



## ORMAN YANGINI SONRASI PEYZAJ BOZULMALARININ MEKÂNSAL ANALİZİ VE RESTORASYON STRATEJİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ: BURSA ORHANELİ-HARMANCIK ÖRNEĞİ

Gamze KARADAŞ<sup>1,\*</sup>, Fadime ALTINKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana

<sup>2</sup> Kentsel Tasarım ve Peyzaj Mimarlığı Bölümü, İstanbul Kent Üniversitesi, İstanbul

\*Sorumlu yazar: [gakaradas@gmail.com](mailto:gakaradas@gmail.com)

Gamze KARADAŞ: <https://orcid.org/0000-0002-5550-6522>

Fadime ALTINKAYA: <https://orcid.org/0000-0002-7292-9682>

**Please cite this article as:** Karadaş, G. & Altinkaya, F. (2025) Orman yangını sonrası peyzaj bozulmalarının mekânsal analizi ve restorasyon stratejilerinin geliştirilmesi: Bursa Orhaneli-Harmancık örneği, *Turkish Journal of Forest Science*, 9(2), 490-504.

### ESER BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş 30 Ağustos 2025 / Received 30 August 2025

Düzeltilmelerin gelişi 10 Ekim 2025 / Received in revised form 10 October 2025

Kabul 13 Ekim 2025 / Accepted 13 October 2025

Yayımlanma 27 Ekim 2025 / Published online 27 October 2025

**ÖZET:** 27 Temmuz 2025'te Bursa'nın Orhaneli-Harmancık bölgesinde meydana gelen orman yangınının yol açtığı peyzaj bozulmaları Sentinel-2 uydu görüntüleri üzerinden analiz edilmiştir. 29 Haziran ve 29 Temmuz 2025 tarihli görüntüler, Google Colab ortamında Python tabanlı K-Means kümeleme algoritmasıyla işlenmiş ve yaklaşık 23.12 km<sup>2</sup>'lik yanan alan belirlenmiştir. Copernicus Browser platformu aracılığıyla elde edilen NDVI ve multispektral bantlar (NIR, SWIR) kullanılarak bitki örtüsündeki kayıplar nicel olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, ortalama NDVI değerinin 0.0768'e düşmesiyle yangının bitki örtüsünde neredeyse tam tahribat yarattığını ve geniş ölçekte toprak yüzeyini açığa çıkardığını göstermektedir. Ayrıca yangın şiddetinin mekânsal açıdan heterojen dağıldığı ve yüksek şiddetli alanlarda erozyon riskinin kritik seviyelere ulaştığı belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, ekolojik bütünlük ve sosyo-ekonomik sürdürülebilirliği esas alan çok katmanlı bir peyzaj restorasyon stratejisi geliştirilmiştir. Bu strateji, yangın sonrası restorasyon sürecinin etkinliğini artırmak amacıyla kademeli bitkilendirme, katılımcı yönetim, kurumsal kapasite geliştirme, CBS tabanlı izleme ve iklim dirençli tür seçimi olmak üzere beş ana bileşen üzerine yapılandırılmıştır. Bu bütüncül yaklaşım, yangın sonrası benzer ekosistemlerin restorasyonuna yönelik bilimsel bir çerçeve sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Bursa, mekânsal analiz, orman yangını, peyzaj restorasyonu

## SPATIAL ANALYSIS OF LANDSCAPE DEGRADATION FOLLOWING FOREST FIRES AND DEVELOPMENT OF RESTORATION STRATEGIES: THE CASE OF ORHANELI-HARMANCIK, BURSA

**ABSTRACT:** Landscape degradation caused by the forest fire that occurred in the Orhaneli-Harmancık region of Bursa on July 27, 2025, was analyzed using Sentinel-2 satellite imagery. The images dated June 29 and July 29, 2025, were processed using the Python-based K-Means clustering algorithm in the Google Colab environment, and a burned area of approximately 23.12 km<sup>2</sup> was determined. Vegetation losses were quantitatively assessed using NDVI and multispectral bands (NIR, SWIR) obtained through the Copernicus Browser platform. The findings indicate that the fire caused almost complete vegetation destruction, with the mean NDVI value decreasing to 0.0768, and that the soil surface was exposed on a large scale. It was also determined that the fire intensity was spatially heterogeneous, and erosion risk reached critical levels in high-intensity areas. Based on the obtained data, a multi-layered landscape restoration strategy based on ecological integrity and socio-economic sustainability was developed. This strategy is structured around five key components: phased planting, participatory management, institutional capacity building, GIS-based monitoring, and climate-resilient species selection, with the aim of increasing the effectiveness of post-fire restoration. This holistic approach provides a scientific framework for the restoration of similar ecosystems after fire.

