

Dergi ana sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pausbed>

Araştırma Makalesi

Atıf Bilgisi: Soyadı, A. (2026). Orman yangını sonrası vejetasyonun zamansal değişiminin uzaktan algılama yöntemleri ile değerlendirilmesi: Buldan (Denizli) örneği. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 75, 40-61. <https://doi.org/10.30794/pausbed.1796695>/<https://izlik.org/JA89ER23TE>

ORMAN YANGINI SONRASI VEJETASYONUN ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ: BULDAN (DENİZLİ) ÖRNEĞİ*

Cansu DUMAN^{1}, Emine ARSLAN²**

¹Arş. Gör. Dr., Pamukkale Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, cansuduman@pau.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-2170-7350>

²Bağımsız Araştırmacı, arsl.emine17@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0004-9037-0255>

Öz

İklim krizinin etkisiyle orman yangınlarının sıklığı ve şiddeti dünya genelinde artmakta, ekosistemler ve biyosfer alanları için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Orman yangınları; bitki örtüsü, toprak, su ve hava gibi doğal kaynaklarda geri dönüşü zor tahribatlara yol açarken, aynı zamanda önemli sosyoekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmada, Denizli ili Buldan ilçesi Türlobey Mahallesi yakınlarında 2021 yılı ağustos ayında meydana gelen orman yangını, uzaktan algılama yöntemleri ve çok zamanlı uydu görüntüleri ile analiz edilmiştir. Araştırmada USGS tarafından sağlanan yangın öncesi ve sonrası Sentinel-2 ile LANDSAT uydu görüntüsü veri setleri kullanılmıştır. Yanmış alanların mekânsal boyutunu ve şiddetini belirlemek amacıyla NDVI, NBR, GEMI ve SAVI indeksleri uygulanmıştır. Ayrıca OGM ve MGM'den elde edilen verilerle meşcere, baki, eğim ve yükselti haritaları CBS ortamında üretilmiştir. Üretilen bu verilerle bölgenin yangın ekolojisi değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, yangının kısa sürede yoğun bir ekolojik tahribata yol açtığı, ancak izleyen yıllarda sınırlı da olsa doğal yenilenme sürecinin başladığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Orman yangını, Uzaktan algılama, NDVI, NBR, Buldan.

ASSESSMENT OF THE TEMPORAL CHANGE IN VEGETATION FOLLOWING FOREST FIRES USING REMOTE SENSING METHODS: THE CASE OF BULDAN (DENİZLİ)

Abstract

Driven by the impacts of the climate crisis, the frequency and severity of forest fires are increasing globally, posing a severe threat to ecosystems and biosphere reserves. While forest fires cause largely irreversible damage to natural resources such as vegetation, soil, water, and air, they simultaneously lead to significant socioeconomic losses. In this study, the forest fire that occurred in August 2021 near the Türlobey neighborhood in the Buldan district of Denizli province was analyzed using remote sensing techniques and multi-temporal satellite imagery. Pre- and post-fire Sentinel-2 and Landsat satellite image datasets provided by the USGS were utilized in the research. To determine the spatial extent and burn severity of the affected areas, NDVI, NBR, GEMI, and SAVI indices were applied. Furthermore, maps of forest stand, aspect, slope, and elevation were generated in a GIS environment using data obtained from the General Directorate of Forestry (OGM) and the Turkish State Meteorological Service (MGM). The fire ecology of the region was evaluated based on these spatial datasets. The analyses revealed that although the fire caused intense ecological destruction in a short period, a natural regeneration process, albeit limited, has commenced in the subsequent years.

Keywords: Forest fire, Remote sensing, NDVI, NBR, Buldan.

* Bu çalışma, 7. Uluslararası Sosyal Bilimler Araştırma Kongresi (USOBAK) kapsamında "Orman Yangını Sonrası Vejetasyonun Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Buldan (Denizli) Örneği" başlığıyla sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

**Sorumlu Yazar: Cansu DUMAN (cansuduman@pau.edu.tr)

Yayımlanan makalenin telif hakkı, CC BY 4.0 lisansı kapsamında yazara aittir. Bu lisansın bir kopyasını görmek için şu adresi ziyaret ediniz: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. GİRİŞ

Yangın, oksijen, ısı ve yanıcı maddelerin bir araya gelmesiyle oluşan kimyasal reaksiyonun sonucu olup bu üç unsurun etkileşimine “yangın üçgeni” denir (Ergün, 2023). Rüzgâr, sıcaklık, nem, topografya ile yanıcı maddelerin tutuşma özellikleri yangının çıkışında doğrudan rol oynar. Orman yangınları, bu bileşenlerin uygun koşullarda buluşması sonucunda meydana gelir ve hem ekolojik hem de sosyoekonomik açıdan derin etkiler doğurur. Bitki örtüsünü tahrip ederek toprak-bitki-su dengesini bozar, biyolojik çeşitliliği azaltır; erozyon, sel, heyelan ve çölleşme gibi ikincil sorunları tetikler. Ayrıca fauna üzerinde de yıkıcı etkileri vardır; yaban hayvanlarının yaşam alanları daralır ve göç etmek zorunda kalırlar. Türkiye’de 2011–2021 döneminde çıkan yangınların %34,5’i ihmal ve kazadan, %11,9’u doğal nedenlerden, %5,3’ü kasıt kaynaklı iken %48,3’ünün nedeni bilinmemektedir (OGM, 2021). Buna ek olarak, iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte sıcaklıkların artışı, kuraklık eğilimlerinin güçlenmesi ve ekstrem meteorolojik olayların sıklıklaşması, orman yangınları riskini özellikle Akdeniz iklim kuşağında önemli ölçüde yükseltmektedir (Caldá vd., 2020; Dabanlı, 2018).

İklim değişikliği, orman yangınlarının sıklığını ve şiddetini artıran en önemli faktörlerden biri hâline gelmiştir (Türkeş, 2021). Sıcaklık artışı, yağışların azalması ve kuraklık eğilimi, yangın riskini özellikle Akdeniz kuşağında belirgin şekilde yükseltmektedir (Güney vd., 2019). Nitekim son yıllarda Türkiye’nin Akdeniz ekosistemlerinde görülen büyük ölçekli yangınların iklim değişikliğiyle doğrudan bağlantılı olduğu vurgulanmaktadır (Demirbaş, 2021). Bu ekosistemler, yangına uyumlu özellikler gösterse de artan yangın yoğunluğu doğal yenilenme kapasitesini aşarak geri dönüşü zor ekolojik kayıplara yol açmaktadır (Yılmaz & Çiçek, 2018). Dolayısıyla iklim değişikliğinin etkilerini anlamak, yangın yönetimi ve risk azaltma stratejileri geliştirmek açısından kritik öneme sahiptir (Kadioğlu, 2020).

Akdeniz ekosistemlerinde yetişen bitkiler, uzun yıllardır maruz kaldıkları kuraklık ve yangın gibi çevresel stres faktörlerine karşı çeşitli uyum mekanizmaları geliştirmiştir. Bu bitkilerin bazıları su kaybını azaltmak için sert, mumsu yapraklara ve derin kök sistemlerine sahipken, bazı türler yüksek reçine ve yanıcı eterik yağlar üreterek ekosistemin yangın adaptasyonuna katkıda bulunur (Tavşanoğlu ve Gürkan, 2004). Ayrıca, yangın sonrası hızla filizlenme yeteneği gösteren türler, ekosistemin kendini yenilemesine yardımcı olur. Bu uyum mekanizmaları, bitkilerin hayatta kalmasını sağlamanın yanı sıra, ekosistemin sürekliliğini ve biyolojik çeşitliliğin korunmasını desteklemektedir (Tavşanoğlu, 2009). Özellikle çam (*Pinus*), ladin (*Picea*), Gökmar (*Abies*) gibi ibreli yapraklara sahip ağaç türleri, yangın sırasında ortaya çıkan ısı ile etkisiyle kozalaklarını açarlar, bu da tohumların çevreye dağılmasını ve toprağa düşmesini sağlar. Bu durum doğal yenilenme süreçlerinin bir parçası olarak da işlev görebilir (Küçükosmanoğlu, 1990).

Orman yangını hemen sonrasında başlayıp uzun süre devam eden en temel sorun ise zarar gören alanların nasıl restore edileceğidir. Yangın sonrası restorasyon ekolojik, biyolojik ve sosyo ekonomik faktörlerin ve tüm bileşenlerin ele alınıp değerlendirilmesi gereken çok yönlü planlama sürecidir (Sabuncu vd., 2023). Yangın geçirmiş sahalarda alanın kısa zaman içerisinde bitkiler tarafından kaplandığı ve zamanla oluşan bitki örtüsünün yapısal ve floristik özellikleri açısından süksesyona uğradığı gözlenmiştir. Bu oluşum ve değişimlerin analiz edilebilmesi için kapsamlı araştırmaya yapmaya ihtiyaç vardır (Kavgacı & Tavşanoğlu, 2010). Ayrıca yangınlar ekosistemdeki dengeyi etkileyerek yabancı türlerin baskın hale gelmesine ve genetik çeşitliliğin azalmasına neden olabilir (Keeley & Brennan, 2012). Bu bağlamda hem dünyada Akdeniz ekosisteminin hâkim olduğu sahalarda hem de Türkiye’de Akdeniz ekosisteminde hakim olan kızılçam (*Pinus brutia*) ve Halep çamı (*Pinus halepensis*) gibi türlerin yangın sonrası restorasyonları incelenerek çalışmalar yapılmıştır (Calvo vd., 2008; Daskalakou & Thanos, 2004; Tavşanoğlu & Gürkan, 2009; Ürker vd., 2018; Velasco-Pereira & Navarro-Cerrillo, 2025).

Orman yangınları sonrası ekosistemin kendini yenileme sürecinde, doğal gençleşme yöntemleri büyük önem taşımaktadır. Özellikle kızılçam ormanlarında uygulanan dal serme yöntemi, toprak kaybını azaltarak mikro iklim koşullarını iyileştirmekte ve doğal gençleşmeyi teşvik etmektedir (Kemer, 2022; Ürker vd., 2018). Buna karşın, makineli toprak işleme gibi müdahaleler, vejetasyon yapısında

değişimlere yol açarak ekolojik dengeyi olumsuz etkileyebilmektedir (Ürker vd., 2018). Akdeniz ormanlarında, düşük müdahale gerektiren doğal gençleşme ve tohum takviyesi gibi yöntemler hem biyolojik çeşitliliği koruma hem de maliyet açısından daha sürdürülebilir bulunmuştur (Boydak, 2004; Leverkus vd., 2020; Tüfekçioğlu vd., 2022).

2 Ağustos 2021 tarihinde Denizli ili Buldan ilçesi Türlobey Mahallesi yakınlarında çıkan yangın, yaklaşık 1458,5 hektarlık bir alanı etkilemiştir. Yangının ardından bölgenin ekolojik yapısında önemli değişimler yaşanmış, doğal rejenerasyon ve yeniden dikim çalışmaları başlatılmıştır. Bu olay, bölge ölçeğinde yangın sonrası vejetasyon değişimlerinin incelenmesine yönelik önemli bir araştırma alanı sunmaktadır. 2021’de meydana gelen büyük orman yangınları ekolojik, biyolojik, ekonomik ve sosyal etkileri nedeniyle afet niteliğinde olup, afetin olumsuz etkilerinin giderilebilmesi için yanan alanlarda uygun tekniklerle yeniden imarı ve ıslah çalışmalarının yürütülmesi gerekli olmuştur. Bölgenin doğal iklims yapısına uygun gençleştirme, ağaçlandırma ve rehabilitasyon yöntemleri kullanılması bölgede ekolojik dengenin yeniden sağlanması için kritik öneme sahiptir (Özel vd., 2023). Yangın sonrası bölgeye yaklaşımda dikkat edilmesi gereken unsurlar, yanan ağaçların ne kadarının kesilmesi gerektiği, ekosistemin nasıl tepki vereceğinin etüt çalışmalarıyla değerlendirilmesi gereklidir. Ek olarak her ekosistemin yangına tepkisi aynı olmamaktadır. Büyük ölçüde yangın olan bölgenin ekolojik hassasiyeti, yangın şiddeti ve derinliğine bağlıdır. Bu parametreler değerlendirilerek yangından etkilenen alanın çevresel sürdürülebilirliği tehlikeye atılmadan ağaç kesimi yapılmalıdır. Değerlendirme sonrasında ağaç dikimi yapılması planlanan sahaya sonbahar yağışlarından önce alanın bitki heterojenliğine ekolojik unsurlarına dikkat edilerek ağaçlandırma yapılmalıdır (Mauri & Pons, 2019). Özellikle kızılçam (*Pinus brutia*) dikimi yapılacaksa birinci vejetasyon döneminin sonunda sağlanmalıdır aksi taktirde sahaya rekabet eden bitkiler hızlı bir şekilde yerleşmektedir. Türün gençleşme başarısı tepe örtüsü tohum bankasına bağlı olup alanda kozalaklı dalların serilmesi ve tohumlama yapılması başarı oranlarını arttırmaktadır (Boydak, 2004).

Orman yangınları oldukça kompleks bir yapıda olup bütün halinde değerlendirilmelidir. Bölgenin iklim, topografya gibi fiziki coğrafya özellikler ve yangının yerleşmelere ve yollara uzaklığı, mesire alanlarına mesafesi ve bölgede bulunan nüfus gibi birçok faktör yangın rejimini etkilemektedir (Tavşanoğlu, 2017). Yangın rejimi yangının tipi, mevsimselliği, çıkış nedeni, sıklığı, şiddeti ve büyüklüğü gibi birçok unsuru kapsamaktadır. Yeni gelişen bir disiplin olan yangın coğrafyası, bir bölgenin yangın rejimini sadece yerel ekolojik değişimlerle değil küresel parametrelerle de incelemektedir. Özellikle son yıllarda uydu teknolojilerinin gelişmesiyle yangın coğrafyası daha kolay ve kapsamlı incelenmekte, yangın rejimleri ve yangının ortaya çıkış nedenleri irdelenmektedir (Keeley vd., 2012).

