlerine ilişkin en düşük değerler 2019 yılında meydana gelen Karabağlar yangını ön plana çıkmaktadır. 2024 yılı Gaziemir yangınında iyileşme olgularının gerçekleşmemesi beklenen bir durum olmasına karşın aynı yıla ait Yamanlar yangınından sonra yüzey değerlerinde olumsuz eğilimlerin tespit edilmemesi son derece dikkat çekicidir. Bu durumun en olası nedeni yanan alanlara otsu türlerin hızlı süksesyon gerçekleştirmesi sonucunda görüntülerindeki yangın göstergelerinin maskelenmesidir. Bu hızlı çimlenme süreci arazi gözlemlerinde de tespit edilmiştir.

3.3 Çevresel stres indeksleri ile yangın şiddeti arasındaki ilişkiler

İzmir ve yakın çevresinde son yıllarda artış gösteren orman yangınlarının mekânsal-zamansal dinamiklerinin incelenmesi yangın öncesi değişen yüzey koşulları ve değişen iklim parametrelerinden kaynaklanan mekânsal kırılganlığının değerlendirilmesi açısından son derece önemlidir. Bu doğrultuda 2025 yılı yangın sezonu sonrasına ait dNBR verileri ile elde edilen yangın şiddeti 2025 yangınları öncesindeki 11

yıllık (2025 haziran dahil) VCI, TCI ve VMCI indekslerinin mekânsal eğilimi arasındaki korelasyonlar test edilmiştir. Bu uygulama 2025 yılı için tüm yangın alanlarına stres birikiminin belirlenmesi için uygulanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7: 2025 yılı Çeşme yangını dNBR indeks değerleri ile uzun yıllık VCI eğilimi arasındaki korelasyon (a), TCI eğilimi arasındaki korelasyon (b) ve VMCI eğilim değerleri arasındaki korelasyon değerleri ($p > 0,001$) (c)

Korelasyon analizi sonuçlarına göre hem VCI hem de VMCI eğilimleri ile dNBR verileri arasında güçlü anlamlı istatistiksel ilişkiler test edilmiştir (Şekil 7a ve 7c). Piksel tabanlı bu korelasyon testinde yüksek güven sınırlarında ($p < 0.01$) anlamlılık gösteren piksel sayısının dikkate değer ölçüde fazla olmasından dolayı korelasyon analizlerinde %99 güven aralığı sınır eşiği olarak kullanılmıştır. Böylece VCI ve VMCI gibi vejetasyon durumuna ilişkin indekslerle ile spektral yanma şiddeti arasındaki ters yönlü ilişki belirlenmiştir. Bunun anlamı yangın şiddetinin artış gösterdiği alanlarda bitki sağlığı ve nemliliğin azalmasından kaynaklı yangın etkisinin şiddetinin artmasının önemli bir göstergesidir. Bu indekslerle ilişkin korelasyon değerlerine bakıldığında dNBR ile VCI arasında korelasyon katsayılarının ($r = -0,63$) piksel bazlı ortalaması alındığında güçlü denebilecek bir ilişki ortaya çıkmasıdır. Vejetasyon nemliliği ile yangın şiddeti arasında ise en güçlü negatif yönlü istatistiksel ilişki ($r = -0,69$) belirlenmiştir. Buradaki bulgular yangın şiddeti ile ortamdaki bitki sağlığı ve nemlilik düzeyinin zamansal eğilimlerindeki düşüşün yangın şiddetini arttırdığını söylemek yanlış olmayacaktır. Özellikle 2025 yılında gerçekleşen Çeşme ve Seferihisar yangınları incelendiğinde Çeşme'nin Ildır mahallesinde başlayan yangında ve Seferihisar'ın Doğanbey mahallesindeki yangınların indeks değerleri arasında çok güçlü negatif korelasyon ($r > -0,9$) belirlenmiştir. Bu sonuçlar yangın öncesinde yüzeye ilişkin değerlerde zamansal bir azalma eğiliminin yangın şiddeti açısından güçlü bir gösterge olduğunu desteklemektedir.