**Keywords:** Bursa, spatial analysis, forest fire, landscape restoration,

### GİRİŞ

Orman ekosistemleri, yalnızca yakacak ve yapı malzemesi gibi maddi faydalar sağlamakla kalmayıp; havayı temizleyen, iklimi düzenleyen ve birçok canlıya yaşam alanı sunan doğal yutak alanlarıdır. Bu ekosistemler, bitki örtüsü ve topraklarında karbon depolayarak iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmede önemli rol oynamaktadır (Karadaş, 2025). Aynı zamanda rekreasyonel etkinliklerin gerçekleştirildiği başlıca alanlardır. Ancak tüm bu ekolojik ve sosyo-ekonomik işlevlerine rağmen, ormanlar kaçak kesim, tarımsal alan açma, aşırı otlatma ve amacı dışı kullanım gibi insan kaynaklı baskılar altındadır. Bu tehditlerin başında ise son yıllarda sıklığı ve şiddeti artan orman yangınları gelmektedir (Kırış & Toprak, 2007; Atalay & Efe, 2015; Başaran et al., 2022; Coşkun & Toprak, 2023). Ayrıca, iklim değişikliğine bağlı şiddetli rüzgârlar ve ani sıcaklık artışları, yangınların çıkma ve yayılma olasılığını artırmaktadır (Abatzoglou et al., 2025; Feng et al., 2025). Dolayısıyla iklim değişikliği, orman ekosistemlerinin yangına karşı kırılganlığını artırmakta ve yangınların sıklık, şiddet ve süresinde belirgin bir artışa neden olmaktadır.

Orman yangınları, küresel ölçekli bir çevre sorunu olarak ekosistemler üzerinde yıkıcı ve çok yönlü etkileriyle birlikte ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Doğal ve antropojenik kökenli yangınlar, yıllık bazda dünya genelinde milyonlarca hektar orman alanını tahrip etmekte, önemli biyoçeşitlilik kayıplarına yol açmakta ve ağır sosyoekonomik maliyetler yüklemektedir (Grünig et al., 2023; Supriya & Gadekallu, 2023; Çamalan et al., 2023). Son birkaç on yılda, özellikle iklim değişikliğinin tetiklediği küresel dinamikler, orman yangını rejimlerinde belirgin bir dönüşüme sebep olmuştur. Bu dönüşüm, yalnızca sıcaklık artışlarıyla sınırlı kalmayıp; yağış rejimlerindeki düzensizlikler, kurak dönemlerin uzaması ve nem oranlarının düşmesi gibi çok boyutlu iklimsel etkilerle derinleşmektedir. Buna ek olarak, kırsal alanlardan