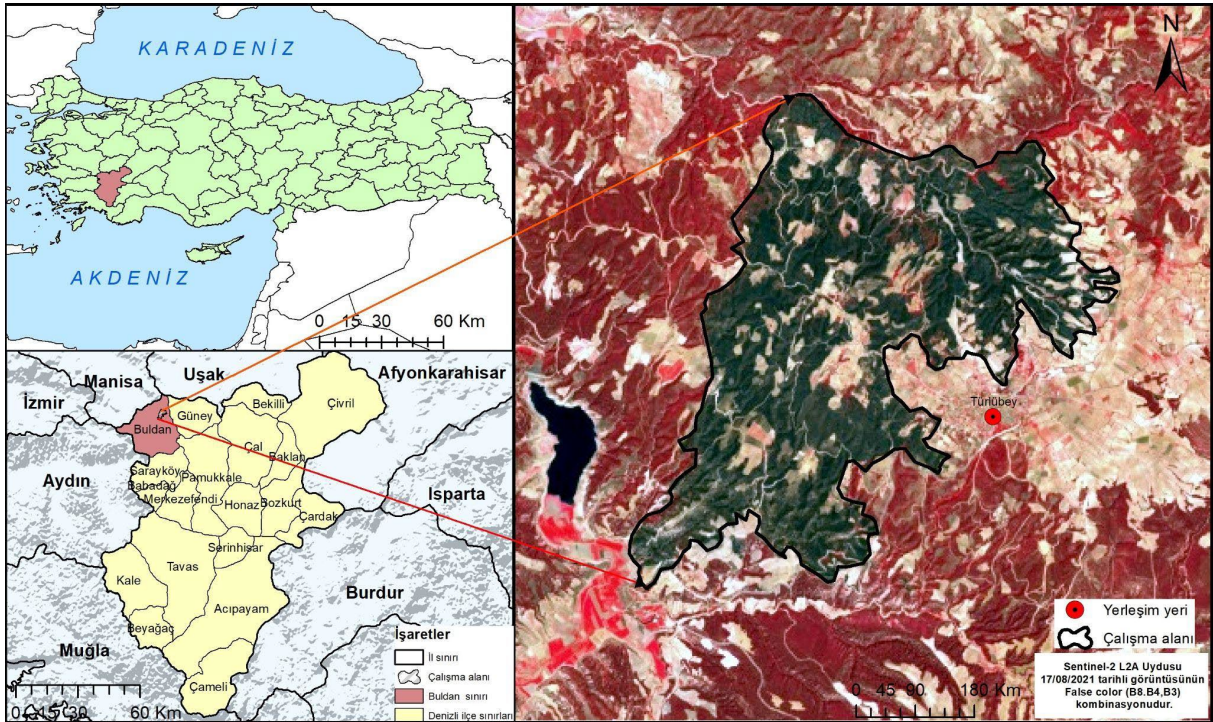
Orman yangının riskinin yüksek düzeyde olduğu Akdeniz ve Ege bölgeleri boyunca (Bilgili & Küçük, 2001) hem yangın öncesi hem de yangın sonrası yeniden verimli hale getirilen orman alanlarının yanıcı madde miktarı gibi gerekli unsurların belirlenebilmesi için uzaktan algılama teknolojilerinin aktif bir şekilde kullanılması gereklidir (Pacheco vd., 2021; Velasco-Pereira & Navarro-Cerrillo, 2025). Günümüzde uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), orman yangınlarının tespiti, şiddetinin belirlenmesi ve ekosistem üzerindeki etkilerinin izlenmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır (Erten vd., 2005; Fox & Stuart, 1994). Spektral indeksler (NDVI, NBR, SAVI, GEMI vb.) yanık alanların belirlenmesinde, doğal yenilenme süreçlerinin değerlendirilmesinde ve yangın sonrası yönetim planlarının geliştirilmesinde etkin birer araçtır (Duman & Garipağaoğlu, 2023; Zha vd., 2003).

Yangınla rejenere olduğu varsayılan Akdeniz ekosistemi ormanları için yangın bir felaket değil ekolojik bir süreçtir (Ürker vd., 2018). Fakat doğal süreçlerle ormanların kendini yenilemesi (otosüksesyon) değişen iklim koşulları ve yönetim hatalarıyla bazen sekteye uğramaktadır (Barton vd., 2023; Kavgacı vd., 2016; Keeley & Brennan, 2012). Geleneksel ormancılık anlayışıyla yapılan “ağaçlandırma” mantığı, bölge ekolojisinden uzak oluşturulan “ağaç tarlaları” ise birçok araştırmacı tarafından eleştirilmiştir (Güngöroğlu vd., 2024; Kemer, 2022). Yangın sonrası alanı iş makineleriyle sürerek doğrudan plantasyon yapmanın biyolojik çeşitliliği azalttığı tespit edilmiştir (Kavgacı vd., 2016; Ürker vd., 2018).

Bu çalışmanın amacı, Buldan yangını sonrasında ekosistem üzerindeki zamansal değişimleri uzaktan algılama yöntemleriyle incelemek ve elde edilen bulguları değerlendirmektir. Yangın öncesi ve sırasında alanı etkileyen iklimsel değişkenler (sıcaklık, yağış), alanın topografyası (yüksekti, eğim, baki şartları) ve bölgenin bitki örtüsü incelenerek yangın rejimi değerlendirilmiştir. Çalışmada Sentinel-2 ve LANDSAT uydu verileri kullanılarak yangın öncesi ve sonrası dönemlere ait indeksler hesaplanmış, elde edilen sonuçlar iklimsel ve topografik faktörlerle birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma alanı Batı Anadolu bölgesinde yer alan Denizli ilinin Buldan İlçesinin Türülbey Mahallesi yakınlarındadır. Saha $38^{\circ}2'42''$ K, $28^{\circ}50'23''$ D koordinatlarında yer almaktadır (Şekil 1). Buldan ilçesinin kuzeyinde Çal ilçesi, doğusunda Çivril ilçesi, batısında Denizli merkez ve güneyinde Acıpayam ilçesi yer almaktadır.

Türülbey Mahallesi civarında 2021 yılı ağustos ayında çıkan yangında yanan olarak sınırlanmıştır. Alan sınırları 2021 17 Ağustos tarihli LANDSAT uydu görüntüsü işlenerek false colour (yapay renkli) kompozisyonu üzerinden çizilmiştir (Şekil 1). Batısında Buldan baraj gölü, doğusunda Türülbey Mahallesi, kuzeyinde Boğaz çiftlik Mahallesi güneyinde ise Alacaoğlu mahallesi bulunmaktadır. Çalışma sınırlarını içerisinde bulunan Buldan ilçesi Denizli merkeze yaklaşık olarak 45 km uzaklığa sahiptir. Türülbey Mahallesi civarındaki bu yangınla sınırlanan alan, coğrafi olarak Ege-Akdeniz geçiş kuşağında yer alması nedeniyle biyolojik çeşitlilik açısından yüksek özgün değere sahiptir. Örneğin Denizli, Ege ve Akdeniz bölgelerinin kesişim noktasında bulunduğundan biyoçeşitlilik açısından Türkiye’de önemli bir yere sahiptir. Sürdürülebilir ve etkili bir yangın yönetimi için sadece yangın riski ve yangın söndürme teknikleri üzerinden olmamalıdır. Değişen iklim ve antropojenik etmenler ışığında bölgenin yangın ekolojisini değerlendirilip yangın sonrası restorasyon planlaması yapılmalıdır. Bu çalışmada hem Buldan Türülbey bölgesinin yangın ekolojisi hem de yangın sonrası vejetasyon değişimleri CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Şekil 1. Çalışma sahasının lokasyon haritası.



2. YÖNTEM

Araştırma sahası, $38^{\circ}02'42''$ K ve $28^{\circ}50'23''$ D koordinatlarında yer alan Denizli'nin Buldan ilçesidir. Çalışma alanı tipik Akdeniz iklimi özellikleri göstermekte olup kızılçam (*Pinus brutia*) ve meşe (*Quercus* spp.) başlıca ağaç türlerini barındırmaktadır. Çalışma sahasının lokasyon haritası, Earth Explorer üzerinden elde edilen DEM verileriyle oluşturulmuş ve ArcGIS 10.8.1 ortamında düzenlenmiştir. Araştırmanın başlangıç aşamasında literatür taraması yapılmış, dünyanın farklı bölgelerinde ve

Türkiye’de orman yangını sonrası gerçekleştirilen çalışmalar incelenerek ekosistem değişimlerine ilişkin bulgular değerlendirilmiştir (Ali, 2020; Gürbüz, 2023; Schroeder vd., 2014). Araziye dair bilgiler Orman Genel Müdürlüğü Denizli Orman Bölge Müdürlüğü yangın raporlarından, iklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün 18299, 18853, 19169 numaralı Buldan istasyonlarından, bitki örtüsüne ait meşcere verileri ise Denizli Orman Bölge Müdürlüğü’nden temin edilerek işlenmiştir.

Uzaktan algılama kapsamında, yangın öncesi ve sonrası dönemlere ait Sentinel-2 ve LANDSAT uydu görüntüleri kullanılmıştır. LANDSAT verileri Earth Explorer üzerinden Landsat-8 Level-2 Surface Reflectance (SR) olarak indirilmiş olup atmosferik düzeltme işlemleri USGS tarafından önceden uygulandığı için çalışmada ek bir atmosferik düzeltme yapılmamıştır. Sentinel-2 verileri ESA tarafından radyometrik ve geometrik düzeltmeleri yapılmış şekilde sağlanmaktadır (Dereli, 2019; Van der Meer vd., 2014). Bu verilerden dört farklı bitki indeksi hesaplanmıştır: NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi / Normalized Difference Vegetation Index) (Meera Gandhi, 2015; Sönmez & Çelik, 2013), NBR (Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti İndeksi / Normalized Burn Ratio) (Kavzoğlu vd., 2021), SAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi / Soil Adjusted Vegetation Index) (Sentinel Hub, 2023) ve GEMI (Küresel Çevresel İzleme İndeksi / Global Environmental Monitoring Index) (Duman ve Garipağaoğlu, 2023). İndeks hesaplamalarında kullanılan bantlar çalışmada açık olarak belirtilmiştir: NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi / Normalized Difference Vegetation Index) için Landsat-8’de NIR (Band 5) ve Red (Band 4), NBR (Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti İndeksi / Normalized Burn Ratio) için NIR (Band 5) ve SWIR1 (Band 6) kullanılmış; Sentinel-2’de ise NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi / Normalized Difference Vegetation Index) için NIR (Band 8) ve Red (Band 4), NBR (Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti İndeksi / Normalized Burn Ratio) için NIR (Band 8) ve SWIR1 (Band 11) tercih edilmiştir. SAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi / Soil Adjusted Vegetation Index) ve GEMI (Küresel Çevresel İzleme İndeksi / Global Environmental Monitoring Index) indekslerinde de yine NIR ve Red bantları kullanılmıştır.

İndeksler, 2020–2022 yıllarına ait 17 Ağustos tarihli uydu görüntüleri üzerinden uygulanmış ve zamansal değişim analiz edilmiştir. Bu tarih yangın olayına en yakın, bulut içermeyen ve çalışma alanını tam kapsayan uygun görüntüler oldukları için seçilmiş olup rastgele belirlenmemiştir. Görüntüler Earth Explorer ve Copernicus portallarındaki kalite bantları (QA_PIXEL, QA60) incelenerek %5’in altında bulut oranına sahip olanlar arasından seçilmiş; ayrıca görsel kontrol ile bulut gölgesi ve atmosferik bozulma açısından değerlendirilmiştir. Sentinel-2, ESA tarafından geliştirilen çok bantlı bir uydu olup arazi örtüsü değişimlerinin tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Dereli, 2019; Van der Meer vd., 2014). LANDSAT ise NASA tarafından yürütülen uzun dönemli gözlemler için önemli bir veri seti sağlamaktadır. NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi / Normalized Difference Vegetation Index), bitki örtüsünün yoğunluğunu ve sağlığını belirlemek amacıyla kullanılan en yaygın uzaktan algılama indeksidir (Özyavuz, 2013). Yöntem, bitkilerin spektral bantlardaki yansıma özelliklerine dayanarak çevresel değişimlerin izlenmesini sağlar (Yan vd., 2025; Zhu vd., 2022). NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi / Normalized Difference Vegetation Index) formülü NIR (Near-Infrared) ve RED (Kırmızı) bantlarının yansıma oranlarını kullanır: $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ (Goward vd., 1991; Kandemir, 2010). Bu değer -1 ile +1 arasında değişmekte olup pozitif değerler sağlıklı bitki örtüsünü, 0’a yakın veya negatif değerler ise çıplak yüzey ya da zayıf bitki örtüsünü ifade eder (Esendal Bozkurt vd., 2018; Gündoğdu, 2018).