Bu çalışmada incelenen diğer bir yüzey indeksi olan LST kaynaklı TCI indeksindeki yangın şiddeti arasında güçlü bir örüntü test edilememiştir (Şekil 7b). Yangın sonrası evrede yüzey sıcaklıklarındaki eğilimlerle yangın şiddeti arasında diğer indekslerden daha düşük düzeyde ($r=-0,532$) negatif korelasyon test edilmiştir. Burada istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmesine karşın güçlü bir korelasyonun elde edilememesi yüzey sıcaklığı mekânsal deseninin kısa mesafelerde yüksek değişkenlik göstermesiyle açıklanabilir.

4. Tartışma

Türkiye’de ve özellikle Akdeniz iklim kuşağında meydana gelen büyük yangınların bitki örtüsü sürekliliği, sıcaklık, kuraklık koşulları ve insan faaliyetleri gibi çok sayıda etmenin birlikte rol oynadığı bilinmektedir (Güney ve ark., 2016; Ersoy ve ark., 2024). İzmir örneğinde de özellikle Çeşme–Karaburun ve Seferihisar hattında gözlenen tekrarlayan yangınlar, yalnızca insan kaynaklı ateşleme süreçleriyle açıklanamayacak kadar karmaşık çevresel ilişkilerden kaynaklanmaktadır (Sabuncu ve Özener, 2019). Toprak nem eksikliği, artan güneş radyasyonu, biyokütle birikimi ve vejetasyon stresinin güçlenmesi yangın şiddetini güçlendirmesi beklenen bir gerçektir (Çetin, 2024). Bu çalışmada elde edilen bulgular da yangınların her ne kadar insan kaynaklı başladığı gerçeğini inkâr etmeden yangının yayılma potansiyeli ve şiddetinin büyük ölçüde yangın öncesinde biriken biyofiziksel stres koşullarından etkilendiğini göstermektedir. Çalışmanın bu temel çıktıları bütün olarak değerlendirildiğinde Akdeniz ekosistemlerinde yangın davranışının çok yıllık kuraklık, kötüleşen vejetasyon dinamikleri ve termal stres koşullarının etkileşimiyle şekillendiğini ileri süren güncel çalışmalarla oldukça uyumludur (McLauchlan et al., 2020).

İzmir İlinde ortaya çıkan yangınlarda zamansal olarak anlamlı bir kümelenme göstermediği yangınların rastlantısal ortaya çıktığı bilinmektedir (Alevkayalı, 2025). Anlamlı bir kümelenme sergilemeyen bu yangınların son yıllarda artış göstermesi mekânsal-zamansal dinamiklerin son derece etkin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle spektral yanma şiddeti göstergesi olan dNBR ile yangın öncesi eğilimlerle ve sonrası biyofiziksel koşulları temsil eden VCI, TCI ve VMCI indeksleri bu çalışmada kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular yangınların yalnızca yangın anındaki meteorolojik koşulların bir sonucu olmadığını aynı zamanda uzun dönemli ekosistem stresi ve çevresel kırılganlık süreçleriyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu çalışmadaki eğilim modelleriyle belirlenen vejetasyon nem açığı vejetasyon sağlığındaki bozulma ve yüzey sıcaklığındaki değişimler Akdeniz Bölgesi’nde gerçekleştirilen benzer araştırmalarda yangınları hazırlayan temel çevresel süreçler olarak tanımlanmaktadır (Kaynak, 2025; Şenlik ve Yılmaz, 2025). Özellikle bu çalışmada zaman serisi sürekliliği kullanılarak ortaya konulan 11 yıllık eğilimler habitat dirençliliği ve ekosistem tepkilerinin değerlendirilmesinde parametrik olmayan eğilim analizlerinin güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

İzmir’in yangına hassas peyzajlarında yapılan eğilim analizleri, hidrolojik stres ve vejetasyon bozulmasının mekânsal örüntülerini ortaya koyarken, literatürde süreç tabanlı modellerin Akdeniz yangınlarını başarılı şekilde canlandırıldığı çalışmalarla paralellik göstermektedir (Ekberzade et al., 2025).