Yangın etkilerini ölçmek amacıyla kullanılan NBR (Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti İndeksi / Normalized Burn Ratio), NIR ve SWIR bantlarının karşılaştırılmasıyla hesaplanır (Çallı & Özdemir, 2025; Nacheva, 2025). Sağlıklı bitki örtüsünde NIR değerleri yüksek ve SWIR değerleri düşük iken, yangın sonrası bu ilişki tersine dönmektedir (Sabuncu & Özeren, 2019; Sefercik & Kavzoğlu, 2021). SAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi / Soil Adjusted Vegetation Index), özellikle seyrek ve orta yoğunluktaki bitki örtülerinde, toprak yüzeyinin yansımından kaynaklı hataları azaltmak için geliştirilmiştir (Huete, 1988). Formülde kullanılan L parametresi sayesinde toprak parlaklığı dengelenebilmekte; yoğun bitki örtüsünde $L \approx 0$, seyrek bitki örtüsünde 0.5, çıplak yüzeylerde ise 1

alınmaktadır. Bu özellik, SAVI'nin (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi / Soil Adjusted Vegetation Index) yangın sonrası çıplaklaşan alanların analizi için güvenilir bir araç olmasını sağlamaktadır (Tonbul vd., 2016). GEMI (Küresel Çevresel İzleme İndeksi / Global Environmental Monitoring Index), bitki örtüsünün durumunu değerlendiren doğrusal olmayan bir indekstir. NDVI'ya (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi / Normalized Difference Vegetation Index) benzer şekilde kırmızı ve yakın kızılötesi bantları kullanmakla birlikte, atmosferik etkilerden daha az etkilenmesi ve çıplak toprak yüzeylerinin yansımalarına karşı daha dirençli olması nedeniyle özellikle kurak ve yangın sonrası alanlarda daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır (Badjare, 2024; Grigorov, 2022; Pinty & Verstraete, 1992).

Haritalar ArcGIS 10.8.1 yazılımında işlenmiş ve tüm indeks haritalarında eşit aralıklı sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi / Normalized Difference Vegetation Index) haritalarında düşük indeks değerleri kırmızı ve turuncu tonlarında, orta değerler sarı, yüksek bitki yoğunluğunu temsil eden alanlar ise yeşil tonlarında gösterilmiştir. SAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi / Soil Adjusted Vegetation Index) haritalarında seyrek veya zayıf bitki örtüsünü ifade eden düşük değerler kırmızımsı tonlarda, orta değerler açık sarı-bej tonlarında, yüksek SAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi / Soil Adjusted Vegetation Index) değerleri ise mavi tonlarında sembolize edilmiştir. NBR (Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti İndeksi / Normalized Burn Ratio) haritalarında yangın şiddetinin yüksek olduğu alanlar kırmızı ve koyu kırmızı tonlarıyla, orta yanıklık düzeyine sahip bölgeler turuncu-sarı tonlarla, yangından daha az etkilenmiş veya etkilenmemiş alanlar ise yeşil tonlarla ifade edilmiştir. GEMI (Küresel Çevresel İzleme İndeksi / Global Environmental Monitoring Index) haritalarında ekosistem koşullarındaki bozulmayı temsil eden düşük indeks değerleri kırmızı ve turuncu tonlarında, orta değerler sarı-bej tonlarında, daha iyi ekolojik durumu yansıtan yüksek GEMI (Küresel Çevresel İzleme İndeksi / Global Environmental Monitoring Index) değerleri ise mavi tonlarında gösterilmiştir.

Yangın öncesi ve sonrası dönemler arasındaki bitki örtüsü değişimini nicel olarak ortaya koymak amacıyla NDVI, NBR, SAVI ve GEMI indekslerinin farkları alınarak sırasıyla dNDVI, dNBR, dSAVI ve dGEMI haritaları üretilmiştir. Bu fark indeksleri, 2020–2022 yıllarına ait aynı tarihli (17 Ağustos) uydu görüntülerinden hesaplanmış ve yangının vejetasyon üzerindeki etkilerinin mekânsal dağılımını belirlemede kullanılmıştır. dNDVI ve dSAVI indeksleri bitki örtüsündeki azalma ve toparlanma eğilimlerini, dNBR indeksi yangın şiddetini, dGEMI indeksi ise ekosistem koşullarındaki genel bozulmayı değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir. Tüm fark indeks haritaları ArcGIS 10.8.1 yazılımında eşit aralıklı sınıflandırma yöntemi kullanılarak beş sınıfa ayrılmış ve alan yüzdeleri hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

Bu bölümde, Denizli ili Buldan ilçesinde 2021 yılında meydana gelen orman yangını sonrası vejetasyon değişimlerine ilişkin elde edilen bulgular sunulmaktadır. Çalışma kapsamında bölgenin doğal ve beşerî özellikleri ayrıntılı olarak değerlendirilmiş; jeolojik yapı, topografya, bakı, eğim, iklim, bitki örtüsü ve toprak özelliklerinin yangının etkileri üzerindeki belirleyiciliği ortaya konulmuştur. Ayrıca, Sentinel-2 ve LANDSAT uydu görüntülerinden elde edilen NDVI, NBR, GEMI ve SAVI indeksleri kullanılarak yangın öncesi ve sonrası dönemdeki bitki örtüsü değişimleri zamansal olarak analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, hem yangının ekosistem üzerindeki kısa vadeli tahribatını hem de sonraki yıllarda doğal yenilenme sürecinin işleyişini ortaya koymaktadır.

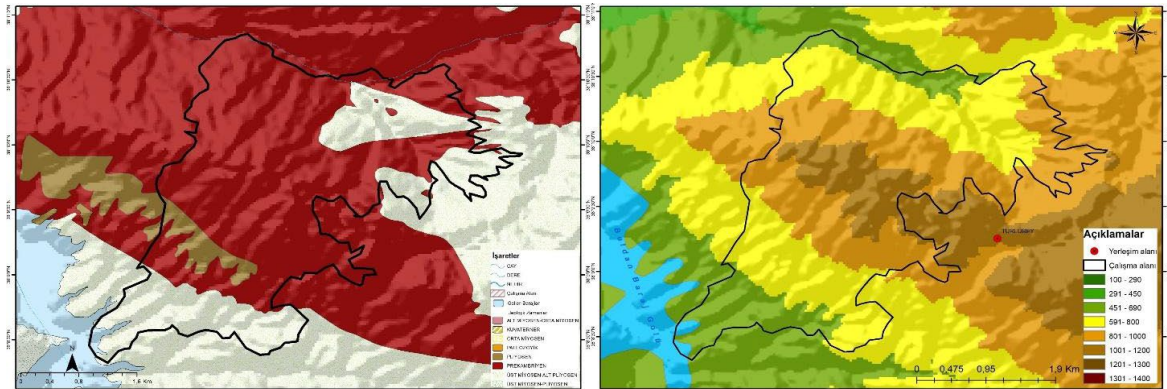
3.1. Çalışma Sahasının Coğrafi Özellikleri

Çalışma alanının jeolojik özellikleri (Şekil 2), orman yangınlarının oluşumu ve yayılmasında belirleyici bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Toprakların nem içeriği, organik madde miktarı ve yapısı yangının ilerleyiş hızını doğrudan etkilemektedir. Kurak ve geçirgen topraklar yangın riskini artırırken, nemli yapılar yangının yayılmasını yavaşlatabilmektedir (Kemer, 2022).

Bölgede Menderes Masifi temel jeolojik yapıyı oluşturmakta, bunun üzerinde Kızılburun, Sazak, Kolonkaya ve Tosunlar formasyonları yer almaktadır. En üst seviyelerde ise alüvyon, alüvyon yelpazesi ve traverten birimleri görülmektedir (Yalçın vd., 2004). Ayrıca pliyosen ve sonrasındaki tektonik

hareketlerle Büyük Menderes ve Gediz grabenleri şekillenmiş, Buldan horstu ve Yenice horstu gibi yükselim alanları meydana gelmiştir (Koçak & Şenol, 2013). Çalışma alanının topografik yapısı, geniş vadiler, sırtlar, platolar ve tepelerle karakterizedir (Şekil 2). Bu çeşitlilik, belirli vadiler ve bu vadileri şekillendiren akarsuların etkileşimiyle oluşur. Buldan Vadisi, ilçenin merkezinden geçen Buldan Çayı tarafından oluşturulmuştur. Bu vadideki eğim ve derinlik, akarsu erozyonunun belirgin izlerini taşır. Yenicekent Ovası, Gediz Nehri'nin taşıdığı alüvyon malzemesi ile oluşmuş geniş bir düzlüktür. Nehir, bu ovaya önemli ölçüde sediment taşımış ve verimli tarım alanları oluşturmuştur. Çolaklar Vadisi, Çolaklar Deresi'nin aşındırma etkisiyle şekillenmiştir. Vadideki eğim ve menderesler akarsu erozyonunun etkilerini gösterir.

Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji ve topografya haritası.

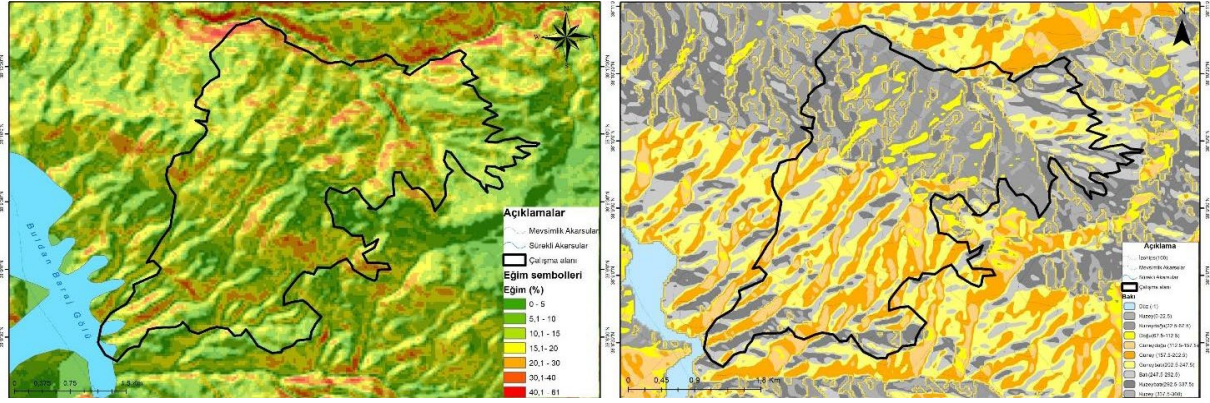


Şekil 2’de görüldüğü üzere yanan alan bölümünün yükseltisi ilçenin güneybatısından da alçak bir alandır fakat Buldan baraj gölüne doğru bir sırt oluşmuştur. Bu da olası yangında yangının ilerleyiş yönünü gösterebilmektedir. Yükselti çalışma alanında 800-1200 m aralığındadır. Topografyadaki yükselti farkları orman yangınlarında yangının ilerleyiş yönü ve hızını belirleyebilmektedir. Eğim bir bölgenin yükseklik farklarına ve topografik özelliklerine bağlı olarak değişir. Yüksek eğimli dağlık bölgelerde, erozyon riski genellikle daha yüksektir. Sert eğimler, yağış sularının hızla akmasına neden olabilir, bu da erozyonu artırabilir. Bitki örtüsü çok eğimli yerlerde köklerin tutunmasına negatif etkide bulunur ve vejetasyon bakımından bölgeyi fakirleştirebilir. Ayrıca yüksek eğimli yerlerde, rüzgâr erozyonunu artırabilir. Rüzgârın dik yamaçlarda taşıdığı toprak parçacıkları, tarım alanlarını ve bitki örtüsünü olumsuz etkileyebilir.

Eğimli bir arazide, yangın genellikle dik yokuş aşağı hızla ilerler. Bu durumda, yangın çoğu zaman eğimin alt tarafına doğru yayılır (Baltacı ve Yıldırım, 2020). Eğimle aşağıya doğru taşıyabilir veya rüzgârla birleşerek yangının yayılma hızını artırabilir Çalışma alanında Şekil 3'te görüldüğü üzere ilçenin eğimi güneybatı tarafında %30,1-%61'dir. Bu da o alanın eğiminin fazla olduğunu yani dik yamaçların olduğunu göstermektedir.

Genel olarak bölge eğim yönünden %5 ile %20 arasında bir eğime sahiptir. Çalışma sahası olan yanan alan eğim bakımından %5 ve %15 arasındadır (Şekil 3). Bölgede 1000-1200 m arasında eğim aratmaktadır. Bakı, bir noktanın, bir yüzeyin veya bir eğimli arazinin, genellikle derece veya açı cinsinden belirtilen eğim yönüdür. Bakı, bir yamacın hangi yönde eğimli olduğunu ifade eder. Harita 3'te bölgenin çoğunlukta olarak gri renkte gösterilmiş olan kuzey yamaçlara hâkim olduğu görülmektedir. Güneye bakan yamaçlar turuncumsu renkle gösterilmiştir. Güneye bakan yamaçlar kuzeye bakan yamaçlardan hem sonra bölgeye hâkim yamaç yönüdür. Çalışma alanında kuzey ve güney yönlü bakılar hakimdir. Güney bakılar yangın riskini artırıcı etki göstermektedir.

Şekil 3. çalışma alanının eğim ve baki haritası.