Literatürde vejetasyon odaklı yersel ve uydu tabanlı göstergelerin uzun dönemli eğilimler üzerinden değerlendirilmesinde vejetasyon fenolojisi ile yangın davranışı arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri açıklamada önemli bir potansiyel taşıdığı belirtilmektedir (Yi and Lee, 2025). Yangın öncesi VCI, TCI ve VMCI eğilimlerinin değerlendirilmesi, yangınların gerçekleştiği alanlarda çevresel stres birikiminin uzun yıllar boyunca kademeli olarak değiştiği ortaya koymuştur. Böylece 2025 yılı Çeşme ve Seferihisar yangınlarında gözlenen yüksek dNBR değerleri yangın öncesi dönemde biriken stres koşullarının yangın şiddetinin güçlenmesi yönünde etkili olduğu hipotezi desteklemiştir. Bu çalışmanın diğer bir önemli çıktısı yangın öncesi dönemde en belirgin düşüşlerin bitki yüzeyindeki nemlilik değerlerinde gözlenmesidir. Nitekim Akdeniz ekosistemlerinde gerçekleştirilen çalışmalarda yangın öncesi ve sonrası süreçlerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda NDMI temelli göstergelerin NDVI’ya kıyasla yangın davranışını açıklamada daha yüksek performans gösterebildiği ortaya konmuştur (Veraverbeke et al., 2011). Bu indeksin önceki çalışmalarda hidrolojik kuraklık ile bitki sağlığı arasında istatistiksel olarak güçlü ve anlamlı ilişkiler ortaya koyduğu bilinmektedir (Alevkayalı, 2026). Bu durum yangınların yalnızca vejetasyon yoğunluğu ile değil aynı zamanda ortam nemliliği ve bitki su içeriği gibi özelliklerle de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Sen’in Eğilim katsayısı kullanılarak görselleştirilen VCI ve VMCI eğilimleri yüksek yangın şiddeti ile temsil edilen alanlarla çakışması Akdeniz ormanlarında yangın öncesi yakıt kuruluşunun ve vejetasyon stresinin yangın davranışını belirleyen temel süreçlerden biri olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar Avrupa-Akdeniz bölgesindeki yaz yangınlarını inceleyen Ghasemiasma et al. (2026) tarafından ortaya konulan “büyük ve mega yangınların ortaya çıkış mekanizması” ile önemli ölçüde örtüşmektedir. Söz konusu çalışmada büyük ölçekli yangınların, uzun süreli kuraklık süreçleri ile yangın anındaki ekstrem meteorolojik koşulların eş zamanlı gerçekleşmesi sonucunda ortaya çıktığı belirtilmektedir. Benzer şekilde Hammill and Bradstok (2006) çalışmasında bitki canlılığındaki azalma ve ortam nemliliğindeki düşüşün yangın oluşumunda belirleyici rol oynadığını vurgulamaktadır.

Elde edilen sonuçlardan termal stres göstergesi olarak kullanılan TCI eğilimleri dNBR ile tüm çalışma alanında homojen ve güçlü bir ilişki göstermemesi dikkat çekici bir sonuçtur. Bu durumun bir sebebi İzmir’in topografik çeşitliliği, rüzgâr, kıyı etkisi ve mikroklimatik farklılıkların yatması kuvvetle muhtemeldir. Akdeniz havzasındaki heterojen morfolojik yapıların yüzey sıcaklığı üzerindeki düzenleyici etkileri daha önceki çalışmalarda da ortaya konulmuştur (Gümüş ve Durduran, 2022). Bu durum yüzey sıcaklığının yangın öncesi belirgin bir gösterge olarak kullanılmasında soru işaretleri olduğunu göstermektedir. Literatürde yangın sonrası vejetasyon kaybına bağlı olarak yüzey sıcaklıklarının yükseldiği ve buna bağlı olarak TCI ile yangın şiddeti arasında anlamlı ilişkilerin ortaya çıkabileceği belirtilmektedir (Vlassova et al., 2014). Ancak literatürde TCI sonuçlarının yangın öncesi iyi bir gösterge olduğuna ilişkin güçlü değerlerin sunulduğu bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dahası Cihan ve ark., (2022) tarafından yayınlanan çalışmada yangın sonrası belirli bir süre geçtikten sonra yüzey sıcaklıklarının yeniden dengeye yaklaşabildiğini belirtmektedir. Ayrıca bu araştırmada

kullanılan termal göstergeler yangın anını değil, yangın öncesi uzun dönemli eğilimleri temsil ettiğinden yangın öncesi ortaya çıkan ani sıcaklık artışlarını yansıtmamaktadır. Dolayısıyla TCI'nin yangın şiddetini tek başına açıklamak yerine diğer biyofiziksel göstergelerle birlikte değerlendirilmesi daha anlamlı bir seçenek olduğu söylenebilir.