Buldan İlçesi'nin iklim özellikleri, genel olarak Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Ilıman yazlar ve yağışlı kışlarla karakterizedir. Bölgede yazlar genellikle sıcak ve kuru geçerken, kış aylarında ılıman ve yağışlı bir hava hâkimdir. İlçenin konumu nedeniyle kara iklimi etkisi daha belirgindir. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri genellikle 15-20°C arasında değişir. En yüksek sıcaklıklar yaz aylarında, özellikle temmuz ve ağustos aylarında görülür. Kış aylarında ise ortalama sıcaklıklar daha düşük olup, don olayları nadiren yaşanır. Yağışlar genellikle kış aylarında yoğunlaşır, yaz aylarında ise azalır. Toplam yıllık yağış miktarı, genellikle 500-800 mm aralığında değişmektedir. Buldan meteoroloji istasyonunun verileri incelenmiştir. İstasyonun ölçümlerine göre, yıllık ortalama sıcaklık değeri 14,7 °C olarak belirlenmiştir. Aylık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde, çalışma alanında belirgin bir mevsimsel sıcaklık değişimi olduğu görülmektedir. En düşük aylık ortalama sıcaklık ocak ayında 4,4 °C olarak kaydedilirken, en yüksek aylık ortalama sıcaklık ağustos ayında 26,6 °C'ye ulaşmaktadır. Günlük ekstrem sıcaklıklar değerlendirildiğinde ise kış aylarında sıcaklığın -9,7 °C'ye kadar düştüğü, yaz aylarında ise 39,8 °C'ye kadar yükseldiği belirlenmiştir (MGM, 2024). Bu durum, çalışma alanında yaz aylarında yüksek sıcaklık stresinin hâkim olduğunu, kış aylarında ise don olaylarının etkili olabildiğini göstermektedir. Özellikle yaz dönemindeki yüksek sıcaklık değerleri, bitki örtüsünün su stresi altında kalmasına ve yangın riskinin artmasına zemin hazırlayan önemli bir iklimsel unsur olarak öne çıkmaktadır.

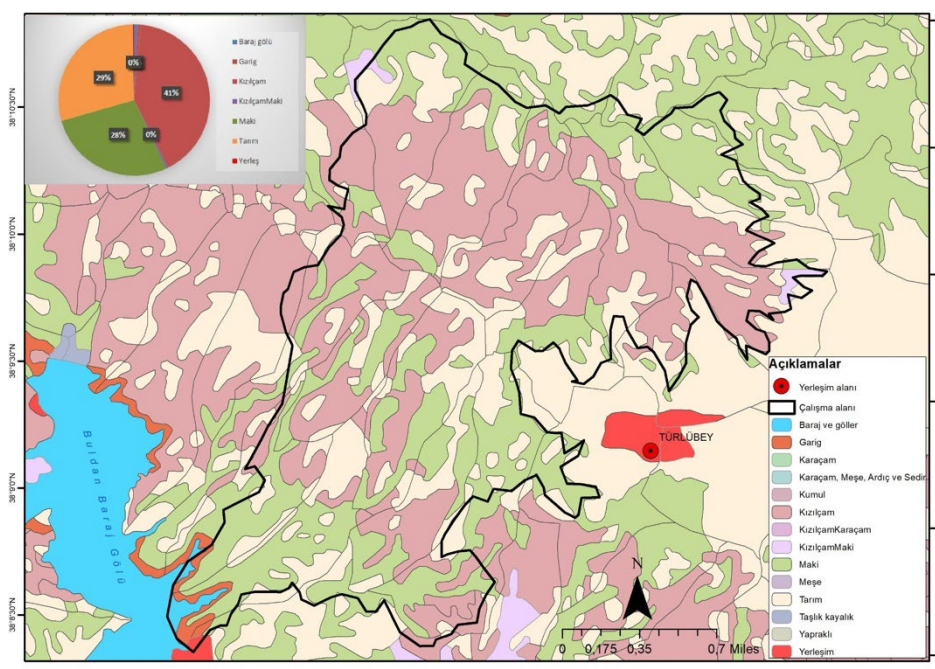
Çalışma alanında hazırlanan bitki örtüsü haritası (Şekil 4) ve buna ait alan dağılım grafiği, bitki örtüsü ve arazi kullanım sınıflarının oransal dağılımını göstermektedir. Grafik sonuçlarına göre çalışma alanında en geniş alanı kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanları oluşturmaktadır. Kızılçam ormanları toplam alanın %41'ini kaplamaktadır. Maki formasyonu, çalışma alanının %28'ini oluşturmakta olup ikinci en yaygın doğal bitki örtüsü sınıfı olarak belirlenmiştir. Maki toplulukları Akdeniz iklim kuşağına özgü herdem yeşil çalı ve ağaçlık türlerinden oluşmaktadır. Tarım alanları toplam alanın %29'unu oluşturmaktadır. Bu alanlar, doğal bitki örtüsü sınıfları dışında kalan başlıca arazi kullanım tipini temsil etmektedir. Garig (*garigue*) formasyonu, kızılçam–maki geçiş alanları, yerleşim alanları ile baraj ve göl yüzeyleri grafik üzerinde %0 oranında temsil edilmektedir. Bu durum, söz konusu sınıfların çalışma alanı içerisinde çok sınırlı alanlara sahip olduğunu göstermektedir. Çalışma alanında kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları ve maki formasyonlarının baskın doğal bitki örtüsü sınıfları olduğunu, buna karşın tarım alanlarının da alan kullanımında önemli bir paya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bölgenin toprak yapısı da yangınların yayılışında belirleyici bir faktördür. Buldan ilçesinde kireçli, kumlu, killi, tınlı, marnlı, humuslu ve alüvyal toprak tipleri görülmektedir. Bu toprakların su tutma kapasitesi, yangının ilerleyiş hızını doğrudan etkilemektedir. İnce yapılı topraklar genellikle kayma riskini azaltırken, geçirgen kireçli ve kumlu yapılar yangının daha hızlı ilerlemesine olanak tanımaktadır (Fernández-García vd., 2021). Orman yangınları, toprak yapısında hem fiziksel hem de kimyasal değişimlere yol açmaktadır. Yangın sırasında açığa çıkan yüksek sıcaklık, toprak yüzeyindeki organik maddenin azalmasına neden olmakta ve bu durum toprağın gözenekliliğini ve su tutma kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Yangın sonrası yüzeyde biriken kül tabakası kısa vadede toprak pH'sini ve bazı besin elementlerinin erişilebilirliğini artırabilse de özellikle yüksek şiddetli yangınlarda azot gibi uçucu

besin elementlerinde belirgin kayıplar gözlenmektedir (Agbeshie vd., 2022). Ayrıca, aşırı ısı etkisi topraktaki mikroorganizma faaliyetlerini baskılayarak biyolojik aktivitenin azalmasına neden olmaktadır (Chicco vd., 2023). Bu süreçler, yangın sonrası dönemde bitki örtüsünün yeniden gelişimini doğrudan etkileyen temel faktörler arasında yer almaktadır.

Araştırma alanında hazırlanan jeoloji haritası, yangın sonrası toprak tepkilerinin mekânsal farklılıklar göstermesinde litolojik birimlerin ve ana materyalin belirleyici olabileceğine işaret etmektedir. Özellikle Kara dere yatağı çevresinde çakıllı örtüler yaygın olup, tarım faaliyetlerini sınırlamaktadır. Buna karşın killi alanlarda meyve ağaçları yetiştirilebilirken, alüvyal topraklar verimlilik açısından öne çıkarak tarımsal üretimde önemli bir yer tutmaktadır. Buldan ilçesi tarih boyunca farklı beylik ve devletlerin egemenliği altında kalmış, günümüzde 45 mahalleye sahip bir yerleşimdir. 2023 TÜİK verilerine göre nüfus 26.630 kişidir. İlçenin ekonomisi geleneksel dokumacılık faaliyetleri ve tarıma dayanmaktadır. Pamuklu ve ipekli tekstil ürünleri ile üzüm, buğday, arpa, zeytin gibi tarım ürünleri öne çıkmaktadır (Özdemir, 2011; Tekin vd. 2021).

Şekil 4. Çalışma alanının bitki örtüsü haritası.



3.2. Bölgenin Yangın Klimatolojisi

Orman yangınları, iklimsel faktörlerin doğrudan etkisi altında gelişmektedir. Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr ve yağış rejimi yangınların oluşumunu, ilerleyişini ve şiddetini belirleyen başlıca unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Chandler vd., 1991; Smith, 2018). Türkiye'nin Akdeniz iklim kuşağı içerisinde yer alması, özellikle yaz aylarında yüksek sıcaklık ve düşük nem koşulları ile birleşerek yangın riskini artırmaktadır (Özdemir & Demir, 2022). Çalışma alanı olan Buldan ilçesi de bu iklimsel özellikler nedeniyle yangın açısından yüksek riskli alanlar arasında yer almaktadır. Sıcaklık, yangının başlaması ve ilerlemesinde en kritik iklim parametresidir. Yanıcı maddelerin tutuşa bilirlik özellikleri, ortam sıcaklığındaki artışa bağlı olarak kolaylaşmaktadır (Schroeder & Buck, 1970). Literatüre göre bitkisel materyallerin tutuşma sıcaklığı 250-300 °C aralığındadır (Küçük ve Bilgili, 2006). Yüksek sıcaklık koşullarında yanıcı maddelerin nem içeriği azalmakta, böylece tutuşma eşiği düşmektedir (Verbesselt vd., 2002). Buldan istasyon verilerine göre (Tablo 1), yangının gerçekleştiği 2 Ağustos 2021 tarihinde maksimum sıcaklık 39,5 °C, 3 Ağustos tarihinde ise 41,4 °C'ye kadar yükselmiştir. Bu değerler, yaz aylarının yangın riskini artırıcı rolünü açıkça ortaya koymaktadır.

Yağış, orman yangınlarının başlamasını ve yayılmasını sınırlayan temel meteorolojik unsurlardan biridir. Ancak Buldan yangınının meydana geldiği ağustos ayı, yılın en kurak dönemine denk geldiğinden yağış miktarı neredeyse sıfır seviyesindedir. Bu uzun süreli kurak koşullar, vejetasyonun nem içeriğini

azaltarak yanıcı madde miktarını artırmış ve yangının kısa sürede geniş alanlara yayılmasına uygun bir ortam oluşturmuştur. Bu nedenle, çalışma sahasında yağışsız geçen dönem yangının ilerleyişini sınırlandırıcı bir etki göstermemiştir.

Bağıl nem de yangın davranışını doğrudan etkileyen bir diğer meteorolojik parametredir. Yaz boyunca yüksek sıcaklıklarla birlikte bağıl nem değerlerinin düşmesi, özellikle ince yakıtların hızla kurumasına ve tutuşabilirliğin artmasına yol açmıştır. Yangının gerçekleştiği dönemdeki bu sıcak ve düşük nem koşulları, yangının başlaması ve gelişmesinde belirleyici meteorolojik faktörler olarak öne çıkmaktadır.

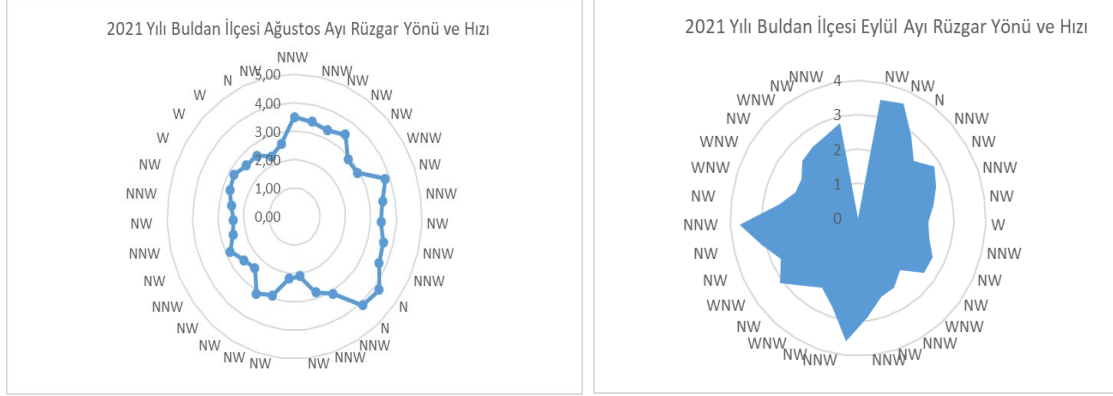
Tablo 1. Buldan ilçesi 2021 günlük maksimum sıcaklık tablosu.

GÜN	Buldan/18299		Buldan/Karaköy Köyü /18853		Buldan Karaköy /19169	
	Ağustos	Eylül	Ağustos	Eylül	Eylül	Ağustos
1	38.5	33.7	34.8	29.0	36.4	30.2
2	39.3	30.3	36.0	25.5	37.3	27.2
3	41.4	30.4	36.6	27.2	38.5	28.0
4	40.4	30.9	35.1	27.1	36.9	27.2
5	39.9	30.2	35.2	25.7	36.8	25.9
6	37.2	32.4	35.1	28.2	36.4	28.9
7	33.4	32.4	28.3	28.1	30.4	28.5
8	33.1	32.5	30.0	30.7	30.5	30.1
9	34.7	31.4	29.5	26.3	31.7	26.6
10	36.1	27.7	31.5	23.6	33.4	24.3
11	35.4	28.6	31.3	23.8	33.0	25.3
12	33.1	30.7	29.8	26.8	30.9	27.8
13	33.3	30.8	30.6	25.8	32.3	26.6
14	33.3	26.0	29.4	22.1	30.4	22.1
15	33.9	24.9	29.5	19.1	31.0	21.2
16	36.3	26.0	31.4	22.2	33.0	24.0
17	37.7	29.2	33.6	24.7	34.1	26.5
18	36.1	33.8	31.2	29.6	32.1	31.1
19	35.3	31.9	30.0	28.5	31.7	30.1
20	34.4	35.1	30.7	31.5	30.8	32.9
21	36.7	32.3	31.5	28.6	31.4	30.4
22	33.3	26.8	28.7	22.0	29.1	23.8
23	36.3	20.8	30.8	16.8	31.1	19.5
24	37.1	22.3	33.0	18.9	33.6	20.0
25	36.1	27.3	32.2	23.3	33.0	24.4
26	36.1	30.4	32.7	26.6	33.0	27.3
27	37.5	30.7	34.8	25.4	36.4	27.0
28	37.6	29.3	32.9	24.2	34.3	24.6
29	36.0	26.6	32.8	20.9	33.4	22.0
30	34.2	24.9	30.2	22.1	30.7	22.5
31	34.7		30.4		31.2	

Buldan meteoroloji istasyonunun 2021 ağustos verilerine göre (Tablo 1) yangın günü nispi nem %8 ile en düşük seviyesine inmiştir. Bu durum, yangının kısa sürede geniş bir alana yayılmasına neden olmuştur. Yangın sonrası Eylül ayında ise nem değerleri %20'nin üzerine çıkarak yangın riskini düşürmüştür. Literatürde de belirtildiği üzere, düşük nem koşulları yangınların hızla ilerlemesine yol açan kritik parametrelerden biridir (Küçük & Bilgili, 2006). Rüzgâr, yangının yönünü ve ilerleme hızını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Yangın esnasında rüzgârın kuzeybatıdan 3,4 m/s hızla estiği tespit edilmiştir. Bu hız, yangının çok hızlı yayılması için yeterli olmamakla birlikte, yüksek sıcaklık ve düşük nem koşulları ile birleşerek yangının kontrol altına alınmasını zorlaştırmıştır. Literatüre göre rüzgâr hızındaki artış yangının ilerleme hızını doğrusal olarak artırmakta ve taşıdığı kıvılcımlar aracılığıyla yangının sıçramasına neden olmaktadır (Çanakçıoğlu, 1993; Küçük & Sağlam, 2004).

Şekil 5'e bakıldığında yangının yayılmasında en önemli faktör olan rüzgârın yangının olduğu ayda ve yangın zamanında esme yönü ve hızı verilmiştir. Bu bağlamda çalışma alanının konumu göz önüne alındığında ve hızın oranı ele alındığında, kuzeybatıdan rüzgâr esmektedir. Lakin hız olarak 3,4 m/s olduğu bu hız hafif melteme denk düşmekte ve orman yangınının hızla yayılması için çok düşük bir hızdır. Yangın sonrası aydaki rüzgârgölü (Şekil 5) grafiğinde ağustos ayı ile eş değer hızdadır. Yangın durumunda yangını arttırma özelliği azdır.

Şekil 5. Çalışma alanının sırasıyla 2021 ağustos ayı rüzgâr yönü ve hızı ile 2021 eylül ayı rüzgâr yönü ve hızı grafiği.



Kaynak: MGM, 2024

3.3. Bölgenin Yangın Sonrası Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Değerlendirilmesi

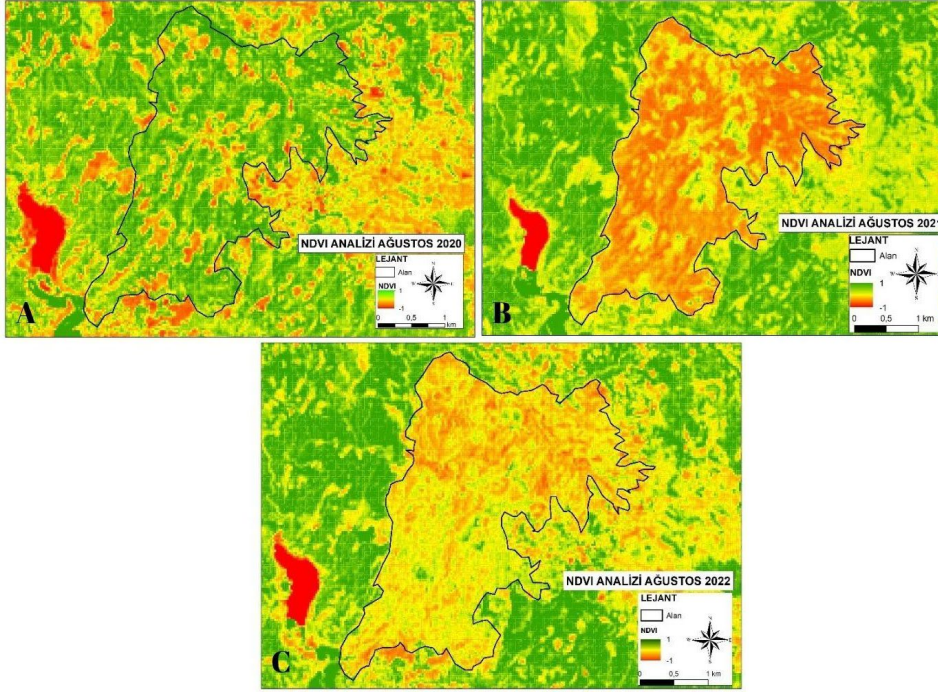
Analizlerde Avrupa Uzay Ajansında elde edilen Landsat-8 ve Sentinel-2A uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel-2 ve LANDSAT uydusuna ait 2021-2022-2023 yılları içerisinde 10 Ağustos ve 17 Ağustos tarihlerine ait veri setleri kullanılmıştır. Çalışma alanı 17 Ağustos 2021 tarihli uydu görüntüsü esas alınarak oluşturulan yanan alanlar olarak sınırlandırılmıştır. NDVI, NBR, SAVI ve GEMI uzaktan algılama yöntemleri kullanılmıştır. Daha sonra analizi tamamlanmış uydu görüntüleri arasındaki fark hesaplanarak yüzdelik değişim olarak gösterilmiştir. Çalışmanın temelini uzaktan algılama yöntemiyle elde edilen uydu görüntüleri oluştursa da bölgeye arazi çalışması yapılmış, yangını yaşayan bölge halkından bilgi alınmıştır. Tüm bu çalışmalar ışığında bölgenin orman yangını sonrası değişimleri değerlendirilmiştir.

3.3.1. Çalışma alanına ait NDVI analizleri

Çalışma alanına ait NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) analizleri 2020 (yangın öncesi), 2021 (yangın sonrası) ve 2022 (yangın sonrası bir yıl) dönemleri için gerçekleştirilmiştir. 2020 yılı NDVI haritasında (Şekil 6A), özellikle kuzey ve batı kesimlerde 0.5–1.0 aralığında değişen değerler sağlıklı ve yoğun bitki örtüsünü göstermektedir (Tucker, 1979). Sağlıklı bitki örtüsünü temsil eden yeşil tonların baskın olması, alanın yangın öncesinde tahribe uğramadığını ortaya koymaktadır.

Su yüzeyleri ve bitkisiz alanlar ise -1 değerlerini yansıtan kırmızı tonlarla tanımlanmıştır. 2021 yılı haritası (Şekil 6B), yangının etkilerini açıkça ortaya koymaktadır. Bu dönemde NDVI değerleri önemli ölçüde düşmüş, merkezi ve doğu bölgelerde sarı-turuncu tonların yoğunlaştığı görülmüştür. Önceki yıl +1 değerlerinde yeşil alanlarla temsil edilen sağlıklı orman dokusu, 2021'de -1 değerlerine yaklaşan alanlarla yer değiştirmiştir. 2022 yılına gelindiğinde (Şekil 6C), yangın sonrası toparlanma süreci başlamış, bazı bölgelerde NDVI değerleri 0'a ve kısmen pozitif değerlere doğru yükselmiştir. Kırmızı tonların azalması ve turuncuya doğru kayması, bitki örtüsünde yeniden büyümenin başladığını göstermektedir. Genel olarak 2020 yılında yüksek olan NDVI değerleri 2021'de yangınla ciddi düşüş göstermiş, 2022'de ise kısmi bir iyileşme süreci gözlenmiştir.

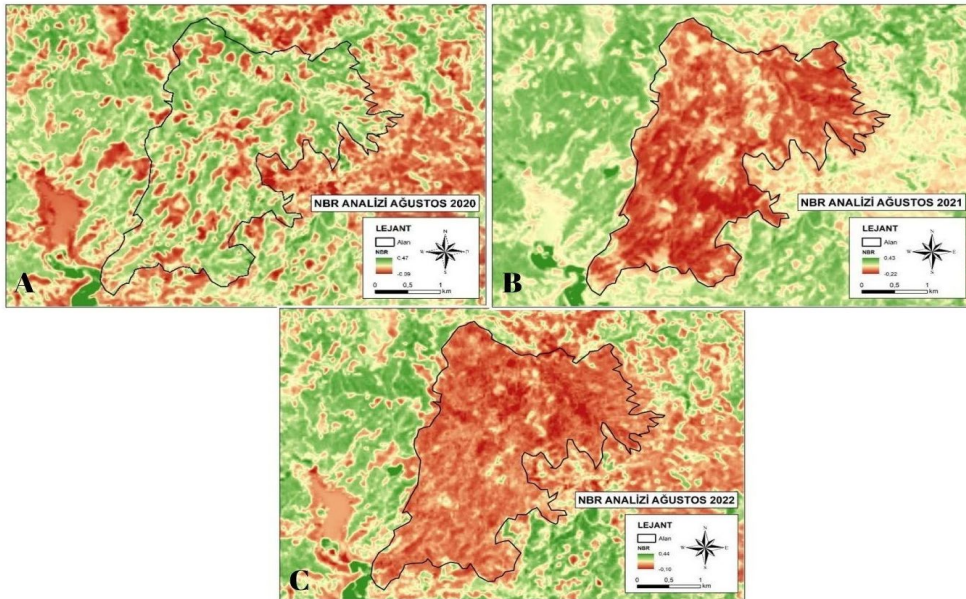
Şekil 6. Çalışma alanının A) yangın öncesi 2020 NDVI analizi B) yangından hemen sonrası 2021 NDVI analizi C) yangın sonrası 2022 NDVI analizi.



3.3.2. Çalışma alanına ait NBR analizleri

2020 yılı NBR haritası (Şekil 7A), 0.5–1.0 değerleriyle sağlıklı ve yoğun bitki örtüsünü göstermektedir (Key ve Benson, 2006). Özellikle kuzey ve batı bölgelerde yeşil tonların baskınlığı dikkat çekmektedir. 2021 yılına ait yangın sonrası haritada (Şekil 7B), NBR değerleri 0.2 ile 0.5 aralığına düşmüş, kırmızı tonların yoğunlaşması yangının şiddetli tahribatını göstermiştir (Morgan vd., 2014). Ancak orta kesimlerde düşük değerler korunmuş, ekosistemin tam iyileşme sürecine girmediği belirlenmiştir. NBR analizleri, yangın sonrası ekosistem bozulmasının şiddetini ve iyileşmenin zamana yayıldığını göstermektedir.

Şekil 7. Çalışma alanının A) yangın öncesi 2020 NBR analizi B) yangından hemen sonrası 2021 NBR analizi C) yangın sonrası 2022 NBR analizi.

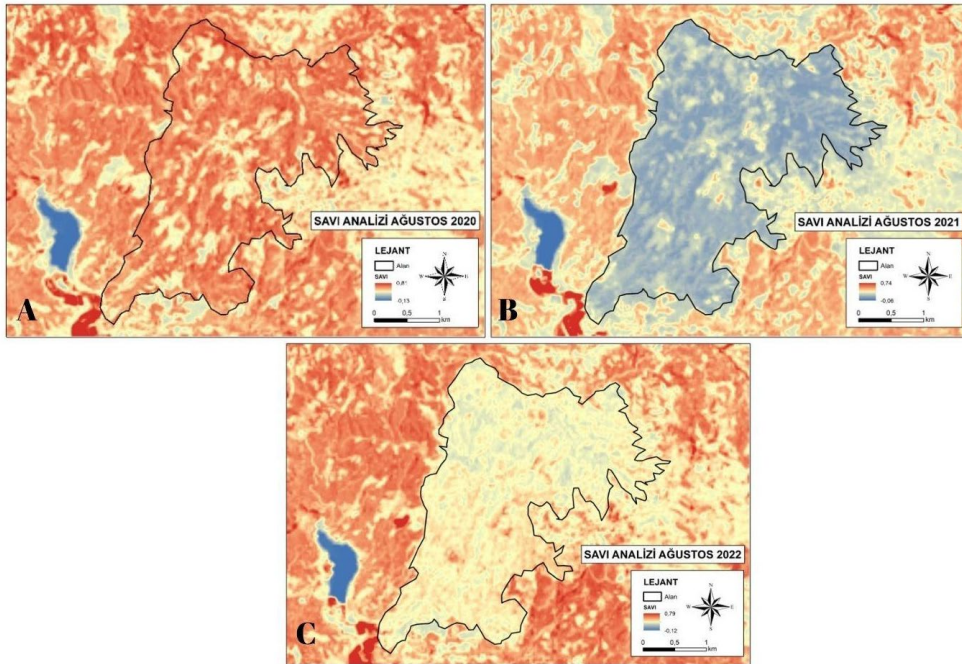


2022 yılı haritası (Şekil 7C), yangından sonraki bir yıllık toparlanmayı ortaya koymaktadır. Kuzey ve batı kesimlerde NBR değerleri 0.1–0.3 aralığında yükselmiştir. Genel olarak, 2020 yılında yüksek olan NBR değerleri, 2021 yılında meydana gelen orman yangını sonrası belirgin bir düşüş göstermiş ve ekosistem üzerinde önemli tahribat yaratmıştır. 2022 yılı itibarıyla bazı bölgelerde iyileşme süreci başlamış olsa da yangının etkileri halen belirgindir ve bazı alanlarda bitki örtüsünün toparlanması için zaman gerekmektedir. NBR analizleri, özellikle yangın sonrası zarar gören alanların belirlenmesi ve ekosistem iyileştirilmesi için uygun yöntemler açısından önem arz eder.