5. Sonuç

Bu çalışmanın özünde İzmir ve yakın çevresindeki orman yangınlarının zamansal dinamikleri ve yangın sonrası ekosistem tepkileri, uydu tabanlı spektral indeksler ile piksel ölçekli zaman serisi analizlerinin bütünleştirilmesi yer almaktadır. 2015–2025 dönemini kapsayan 11 yıllık kesintisiz zaman serisi verileri üzerinde gerçekleştirilen eğilim analizleri, yangınların mekânsal dağılımını ve ekosistemin zamansal davranışını ortaya koymada başarılı sonuçlar üretmiştir. Buradaki sonuçlar ekosistem dirençliliği açısından değerlendirildiğinde mekânsal ölçekte küçük yangınların gerçekleştiği alanlarda birkaç yıl içerisinde büyük yangınlara göre belirgin vejetatif toparlanma gerçekleştiği gözlenmiştir. Buna karşılık büyük yangınlardan biri olan 2019 Karabağlar yangın sahasında ekolojik toparlanma olsa da bu değerlerin henüz pozitif eğilim odağında indekslere yansımaması dikkat çeken bir tespittir. Bu sonuç yangın öncesinde bölgede bulunan orman örtüsünün ağır düzeyde tahrip olması Akdeniz ormanlarının görece yavaş gerçekleşen doğal iyileşme süreciyle ilişkilendirilmiştir. Başka bir deyişle yüksek şiddetli yangınların yaşlı Akdeniz orman ekosistemlerinde uzun süreli ekolojik bozulmalara yol açabileceğini göstermiştir.

Çalışmanın diğer bir sonucu 2025 yılı yangınları odağında yapılan incelemelerde yangın öncesinde gelişen ekolojik stres koşullarının yangın sonrası yanma şiddetiyle ilişkili olabileceğini güçlü bir biçimde desteklemektedir. Bu bulgu yangın öncesi dönemde gelişen ekolojik stres koşullarının yangın şiddetinin ve yanma derecesinin belirlenmesinde kritik bir ön gösterge olabileceğine işaret etmektedir. Bu sonuçlar yangın öncesi dönemde biriken yüzeye ilişkin hidrolojik kuraklık ve vejetatif sağlık koşullarının yangınların şiddeti üzerinde belirleyici olduğuna dair önemli göstergeler sunmaktadır. Diğer yandan LST eğilimleri değer bakımından kısa mesafede değişimler gösterse de dNBR ile anlamlı negatif korelasyon sergilemiş ve yangın öncesi dönemdeki termal değişkenliğin diğer indeksler kadar olmasa da yangın sonrası yanma şiddetiyle ilişkili olabileceğine işaret etmektedir.

Araştırma kapsamında değerlendirilen UA tabanlı indeks eğilimleri, geçmiş yangın alanlarının ekolojik rejenerasyon hızlarına, başlangıçtaki biyokütle miktarına ve yangın şiddetine ilişkin mekânsal değişkenlik göstermiştir. Elde edilen bu sonuçlar sürdürülebilir arazi yönetimine ilişkin yangın risk değerlendirmesi ve ekosistem restorasyonuna yönelik karar destek süreçleri için veri temelli perspektif sunmaktadır. Özellikle ilerleyen araştırmalarda meteorolojik kuraklık göstergelerinin yüksek çözünürlüklü uydu tabanlı iklim verileri ile entegre edilmesinin Akdeniz ekosistemlerinde yangın duyarlılığı ile ekolojik kırılganlığın belirlenmesinde daha kapsamlı araştırma çerçevesi oluşturulabileceği ortaya konulmuştur.

Teşekkür

Arazi çalışmalarının bir bölümüne sağladığı desteklerden dolayı Coğrafya Öğretmeni Elif Ece ÖZDAĞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın bir bölümüne ait ön bulgular 19–21 Aralık 2025 tarihlerinde Ayvalık'ta gerçekleştirilen VII. Uluslararası Coğrafya Eğitimi Kongresi'nde (UCEK-7) sözlü bildiri olarak sunulmuş ve kongre bildiri özetleri kitabında (ss. 64–65) yayımlanmıştır.

Kaynakça

- Aksoy, T., Çabuk, A., 2018. Orman yangını sonrası uzaktan algılama yöntemleri ile yangın şiddetinin tespiti İzmir menderes orman yangını örnekleme. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, 1221-1226.
- Alevkayalı, Ç., 2026. Karstik Ekosistemlerde Vejetasyon Su Stresinin Uzaktan Algılama ile İzlenmesi: Eğirdir Gölü Havzası Örneği. Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi, 7(1), 212-226. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1856448>.
- Alevkayalı, Ç., 2025. Yangınların zamansal ve mekânsal kümelenme süreçlerinin izlenmesi: İzmir ili örneği. In VII. Uluslararası Coğrafya Eğitimi Kongresi (UCEK-7) Bildiri Özetleri Kitabı (19-21 Aralık, Ayvalık, Türkiye ss. 64–65).
- Baniya, B., Tang, Q., Xu, X., Haile, G. G., Chhipi-Shrestha, G., 2019. Spatial and temporal variation of drought based on satellite derived vegetation condition index in Nepal from 1982–2015. Sensors, 19(2), 430. <https://doi.org/10.3390/s19020430>.
- Bekem Kara, İ. Kara, C. 2020. Kayseri ili yapısal yangınların incelenmesi. Afet ve Risk Dergisi, 3(2), 195-207. <https://doi.org/10.35341/afet.773766>.
- Bento, V. A., Gouveia, C. M., DaCamara, C. C., Libonati, R., Trigo, I. F., 2020. The roles of NDVI and Land Surface Temperature when using the Vegetation Health Index over dry regions. Global and Planetary Change, 190, 103198, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103198>.
- Bilal, M., 2025. Spectral indices alone are not enough: A critical assessment of pre-fire wildfire risk mapping. Ecological Informatics, 91, 103435, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103435>.
- Cihan, A., Cerit, K., Erener, A., 2022. Yangın alanında uydu görüntüleri ile yer yüzey sıcaklık değişimi gözlemi ve mekânsal alan tespiti. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 8(1), 142-155. <https://doi.org/10.21324/dacd.942724>.
- Cook, M., Schott, J. R., Mandel, J., Raqueno, N. 2014. Development of an operational calibration methodology for the Landsat thermal data archive and initial testing of the atmospheric compensation component of a Land Surface Temperature (LST) Product from the archive. Remote Sensing, 6(11), 11244-11266. <https://doi.org/10.3390/rs6111244>.
- Çakmak, S., Çeber, H., Yılmaz, H., Demir, T., 2025. Yangın sonrası Akdeniz kızılçam (Pinus brutia Ten.) ormanlarında toprak element konsantrasyonlarındaki değişimler. Türk Coğrafya Dergisi, (88), 157-170. <https://doi.org/10.17211/tcd.1817476>.
- Çelik, M. Ö., Fidan, D., Ulvi, A., Yakar, M., 2023. 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>.
- Çetin, M., 2024. Entropi Ekseninde Orman Yangınları Fenomeni Üzerine Bir İnceleme. *Journal of Anatolian Geography*, 1(1), 1-16. <https://izlik.org/JA78RJ42WN>.
- 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>.
- Demirel, Y., Türk, T., 2023. Türkiye’de 2015 ile 2022 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal ve mekânsal analizi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 10(2), 136-150. <https://doi.org/10.9733/JGG.2023R0010.T>.
- Ducruet, R., Foucher, A., Bardelle, A., Evrard, O., 2026. Investigating post-wildfire effects in contrasted Mediterranean ecosystems. *Journal of Soils and Sediments*, 26(2), 21. <https://doi.org/10.1007/s11368-025-04216-2>.
- Earth Resources Observation and Science (EROS) Center., 2020. Landsat 8-9 Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor Level-2, Collection 2 [2015-2025 dataset]. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/P9OGBGM6>.
- Ege Orman Vakfı, 2025. İzmir-2025 yanan orman alanları gözlem raporu. Ege Orman Vakfı Yayınları. https://www.egeorman.org.tr/images/belgeler/2025_eov_izmir_yanan_alan_inceleme_raporu.pdf son erişim: 30.05.2026.
- Ekberzade, B., Görüm, T., Karabacak, F., Akay, S. S., Şen, Ö. L., 2025. Up in flames: the human factor behind a megafire in Mediterranean Türkiye. *npj Natural Hazards*, 2(1), 65. <https://doi.org/10.1038/s44304-025-00120-4>.
- Erlat E., 2003. İzmir’in Hava Tipleri Klimatolojisi, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları No: 121.