3.3.3. Çalışma alanına ait SAVI analizleri

2020 yılına ait SAVI haritası (Şekil 8A) incelendiğinde, kırmızı tonların baskınlığı dikkat çekmektedir. Bu durum, çalışma alanında yangın öncesinde sağlıklı ve yoğun bir bitki örtüsünün mevcut olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle kuzey ve batı bölgelerinde yüksek SAVI değerleri, toprağın bitki örtüsü ile büyük ölçüde kaplı olduğunu göstermektedir. 2021 yılı yangın sonrası haritasında (Şekil 8B), mavi tonların belirginleştiği ve SAVI değerlerinin önemli ölçüde düştüğü görülmektedir. Bu durum, yangın sonucunda bitki örtüsünün tahrip olduğunu, toprak yüzeyinin çıplaklaştığını ve ekosistemin ciddi bir bozulmaya uğradığını göstermektedir. Yangının etkisiyle toprak yüzeyinde organik madde kaybı meydana gelmiş, bitki kökleri zarar görmüş ve çıplak toprak alanları artmıştır. Bu sonuç, literatürde de belirtildiği üzere orman yangınlarının yalnızca bitki örtüsünü değil aynı zamanda toprak özelliklerini de olumsuz etkilediğini göstermektedir (Fidanboy vd., 2022).

Şekil 8. Çalışma alanının A) yangın öncesi 2020 SAVI analizi B) yangından hemen sonrası 2021 SAVI analizi C) yangın sonrası 2022 SAVI analizi.



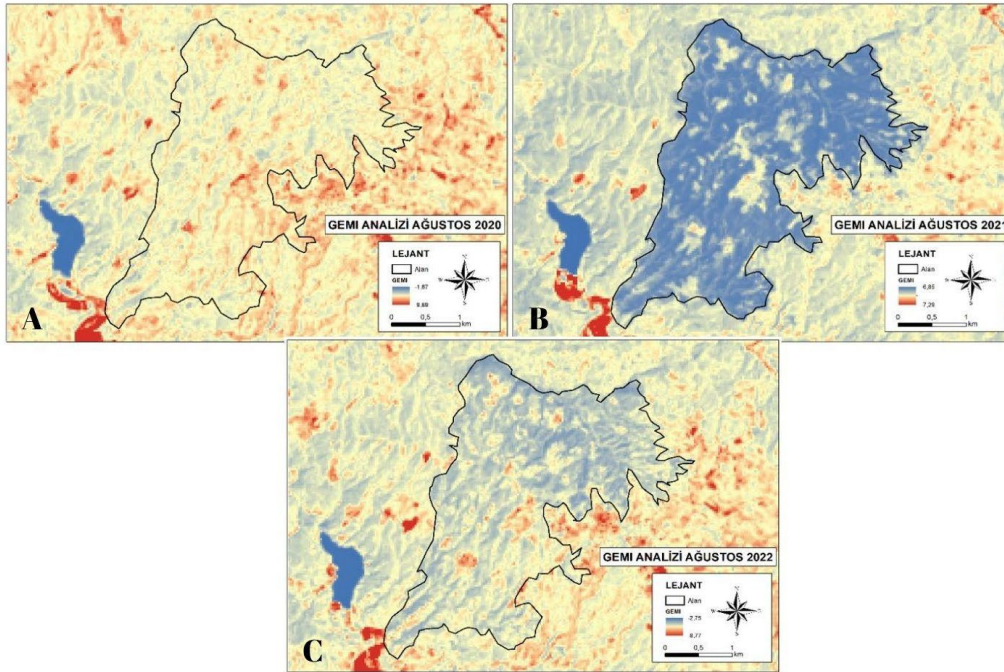
2022 yılına gelindiğinde (Şekil 8C), sarı tonların öne çıkmasıyla birlikte SAVI değerlerinde kısmi bir iyileşme gözlemlenmiştir. Bu durum, yangından sonraki bir yıl içinde bitki örtüsünün yeniden büyüme sürecine girdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle maki ve otsu türlerin hızlı adaptasyonu sayesinde, 2021’de çıplaklaşan alanlarda kısmen yeniden yeşillenme başlamıştır. Ancak, değerler 2020 yılı seviyelerine ulaşmamıştır. Bu sonuç, yangın sonrası ekosistem restorasyonunun zaman alan bir süreç olduğunu göstermektedir (Zha vd., 2003). Genel olarak SAVI analizleri, 2020 yılında yoğun ve sağlıklı bitki örtüsünü, 2021’de yangının şiddetli tahribatını ve 2022’de kısmi bir iyileşme eğilimini ortaya koymaktadır. Bu durum, SAVI indeksinin özellikle yangın sonrası toprak ve bitki etkileşimlerini değerlendirmede önemli bir araç olduğunu göstermektedir.

3.3.4. Çalışma alanına ait GEMI analizleri

2020 yılına ait GEMI haritası (Şekil 9A), sarı ve açık mavi tonların baskın olmasıyla çalışma alanında sağlıklı ve yoğun bir bitki örtüsünün varlığını göstermektedir. Bu dönemde GEMI değerleri orta ve yüksek seviyelerdedir, bu da orman ekosisteminin yangın öncesinde dengeli ve sağlıklı olduğunu işaret etmektedir. 2021 yılına ait harita (Şekil 9B), yangın sonrası ekosistemde meydana gelen ciddi bozulmayı ortaya koymaktadır. Haritanın büyük kısmı mavi tonlarla temsil edilmekte olup, bu durum GEMI değerlerinde belirgin bir düşüşe işaret etmektedir. Yangının etkisiyle çalışma alanında vejetasyon büyük ölçüde yok olmuş, toprak yüzeyleri açığa çıkmış ve kurak koşulların hâkim olduğu alanlar artmıştır. Bu sonuç, yangınların sadece bitki örtüsünü değil aynı zamanda toprak yüzeyi ve iklimi de etkilediğini göstermektedir. 2022 yılına ait GEMI haritası (Şekil 9C), yangın sonrası toparlanma sürecinin başladığını ortaya koymaktadır. Sarı ve kahverengi tonların yeniden görülmeye başlanması, bitki örtüsünün bir yıl içerisinde kısmen iyileştiğini göstermektedir. Ancak, 2020 yılı seviyelerine ulaşamamış olması, yangın sonrası ekolojik restorasyonun zamana yayılan bir süreç olduğunu kanıtlamaktadır. Literatürde de belirtildiği üzere, GEMI'nin bu tür ekolojik değişimlerin izlenmesinde NDVI'ya göre daha güvenilir sonuçlar sunduğu ifade edilmektedir (Gitelson vd., 1996).

Genel olarak GEMI analizleri, 2021'deki ani düşüşün yangının ekosistem üzerinde yarattığı ağır tahribatı gösterdiğini, 2022'de ise sınırlı bir iyileşme eğiliminin başladığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, GEMI indeksinin yangın sonrası ekosistem dinamiklerini ve vejetasyonun yeniden büyüme süreçlerini değerlendirmede etkin bir araç olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

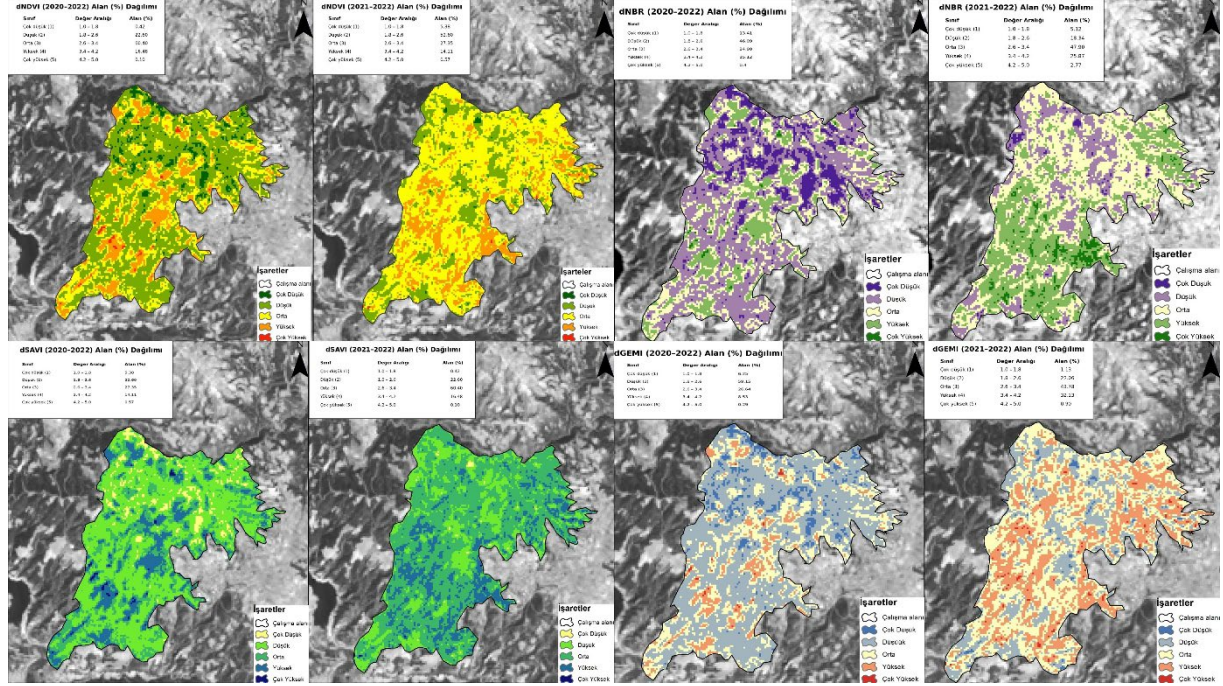
Şekil 9. Çalışma alanının A) yangın öncesi 2020 GEMI analizi B) yangından hemen sonrası 2021 GEMI analizi C) yangın sonrası 2022 GEMI analizi.



Bölgenin yangın öncesi ve sonrası uydu görüntüleriyle değişimleri daha iyi değerlendirebilmek için görüntüler arasındaki farkların tespit edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, dNDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi – Normalized Difference Vegetation Index), dNBR (Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti İndeksi – Normalized Burn Ratio), dSAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi – Soil Adjusted Vegetation Index) ve dGEMI (Küresel Çevresel İzleme İndeksi – Global Environmental Monitoring Index) fark haritaları, 2020–2022 ve 2021–2022 dönemleri için ayrı ayrı üretilmiş ve tek bir bileşik harita üzerinde birlikte değerlendirilmiştir. İlgili indekslere ait alan istatistikleri, harita köşelerine yerleştirilen tablolar aracılığıyla sunulurken elde edilen mekânsal bulgular nicel verilerle desteklenmiştir.

2020–2022 dönemine ait fark analizleri, yangın öncesi koşullar ile yangın sonrası durum arasındaki uzun vadeli değişimi ortaya koymaktadır. Bu karşılaştırmada, dNDVI ve dSAVI sonuçlarının daha geniş bir değer aralığına yayıldığı ve bazı alanlarda pozitif değişimlerin daha belirgin hâle geldiği görülmektedir. Buna karşılık, dNBR fark sonuçlarında orta ve yüksek sınıfların geniş alanlar kaplaması, yangının bitki örtüsü üzerindeki tahrip edici etkisinin uzun vadede de izlenebildiğini göstermektedir. dGEMI analizleri ise uzun dönemli karşılaştırmada ekosistem sağlığındaki değişimin mekânsal olarak heterojen bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Şekil 10. Çalışma alanının 2020-2021-2022 yılları dNDVI, dNBR, dSAVI, dGEMI haritaları.



2021–2022 dönemine ait fark analizleri, yangın sonrası kısa vadeli değişimleri yansıtmaktadır. dNDVI ve dSAVI sonuçları, çalışma alanının büyük bölümünde orta düzeyde pozitif değişimlerin baskın olduğunu göstermektedir. Çok yüksek pozitif değişim sınıflarının sınırlı alanlarda görülmesi ya da bazı indekslerde gözlenmemesi, bitki örtüsünde ani bir toparlanmadan ziyade kademeli bir iyileşme sürecinin etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı döneme ait dNBR sonuçları, yangın etkisinin hâlen belirgin olduğunu ve özellikle orta ile yüksek sınıfların alan payının görece yüksek olduğunu göstermektedir. dGEMI fark analizleri ise ekosistem sağlığındaki değişimin çalışma alanı genelinde daha dengeli bir mekânsal dağılım sergilediğine işaret etmektedir. Kısa ve uzun dönem karşılaştırmaları birlikte değerlendirildiğinde, yangın sonrası ilk yıllarda bitki örtüsünde sınırlı ve kademeli bir toparlanma eğiliminin başladığı, ancak yangının ekosistem üzerindeki etkilerinin özellikle 2020–2022 döneminde daha belirgin biçimde izlenebildiği anlaşılmaktadır. Bu durum, yangın sonrası ekosistem iyileşme sürecinin zamana bağlı olarak farklı hızlarda gerçekleştiğini ve mekânsal açıdan homojen bir yapı sergilemediğini göstermektedir (Şekil 10).

Denizli'nin Buldan ilçesinde 2021 yılında meydana gelen orman yangını sonrası vejetasyon değişimlerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen arazi çalışmasının detayları verilmiştir. 2021 yılında Denizli ili Buldan ilçesi Türübey mahallesi sınırlarında meydana gelen orman yangını (Şekil 11), kızılçam (*Pinus brutia*) ormanlarının bulunduğu vadiye etkili olmuş, yangın topografyanın da etkisiyle vadi içerisine doğru ilerleyerek devam etmiştir. 2024 yılında gerçekleştirilen arazi çalışması yangının ekolojik etkilerini gözlemlemek amacıyla yürütülmüş; farklı noktalardan alınan fotoğraflar, GPS verileri ve bitki örtüsü gözlemleri yangın sonrası doğal vejetasyon sürecini ayrıntılı biçimde sunmaktadır.