- Ersoy, İ., Gürsoy, Ö., Ünsal, E., 2024. Orman Yangını Risk Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında Hazırlanması: Manavgat Örneği. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2(1), 29-34. <https://doi.org/10.66248/cumfad.1479103>.
- Gayır, B., Arslan, O., 2018. Orman Yangınlarının CBS Tabanlı Konumsal İstatistik Analizi: 2011-2015 Yılları Arasında Muğla Orman Bölge Sınırları İçerisinde Çıkan Yangınlar. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi* 4(1): 44-60. <https://izlik.org/JA58HG45GE>.
- Geçen, R., Topuz, M., 2021. Hatay’da 2013-2021 Yılları Arasında Meydana Gelen Orman Yangınlarının Uydu Görüntülerinden Tespiti ve Değerlendirilmesi. *Turkish Studies-Social Sciences*, 16(6), 1987-2009. <http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.54148>.
- Ghasemiasma, F., Tonini, M., Fiorucci, P., Turco, M., 2026. Megafires in Mediterranean Europe: the compound role of fire weather and drought. *npj Natural Hazards*, 3(1), 33. <https://doi.org/10.1038/s44304-026-00197-5>.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Gümüş, M. G., Durduran, S. S., 2022. Arazi kullanımı/arazi örtüsü değişiminin arazi yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Tekniği kullanılarak araştırılması. IV. Uluslararası Türk Dünyası Fen Bilimleri ve Mühendislik Kongresi, 23-24.
- Güney, C., Özkan, K., Şentürk, Ö., 2016. Antalya-Manavgat yöresi ormanlarında tutuşma riskinin coğrafi dağılım modellemesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(2), 459-470. <https://doi.org/10.17099/jffiu.42696>.
- Güney, C. O., Mert, A., Gülsoy, S., 2023. Orman yangınları sonrası ekosistem tabanlı planlamaya doğru: Yanma derinliğinin sınıflandırılması. *Afet ve Risk Dergisi*, 6(1), 206-225. <https://doi.org/10.35341/afet.1197031>.
- Gürbüz, E., 2023. Uzaktan Algılama ile Yangın Şiddeti Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması. *Harita Dergisi*, 170, 8-22.
- Hammill, K. A., Bradstock, R. A., 2006. Remote sensing of fire severity in the Blue Mountains: influence of vegetation type and inferring fire intensity. *International Journal of Wildland Fire*, 15(2), 213-226. <https://doi.org/10.1071/WF05051>.
- İban, M. C., Şahin, E., 2022. Monitoring burn severity and air pollutants in wildfire events using remote sensing data: the case of Mersin wildfires in summer 2021. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 487-497. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1008242>.
- Karabulut, M., Karakoç, A., Gürbüz, M., Kızılelma, Y., 2013. Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak Başkonuş Dağında (Kahramanmaraş) orman yangını risk alanlarının belirlenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(24), 171-179.
- Karadaş, A. 2014. İzmir’in Bilinen İlk Yerleşmesi Yeşilova Höyüğü’nde Jeoarkeoloji ve Paleocoğrafya Araştırmaları. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(1), 43-55. <https://izlik.org/JA27LY49TX>.
- Karadaş, G., Altinkaya, F., 2025. Orman Yangını Sonrası Peyzaj Bozulmalarının Mekânsal Analizi ve Restorasyon Stratejilerinin Geliştirilmesi: Bursa Orhanlı-Harmancık Örneği. *Turkish Journal of Forest Science*, 9(2), 490-504. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.1774187>.
- Kavzoğlu, T., Çölkese, İ., Tonbul, H. Öztürk, M.Y., 2021. Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları, T. Kavzoğlu (Ed.) *Orman Yangınları: Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri*. Türkiye Bilimler Akademisi. ss. 219-251.
- Kaynak, T., 2025. Uzaktan Algılama ve CBS Kullanılarak Orman Yangınlarının Etkilerinin Analizi: Taşköprü 2020 Orman Yangını Örneği. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 6(2), 168-180. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1643526>.
- Kazı, H., Karabulut, M., Topuz, M., 2026. Topoğrafik faktörlerin yangın şiddetine etkisi: dNBR tabanlı mekânsal bir analiz (Kahramanmaraş, Türkiye örneği). *Turkish Journal of Forest Science*, 10(1), 1845437. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.1845437>.
- Kendall, M. G., 1938. A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30(1-2), 81-93. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.1845437>.

- Key, C. H., Benson, N. C., 2006. Landscape assessment (LA): Sampling and Analysis methods. In D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti, C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, L. J. Gangi (Eds.), FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system (Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, pp. LA1–LA51). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Kumar, D., Shekhar, S., 2015. Statistical analysis of land surface temperature–vegetation indexes relationship through thermal remote sensing. *Ecotoxicology and environmental safety*, 121, 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.004>.
- Lee, K., Van Leeuwen, W. J., Gillan, J. K., Falk, D. A., 2024. Examining the impacts of pre-fire forest conditions on burn severity using multiple remote sensing platforms. *Remote Sensing*, 16(10), 1803. <https://doi.org/10.3390/rs16101803>.
- Liu, W., Wang, S., Zhou, Y., Wang, L., Zhu, J., Wang, F., 2016. Lightning-caused forest fire risk rating assessment based on case-based reasoning: A case study in DaXingAn Mountains of China. *Natural Hazards*, 81(1), 347-363. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2083-1>.
- Malakar, N. K., Hulley, G. C., Hook, S. J., Laraby, K., Cook, M., Schott, J. R., 2018. An operational land surface temperature product for Landsat thermal data: Methodology and validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(10), 5717-5735.
- Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 13 (3), 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.
- Maffei, C., Lindenbergh, R., Menenti, M., 2021. Combining multi-spectral and thermal remote sensing to predict forest fire characteristics. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 181, 400-412. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.09.016>.
- McLauchlan, K. K., Higuera, P. E., Miesel, J., Rogers, B. M., Schweitzer, J., Shuman, J. K., Tepley, A. J., Varner, J. M., Veblen, T. T., Adalsteinsson, S. A., Balch, J. K., Baker, P., Batllori, E., Bigio, E., Brando, P., Cattau, M., Chipman, M. L., Coen, J., Crandall, R., Watts, A. C., A. C., 2020. Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108(5), 2047-2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2026). İl ve ilçeler istatistik verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=IZMIR> Son bağlantı: 15.05.2026.
- Miller, J. D., Thode, A. E., 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote sensing of Environment*, 109(1), 66-80.
- Nyongesa, K. W., Pucher, C., Poletti, C., Vacik, H., 2023. Evaluation of the relationship between spatio-temporal variability of vegetation condition index (VCI), fire occurrence and burnt area in Mount Kenya Forest Reserve and National Park. *Fire*, 6(8), 282. <https://doi.org/10.3390/fire6080282>.
- Ocak, F., Cesur, F., Ismail, A., Keklik, S., 2024. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Yangın Hasarının ve Yangına Duyarlı Alanların Belirlenmesi: Aydıncık (Mersin) İlçesi Örneği, Türkiye. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(2), 344-364. <https://doi.org/10.21324/dacd.1419616>.
- Oğuz, K., Oğuz, E., Çamalan, G., 2021. İzmir-Tirazlı orman yangınının uydu ve model verileri ile analizi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(1), 1-12. <https://izlik.org/JA82ME54XD>.
- Özçankaya, N., Batur, M., Kiracioğlu, Ö., 2021. İzmir Orman Bölge Müdürlüğü fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için gövde hacim tablolarının düzenlenmesi. *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 8(2), 125-145. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.813362>.
- Özdemir, F. B., Demir, N., 2022. 2019 İzmir Karabağlar İlçesi Orman Yangın Alanının Uydu Görüntüleri ile Analizi. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 3(1), 20-33. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1009319>.
- Pekkan, Ö. I., Derakhshandeh, M., Atmaca, İ., Tunca, Y. S., Kavlak, M. Ö., Çabuk, S. N., 2022. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Orman Yangını Risk Haritasının Geliştirilmesi: Muğla, Milas Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 190-199. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.901677>.
- Polat, N., Kaya, Y., 2021. Çok bantlı uydu görüntüleriyle orman yangınlarında hasar tespiti. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 172-181. <https://doi.org/10.24011/barofd.837507>.
- Polinova, M., Wittenberg, L., Kutiel, H., Brook, A., 2019. Reconstructing pre-fire vegetation condition in the wildland urban interface (WUI) using artificial neural network. *Journal of environmental management*, 238, 224-234. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.091> [Get rights and content](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.091).
- Quiring, S. M., Ganesh, S., 2010. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agricultural and forest meteorology*, 150(3), 330-339. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.015>.
- Roces-Díaz, J. V., Santín, C., Martínez-Vilalta, J., Doerr, S. H., 2022. A global synthesis of fire effects on ecosystem services of forests and woodlands. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 20(3), 170-178. <https://doi.org/10.1002/fee.2349>.
- 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>.
- Sargıncı, M., Beyazyüz, F., 2022. İklim değişikliğinin ormanlar üzerindeki etkisi: iklim akılcı ormançılık bakış açısı. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 142-149. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1139640>.
- Sen, P. K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
- Singh, R. P., Roy, S., Kogan, F., 2003. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *International journal of remote sensing*, 24(22), 4393-4402. <https://doi.org/10.1080/0143116031000084323>.
- Sivrikaya, F., Günlü, A., Küçük, Ö., Ürker, O., (2024). Forest fire risk mapping with Landsat 8 OLI images: Evaluation of the potential use of vegetation indices. *Ecological*