Yangının etkilediği alan, tipik Akdeniz iklimi özellikleri gösteren ve büyük ölçüde kızılçamla kaplı bir orman ekosistemidir. Şekil 11’de görülen bölge çalışma alanının kuzeydoğusunda yolun üst tarafında olup 1999 yılında yanmıştır. Bölge halkı tarafından verilen bilgiye göre alana daha sonra ağaçlandırma yapılmıştır. Bu durum bölgede yapılan ağaçlandırmanın başarılı olma ihtimalini arttırmaktadır. Kızılçam (*Pinus brutia*) yangınla şekillenen bu bölgede gelişim olarak yangına yüksek adaptasyon yeteneği gelişmiş ve yangın ağacı olarak bilinmektedir. Özellikle açık kozalaklara sahip olması, bu türün yangın sonrası tohumlarını açığa çıkararak hızlı bir şekilde yeniden yayılmasını sağlar. (Tavşanoğlu & Gürkan, 2014). Bu durum, yangınla açılan boşlukların kısa sürede yeniden ormanlaştırılmasında kritik öneme sahiptir. Vadinin eğimli yapısı (Şekil 11) yangının davranışını etkilemiş; sıcak hava akımlarının (Tablo 1) ve rüzgâr (Şekil 5) yönünün etkisiyle alevlerin yukarı doğru daha hızlı ilerlediği, dolayısıyla yangının vadi içerisine çekilerek burada daha uzun süreli ve yoğun etkili olduğu belirlenmiştir (Kavgacı vd., 2016; Tavşanoğlu & Gürkan, 2005).

Şekil 11. Çalışma alanının kuzeydoğu yönünden kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları.



Özellikle kermez meşesi (*Quercus coccifera*), kök sürgünleri sayesinde hızla yayılabilmekte, Cistus türleri ise toprakta uzun yıllar canlı kalabilen tohumlarıyla yangın sonrası habitatlarda çabuk adaptasyon göstermektedir. Öte yandan, uydu görüntüleri aracılığıyla elde edilen NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) verileri, yangın sonrası alanda başlayan vejetatif toparlanmayı doğrulamaktadır. NDVI değerlerindeki artış, özellikle yangının daha az etkili olduğu vadinin üst kısımlarında daha belirgindir. Bu durum, topografyanın yangın şiddeti ve bitki örtüsü yenilenmesi üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır (Cihan vd., 2022; Kavgacı vd., 2016).

Şekil 12. Çalışma alanının kuzeydoğu yönünden kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları.



Bölgede yangın sonrası ağaçlandırma çalışmaları hemen yangın sonrasında başlamamış olup bir süre ekosistem kendi haline bırakılmıştır. Fakat ağaç dikimi öncesi alanda bazı bölgeler sürülmüş ve tıraşlandırılmıştır. Yangın sonrası uygulanan yeniden ağaçlandırma çalışmaları kapsamında Tarım ve

Orman Bakanlığı tarafından 2022 yılı nisan ayında alana yeniden kızılçam fidanları dikilmiştir. Dikilen fidan boyları yapılan arazi tarihi olan 2024 haziran ayında ortalama 22 cm uzunluğa kadar ulaşmıştır (Şekil 12).

4. SONUÇ

Bu çalışma, 2 Ağustos 2021’de Denizli ili Buldan ilçesi Türlobey Mahallesi civarında meydana gelen orman yangınının ekosistem üzerindeki etkilerini uzaktan algılama yöntemleriyle incelemiştir. Yangın öncesi (2020), yangın yılı (2021) ve yangın sonrası toparlanma evresi (2022) dönemlerine ait Sentinel-2 ve LANDSAT verileri üzerinden hesaplanan NDVI, NBR, SAVI ve GEMI indeksleri, yangının çalışma alanında kısa sürede yoğun bir ekolojik tahribata yol açtığını açıkça ortaya koymuştur. 2021 yılı değerlerinde görülen ani düşüşler, vejetasyonun büyük ölçüde yok olduğunu; SAVI ve GEMI analizlerinde ise toprak-bitki etkileşimlerinin bozulduğunu göstermiştir. Buna karşılık 2022 yılı verileri, özellikle maki ve otsu türlerin adaptasyonu sayesinde kısmi bir iyileşme eğiliminin başladığını işaret etmiştir. Ancak bu iyileşme, yangın öncesi ekolojik dengeye ulaşmak için uzun vadeli bir sürecin gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, NDVI analizleri yangın sonrası vejetasyon kaybını en belirgin biçimde ortaya koyarken, 2022 yılı değerleri kısmi bir toparlanmaya işaret etmiştir. NBR indeksleri, yangının şiddetini ve alan üzerindeki tahribatın mekânsal dağılımını güçlü biçimde yansıtmıştır. SAVI sonuçları, yangınla toprak-bitki etkileşimlerinin bozulduğunu ve çıplak toprak oranının arttığını göstermiştir. GEMI indeksleri ise atmosferik etkilerden daha az etkilenmesi sayesinde bulguları doğrulamış ve ekosistemdeki bozulmayı açıkça ortaya koymuştur. Bu dört indeksin birlikte değerlendirilmesi, yangın sonrası ekosistem dinamiklerini zamansal ve mekânsal boyutta güvenilir şekilde izleme olanağı sunmuştur. Bulgular bölümünde sunulan dNDVI, dNBR, dSAVI ve dGEMI fark analizleri, yangın sonrası bitki örtüsü tepkilerinin zamansal olarak farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

2022–2021 dönemine ait sonuçlar, yangın sonrası erken evrede sınırlı ve kademeli bir toparlanmaya işaret ederken, 2022–2020 karşılaştırması yangının bitki örtüsü üzerindeki etkilerinin uzun vadede daha belirgin olduğunu göstermektedir. Özellikle dNDVI ve dSAVI sonuçlarının orta sınıfta yoğunlaşması, vejetasyon gelişiminin henüz erken bir aşamada olduğunu; dNBR farklarının orta ve yüksek sınıflarda yoğunlaşması ise yangın etkisinin zaman içinde kademeli olarak zayıfladığını düşündürmektedir. dGEMI sonuçları, her iki dönemde de ekosistem sağlığındaki değişimi daha dengeli bir dağılım ile yansıtarak diğer indeksleri destekleyici nitelikte bulgular sunmaktadır.

Yangın klimatolojisi analizleri, olayın yılın en sıcak ve en kurak döneminde, düşük bağıl nem (%8) ve yüksek sıcaklık koşullarında (41,4 °C) gerçekleştiğini, ayrıca rüzgâr yön ve hızının yangının vadiler boyunca ilerlemesini kolaylaştırdığını göstermiştir. Topografik koşullar da yangının davranışını belirlemiş; eğimli arazilerde alevlerin daha hızlı ilerlediği, vadi tabanlarında ise daha uzun süreli etki yarattığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, literatürde vurgulanan meteorolojik ve topografik faktörlerle uyum göstermektedir (Tavşanoğlu, 2017; Tavşanoğlu & Gürkan, 2009).

Arazi gözlemleri, kızılçam (*Pinus brutia*) türünün yangına adaptasyon özellikleri sayesinde yeniden sürgün verme eğilimi gösterdiğini kermez meşesi (*Quercus coccifera*) gibi türlerin kök sürgünleriyle kısa sürede yayılım sağladığını ortaya koymuştur. Alan yangın sonrası bir kış ve bahar dönemlerinde kendi haline bırakılarak alanda ekosistemin kendini yenilemesi beklemiştir. Bununla birlikte, yangın sonrası alanda yapılan yeniden ağaçlandırma çalışmaları doğal rejenerasyonu destekleyici bir rol üstlenmiştir (Kemer, 2022; Tavşanoğlu, 2009). Dikilen kızılçam fidanlarının iki yıl içinde ortalama 22 cm boya ulaşması ve alanda doğal olarak Akdeniz ekosistemine ait maki türlerinin yerleşmesi insan müdahalesiyle birlikte ekosistem toparlanmasının hızlandırılabileceğini göstermektedir. Fakat bazı bölgelerde dikim öncesi yapılan toprağın sürülme işlemleri rejenere faaliyetini sekteye uğratmıştır.

Sonuç olarak, uzaktan algılama yöntemleri yangın sonrası ekosistem değişimlerinin hem mekânsal hem de zamansal boyutta güvenilir şekilde izlenmesine olanak sağlamıştır. Çalışma bulguları, doğal yenilenme süreçlerinin sınırlı kaldığını ve ekosistemin tam bir iyileşme için daha uzun süreye ihtiyaç

duyduğunu göstermektedir. Bu nedenle, Buldan örneği özelinde; yangın sonrası ekolojik restorasyon çalışmalarının uzun vadeli planlanması, doğal türlerin korunarak desteklenmesi, erozyon kontrol önlemlerinin güçlendirilmesi ve iklim değişikliğinin artan etkileri karşısında risk temelli orman yönetim stratejilerinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 2023 yılı 2. dönem başvurusuyla desteklenmiş olup, yazarlar TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunmaktadır.

Beyan ve Açıklamalar

1. Bu çalışmanın yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyduğunu kabul etmektedirler.
2. Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.
3. Bu çalışma, intihal tarama programı kullanılarak intihal taramasından geçirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., & Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, 33(5), 1419- 1441. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>
- Akkemik, Ü., Kavgacı, A., & Akarsu, F. (2023). Orman yangınlarının bitki çeşitliliği üzerindeki etkileri. A. Kavgacı & M. A. Başaran (Eds.), *Orman Yangınları* (s. 326-342). Türkiye Ormancılar Derneği.
- Ali, E. (2020). Geographic information system (GIS): Definition, development, applications & components. *Department of Geography, Ananda Chandra College, India*.
- Anadolu Ajansı Haber. (2021). <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/denizlide-cikan-orman-yangini-buyuk-oranda-kontrol-altina-alindi/2322321>
- Arslantürk, N., & Ketenoğlu, O. (2008). Akdeniz Bölgesinin tanımı ve florasının kökeni. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 1(1), 79-86. <https://izlik.org/JA98ES35UL>
- Ayanoğlu, S., Dölarlan, M., & Gül, E. (2017). Sadece bir yangın mı? Ekolojik ve sosyo-ekonomik açıdan orman yangınları. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10(2), 32-35. <https://izlik.org/JA97EC82TA>
- Baltacı, U., & Yıldırım, F. (2020). Effect of slope on the analysis of forest fire risk. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 48(4), 373–379. <https://doi.org/10.15671/hjbc.753080>
- Barton, A. M., Poulos, H. M., & Koch, G. W. (2023). Detecting patterns of post-fire pine regeneration in a Madrean Sky Island using high-resolution remote sensing and field data. *Science of the Total Environment*, 873, 162329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161517>
- Bilgili, E., & Küçük, Ö. (2001, March 19–20). *Yanıcı madde durumunun yangın hassasiyet sınıflarının belirlenmesindeki önemi*. I. Ulusal Ormancılık Kongresi, Ankara, Türkiye.
- Bilgili, E., Küçük, Ö., & Sağlam, B. (2002). Yangın davranışının tahmini ve yangınlarla mücadeledeki önemi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2(2), 124-134.
- Boydak, M. (2004). Silvicultural characteristics and natural regeneration of *Pinus brutia* Ten. — a review. *Plant Ecology*, 171, 153–163. <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029373.54545.d2>
- Burgan, R. E., & Rothermel, R. C. (1984). *BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system— FUEL subsystem* (General Technical Report INT-167). U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Calvo, L., Santalla, S., Valbuena, L., Marcos, E., Tárrega, R., & Luis-Calabuig, E. (2008). Post-fire natural regeneration of a *Pinus pinaster* forest in NW Spain. *Plant Ecology*, 197, 81–90. <https://doi.org/10.1007/s11258-007-9362->
- Ceylan, M. A. (2006). Yayla Gölü (Buldan) ve rekreasyon potansiyeli. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 11(16), 323-354. <https://izlik.org/JA76SK52JD>

- Chicco, J. M., Mandrone, G., & Vacha, D. (2023). Effects of wildfire on soils: Field studies and modelling on induced underground temperature variations. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1307569. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1307569>
- 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>
- Çallı, R. ve Özdemir, E. (2025). Burned area detection and analysis with Sentinel-2 satellite imagery: A case study of İzmir wildfires. *Türkiye Teknik Bilimler ve İnovasyon Dergisi*, 1(1), 24–32. <https://izlik.org/JA86KM65PS>
- Çanakçıoğlu, H. (1979). Türkiye orman yangın istatistiklerinin temeline ilişkin tartışmalar. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 10–19. <https://izlik.org/JA92DW67BA>
- Çelik, M. ve Sönmez, M. (2013). Kızıltepe ilçesinin tarımsal yapısındaki değişimlerin MODIS NDVI verileri kullanılarak izlenmesi ve incelenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (27), 262–281. <https://izlik.org/JA26CS97TC>
- Çömert, R., Matcı, D. K. ve Avdan, U. (2019). Rastgele Orman Algoritması ile nesne tabanlı yanık alan haritalaması. *Uluslararası Mühendislik ve Jeoloji Bilimleri Dergisi*, 4(2), 78–87. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1127925>
- Dabanlı, İ. (2018). Drought hazard, vulnerability, and risk assessment in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(18), 538–550. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3867-x>
- Daskalakou, E. N., & Thanos, C. A. (2004). Postfire regeneration of Aleppo pine: The temporal pattern of seedling recruitment. *Plant Ecology*, 171, 81- 89. <https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029375.93419.f9>
- Dereli, M. A. (2019). Sentinel-2A uydu görüntüleri ile Giresun il merkezi için kısa dönem arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 361-368. <https://izlik.org/JA97HC52CD>
- Duman, C., & Garipağaoğlu, N. (2023). *Karamenderes Havzası'nın (Çanakkale) Coğrafi Ekolojisi*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Ergün, O. F. (2023). Türkiye'de orman yangınları ve gönüllülük. *Acil Yardım ve Afet Bilimi Dergisi*, 3(1), 7-14. <https://izlik.org/JA84WA33RC>
- Erten, E., Kurgun, V., & Musaoğlu, N. (2005, March 28–April 1). Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanarak orman yangını bilgi sisteminin kurulması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye.
- Esendal Bozkurt, N., Zontul, M., & Aslan, Z. (2018). Uydu Verilerine Dayalı Olarak Bitki Örtüsü Analizi. *Aurum Journal Of Engineering Systems And Architecture*, 2(1), 75-82. <https://izlik.org/JA67JZ74JC>
- Fernández-García, V., Marcos, E., Huerta, S., & Calvo, L. (2021). Soil–vegetation relationships in Mediterranean forests after fire. *Forest Ecosystems*, 8(18). <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00295-y>
- Fidanboy, M., Adar, N., & Okyay, S. (2022). Derin öğrenmeye dayalı orman yangını tahmin modeli geliştirilmesi ve Türkiye yangın risk haritasının oluşturulması. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(2), 206-218. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1066557>
- Fox, L. III, & Stuart, J. D. (1994, April). Detecting changes in forest condition following wildfire using image processing and GIS. In *Proceedings of the ASPRS-ACSM Annual Convention* (pp. 197–206). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Gandhi, G. M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and GIS – A case study of Vellore district. *Procedia Computer Science*, 57, 1199-1210. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289-298.

- Grigorov, I. (2022). Application of GEMI index in post-fire vegetation monitoring. *International Journal of Remote Sensing Studies*, 11(3), 122-135.
- Gündoğdu, K. S. (2018). Buğday ekili parsellerde NDVI değerlerinin konumsal ve zamana bağlı değişiminin belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4), 492-499.
- Güney, C. O., Ryan, K. C., Güney, A., & Hood, S. M. (2019). Wildfire in Turkey: Fire management challenges at an ancient crossroads of nature and culture. *Wildfire*, 28.3: 21-28.
- Güngöroğlu, C., Özkara, Z. U., & Tutmaz, V. (2024). Türkiye’de orman yangın yönetimi: Sorunlar ve çözüm önerileri. *Memleket Siyaset Yönetim*, 19(43), 517-570.
- Gürbüz, E. (2023). Uzaktan algılama ile yangın şiddeti belirlenmesinde farklı indekslerin karşılaştırılması. *Harita Dergisi*, 170, 8-22.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309.
- İHA, Haber (2024). Erişim adresi: <https://www.tourismjournal.com.tr/gundem/denizli-biyocesitlilik-acisindan-turkiye-de-onemli-bir-yere-sahip-1219675>
- İlerisoy, M. (2023). Nitel bir araştırma yöntemi: Yorumlayıcı fenomenolojik analiz. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(46), 509-527. <https://doi.org/10.46928/iticusbe.1176444>
- Kadioğlu, M. (2020). *Bildiğiniz havaların sonu: Küresel iklim değişimi ve Türkiye*. SİA Kitap.
- Kandemir, E. (2010). *Uzaktan algılama tekniğinde NDVI değerleri ile doğal bitki örtüsü tür dağılımı arasındaki ilişkilerin belirlenmesi üzerine araştırmalar*. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kavgacı, A., & Tavşanoğlu, Ç. (2010). Akdeniz Tipi Ekosistemlerde Yangın Sonrası Vejetasyon Dinamiği. *Turkish Journal of Forestry*, 11(2), 149-166. <https://izlik.org/JA34FF69JG>
- Kavgacı, A., Örtel, E., Torres, I., & Safford, H. (2016). Early postfire vegetation recovery of *Pinus brutia* forests: Effects of fire severity, prefire stand age, and aspect. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(5), Article 8. <https://doi.org/10.3906/tar-1601-21>
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Tonbul, H. ve 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, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri* içinde. Türkiye Bilimler Akademisi. <https://doi.org/10.53478/TUBA.2021.045>
- Keeley, J. E., & Brennan, T. J. (2012). Fire-driven alien invasion in a fire-adapted ecosystem. *Oecologia*, 169(4), 1043-1052. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2253-8>
- Keeley, J. E., Bond, W. J., Bradstock, R. A., Pausas, J. G., Rundel, P. W. (2012). *Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139033091>
- Kemer, N. (2022). Orman Yangınları ve Sonrası: Orman Ekosistem Restorasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 33, 373-381. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1054290>
- Koçak, K., & Şenol, H. (2013). Buldan (Denizli) yöresindeki metamagmatik ve magmatik kayaların jeolojisi ve petrografisi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28(1), 11-24. <https://izlik.org/JA68BR58CC>
- Küçükosmanoğlu, A. (1990). Türkiye’de orman yangınları ve iklim ilişkisi. *Doğa Bilim Dergisi*, 5(3), 70-77.
- Leverkus, A.B., Gustafsson, L., Lindenmayer, D.B., Castro, J., Rey Benayas, J.M., Ranius, T., Thorn, S., (2020). Salvage logging effects on regulating ecosystem services and fuel loads. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 18(7): 391-400. <https://doi.org/10.1002/fee.2219>.
- Mauri, E., & Pons, P. (2019). *Handbook of good practices in post-wildfire management* (2nd ed.). Universitat de Girona.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2024). *Buldan uzun süreli iklim bülteni*. MEVBİS.

- Nacheva, L. (2025). Burn severity assessment of Rhodes island wildfire with remote sensing data. *E3S Web of Conferences*, 638, 01011.
- Orman Genel Müdürlüğü. (2021). *2021 yılı orman yangınları değerlendirmesi*. Orman Genel Müdürlüğü.
- Özdemir, E. K. (2011). Tekstilde endüstrileşmenin yöresel dokuma kumaş üretimine etkileri: Denizli (Buldan-Tavas). *Akdeniz Sanat*, 4(7). <https://izlik.org/JA73LS49NA>
- Özdemir, F. B. ve Demir, N. (2022). 2019 İzmir Karabağlar ilçesi orman yangın alanının uydu görüntüleri ile analizi. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 3(1), 20–33. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1009319>
- Özel, H. B., Ateşoğlu, A. ve Kırdar, E. (2023). Orman yangınları sonrası yanan alanların ağaçlandırılması, izleme ve değerlendirme. A. Kavgacı ve M. A. Başaran (Ed.), *Orman yangınları içinde* (ss. 275–300). Türkiye Ormancılar Derneği.
- Özkazanç, N. K. ve Ertuğrul, M. (2011). Orman yangınlarının fauna üzerine etkileri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13(19), 128–135. <https://izlik.org/JA37DS45UJ>
- Pacheco, A.P, Junior, J.A.S., Ruiz-Armenteros, AM., & Henriques, R.F.F. (2021). Assessment of k-nearest neighbor and random forest classifiers for mapping forest fire areas in central Portugal using Landsat-8, Sentinel-2, and Terra imagery. *Remote Sensing*, 13(7), 1345. <https://doi.org/10.3390/rs13071345>.
- Pinty, B., & Verstraete, M. M. (1992). GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetatio*, 101(1), 15-20. <https://doi.org/10.1007/BF00031911>
- Sabuncu, A. Ve 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>
- Sabuncu, R., Kavgacı, A., Alan, M., & Çalışkan, A. (2023). Orman yangınları sonrası restorasyon. İçinde A. Kavgacı & M. A. Başaran (Ed.), *Orman yangınları* (ss. 425–440). Türkiye Ormancılar Derneği.
- Scarascia-Mugnozza, G., Oswald, H., Piussi, P., & Radoglou, K. (2000). Forests of the Mediterranean region: Gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, 132(1), 97-109. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00383-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00383-2)
- Schroeder, M., & Buck, C. (1970). *Fire weather: A guide for application of meteorological information to forest fire control operations* (Agriculture Handbook No. 360). U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., & Csiszar, I. A. (2014). The new VIIRS 375m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.008>
- Sefercik, U. G. ve Kavzoğlu, T. (2021). Orman yangınlarında uzaktan algılama teknolojileri ile erken uyarı, tespit, izleme ve müdahale stratejileri. T. Kavzoğlu (Ed.), *Orman yangınları: Sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri içinde*. Türkiye Bilimler Akademisi. <https://doi.org/10.53478/TUBA.2021.044>
- Sentinelhub: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/savi/>
- Smith, J. (2018). Sıcak hava dalgalarının orman yangınları üzerindeki etkisi. *İklim Araştırmaları Dergisi*, 12(2), 45-56.
- Tavşanoğlu, Ç. (2009). *Akdeniz Havzası ormanlarında yangın sonrası kendiliğinden gençleşme*. 7-10 Ocak, Antalya, Türkiye: Orman Yangınları ile Mücadele Sempozyumu Tebliğleri, s. 310–317.
- Tavşanoğlu, Ç. (2017). Yangın Coğrafyası: Vejetasyon Yangınlarının ve Ekolojik Sonuçlarının Alansal Dağılımı. *Kebikeç İnsan Bilimleri İçin Kaynak Araştırmaları Dergisi*, 43, 289-300.
- Tavşanoğlu, Ç., & Gürkan, B. (2004). Akdeniz havzasında bitkilerin kuraklık ve yangına uyumları. *Ot Sistematik Botanik Dergisi*, 11(1), 119-132.

- Tavşanoğlu, Ç., Gürkan, B., (2009). Post-fire regeneration of a *Pinus brutia* (Pinaceae) forest in Marmaris National Park, Turkey. *Int. J. Bot.*, 5, 107-111. [10.3923/ijb.2009.107.111](https://doi.org/10.3923/ijb.2009.107.111)
- Tekin, A., Ayan, E., Ünsat, M. B., Ulubaşoğlu, A. İ., & Altıparmak, G. G. (2021). *Buldan bezinin tarihsel gelişimi ve ilçeye katkıları*. Bilkent University.
- Tekindal, M., & Arsu, Ş. U. (2020). Nitel araştırma yöntemi olarak fenomenolojik yaklaşımın kapsamı ve sürecine yönelik bir derleme. *Ufkun Ötesi Bilim Dergisi*, 20(1), 153-172. <https://izlik.org/JA57RB73XM>
- Tonbul, H., Kavzoglu, T., & Kaya, S. (2016). Assessment of fire severity and post-fire regeneration based on topographical features using multitemporal Landsat imagery: A case study in Mersin, Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B8, 763–769. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B8-763-2016>
- Tüfekcioğlu, İ., Ergun, G., Kaynaş, B., ... Aktepe, N. (2022). Akdeniz iklim bölgesindeki alt yükselti orman ve çalılıklarında yangın sonrası hızlı ekolojik değerlendirme ile restorasyon önerilerinin geliştirilmesi: Datça-Bozburun Özel Çevre Koruma Bölgesi örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 23(3), 163-177. <https://doi.org/10.18182/tjf.1118883>
- Türkeş, M. (2021). Türkiye'nin su iklimi, iklim değişikliği ve 2019–2020 kuraklığı. *EKOİQ*, 92, 90-97.
- Ürker, O., Tavsanoglu, Ç. ve Gürkan, B. (2018). Post-fire recovery of the plant community in *Pinus brutia* forests: Active vs. indirect restoration techniques after salvage logging. *iForest*, 11, 635–642. <https://doi.org/10.3832/ifer2645-011>
- Van der Meer, F. D., Van der Werff, H. M. A., & Van Ruitenbeek, F. J. A. (2014). Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications. *Remote Sensing of Environment*, 148, 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.022>
- Velasco Pereira, E. A., & Navarro-Cerrillo, R. M. (2025). Post-fire regeneration dynamics of heterogeneous Mediterranean ecosystems using Landsat and ALS data. *Science of The Total Environment*, 1001, 180435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180435>
- Verbesselt, J., Fleck, S., & Coppin, P. (2002). Estimation of fuel moisture content towards Fire Risk Assessment: A review. *Forest fire research & wildland fire safety*, 55-67.
- Yalçın, H. (2022). Bir araştırma deseni olarak fenomenoloji. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(Özel Sayı 2), 213-232. <https://doi.org/10.18037/ausbd.1227345>
- Yalçın, M. N., Gürpınar, O., Altınok, Y., & Özer, N. (2004). Buldan (Denizli) yöresinin temel jeolojik özellikleri ve jeolojik miras envanteri. *TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, 2, 169-186.
- Yan, K., Gao, S., Yan, G., Ma, X., Chen, X., Zhu, P., Li, J., Gastellu-Etchegorry, J.-P., & Myneni, R. B. (2025). A global systematic review of remote sensing vegetation indices. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 210, 1–17. [10.1016/j.jag.2025.104560](https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104560)
- Yılmaz, E., & Çiçek, İ. (2018). Türkiye'nin detaylandırılmış Köppen-Geiger iklim bölgeleri. *Journal of Human Sciences*, 15(1), 225–242.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Zhu, Z., Zhao, F., & Fan, L. (2022). Monitoring vegetation dynamics using MODIS-based NDVI time series analysis. *Remote Sensing*, 14(4), 824. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.06.010>