- Informatics, 79, 102461. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102461>.
- Spearman, C., 1987. The proof and measurement of association between two things. The American journal of psychology, 100 (3/4) Special Centennial Issue, 441-471. <https://doi.org/10.2307/1422689>.
- Şenlik, Y. F., Yılmaz, E., 2023. MODIS verilerine göre İzmir ve Manisa şehirleri ve çevresinde yüzey sıcaklık dağılışı ve eğilimleri. Ege Coğrafya Dergisi, 32(1), 51-68. <https://doi.org/10.51800/ecd.1223028>.
- Şenlik, Y. F., Yılmaz, E., 2025. Antalya İlinde Yüzey Sıcaklıklarındaki Değişimler ve Orman Yangınları ile İlişkisi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 11(1), 220-248. <https://doi.org/10.21324/dacd.1532721>.
- Tarım Orman-İş Sendikası, 2025. Orman Yangınları ile Mücadele raporu. Ankara.
- 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. [10.1016/j.asr.2022.02.051](https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.02.051).
- Usta, G., 2023. Afet yönetimi odağında orman yangınlarının değerlendirilmesi. Afet ve Risk Dergisi, 6(1), 18-35. <https://doi.org/10.35341/afet.1090658>.
- Ünlü, M., 2025. Orman varlığı ve orman yangınlarının etkisi. International Journal of Geography and Geography Education (IGGE), 55, 212-229. <https://doi.org/10.32003/igge.1634171>.
- 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., Mimbreno, 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. <https://doi.org/10.3390/rs6076136>.
- Wagenbrenner, J. W., Ebel, B. A., Bladon, K. D., Kinoshita, A. M., 2021. Post-wildfire hydrologic recovery in Mediterranean climates: A systematic review and case study to identify current knowledge and opportunities. Journal of Hydrology, 602, 126772, 1-16. [10.1016/j.jhydrol.2021.126772](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126772).
- Yavaşlı, D. D., Ölgün, M. K., Zoğal, V., 2018. Are summer resorts cooler in summer? A case study of İzmir province. Ege Coğrafya Dergisi, 27(2), 127-134. <https://izlik.org/JA32CD39YM>.
- Yi, T., Lee, J., 2025. Evaluating and Predicting Wildfire Burn Severity Through Stand Structure and Seasonal NDVI: A Case Study of the March 2025 Uiseong Wildfire. Fire, 8(9), 363, 1-20. <https://doi.org/10.3390/fire8090363>.
- Yılmaz, D., 2026. Kıyıda zirveye ısı dinamikleri: Batı Karadeniz’de topoğrafya ve vejetasyonun mevsimsel yüzey sıcaklığına etkisi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 12, <https://doi.org/10.53516/ajfr.1839377>.
- Yüksel, K., 2022. Yanan Orman Alanı Tespitinde Farklı Uzaktan Algılama İndislerinin 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>.
- Zahabnazouri, S., Belmont, P., David, S., Wigand, P. E., Elia, M., Capolongo, D., 2025. Detecting burn severity and vegetation recovery after fire using dNBR and dNDVI indices: insight from the Bosco Difesa Grande, Gravina in Southern Italy. Sensors, 25(10), 3097, 1-22. <https://doi.org/10.3390/s25103097>.