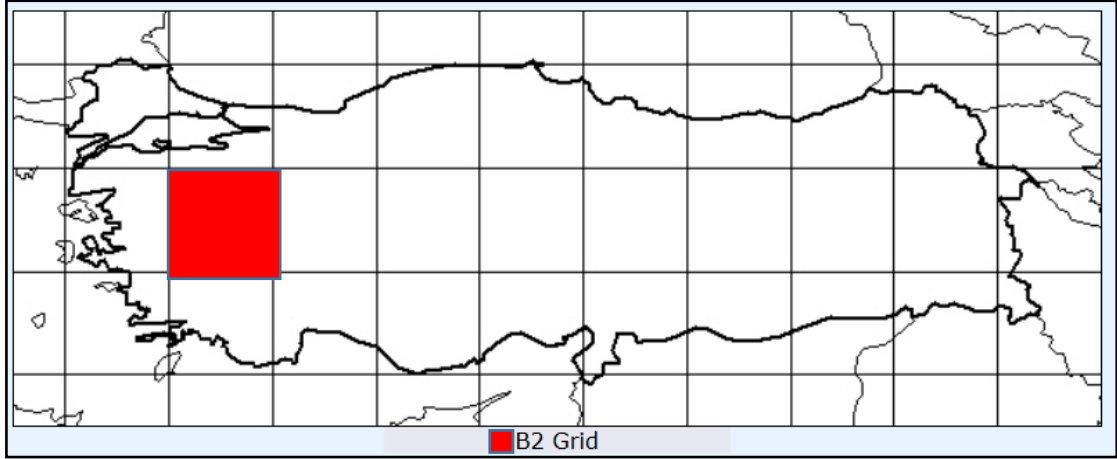
kentlere doğru gerçekleşen göç hareketleri sonucunda kırsal nüfusun azalması, geleneksel arazi kullanımını pratiklerinin terk edilmesi ve ormanlık alanlardaki insan etkisinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, orman tabanlarında yanıcı organik materyallerin özellikle kuru yaprak, dal, çalı ve ölü örtünün aşırı miktarda birikmesine neden olmakta; yabani hayvanlar ve besi hayvanlarının popülasyonundaki azalma da bu birikimi artıran dolaylı faktörler arasında yer almaktadır. Bu değişim şiddeti ve sıklığı giderek artan mega yangın olaylarının ortaya çıkışını karakterize etmekte olup, ekosistemlerin direnci ve toparlanma kapasitesi üzerinde daha önce görülmemiş baskılar oluşturmakta ve sosyo-ekolojik sistemler üzerindeki yıkıcı etkileri katlanarak büyötmektedir (Rogers et al., 2020; Pausas & Keeley, 2021; Kemer, 2022; Lopes et al., 2024). Söz konusu olan bu gelişmeler, yangın ekolojisi ve yönetimi alanlarında acil ve efektif stratejilerin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Özellikle yangınların nadir görüldüğü yerlerde, anlık ve kısa vadeli izleme çalışmaları geçerli olup, yangın sonrası tür dinamiklerini ve daha geniş topluluk eğilimlerini dikkate almamaktadır (Holik & ark., 2025).

Yanma şiddeti, yangının etkilediği alanlarda meydana gelen fiziksel, biyolojik ve ekolojik değişimlerin kapsamına bağlı olarak niteliksel biçimde sınıflandırılan bir göstergedir. Bu sınıflandırma genellikle yanmamış, düşük, orta ve yüksek şiddet düzeyleri şeklinde dört temel kategori altında yapılmaktadır. Literatürde ise yanma şiddeti, yangın sonrası ekosistem bileşenlerinde meydana gelen değişikliklerin büyüklüğünü nicel olarak değerlendirmeye olanak tanıyan, ölçeklenebilir bir endeks olarak tanımlanmaktadır (Key & Benson, 2006; Lutes et al., 2006; Robichaud et al., 2009; Sanna et al., 2025).

Yangınlardan etkilenen orman ekosistemlerinin restorasyonu, Avrupa Birliği politikalarına daha fazla entegre edilmiştir (Faivre ve ark., 2018). Ancak, Avrupa ülkelerinde yangın sonrası restorasyon işlemlerinden sonra bitki örtüsünün gelişmesinin izlenmesi ve ekolojik etkileri konusunda nadiren çalışma mevcut olduğundan büyük bir bilgi boşluğu vardır (Robichaud et al., 2009; Bontrager et al., 2019; Ribeiro et al., 2020; Lopes et al., 2024). Dolayısıyla küresel ölçekte yürütölen yangın sonrası orman iyileşmesinin yapısal ve işlevsel bileşenlerini zamansal ve mekânsal analizi, ekosistem tabanlı restorasyon çalışmalarına yön verebilmek açısından önemli bir yaklaşım olmaktadır. Bu yaklaşım artan yangınla birlikte ekosistem hizmetleri üzerindeki etkilerinin şiddetlenmesi ile daha da acil bir hal almıştır. Akabinde, yangın sonrası müdahalelerin yalnızca yanmış orman alanlarının yeniden ağaçlandırılmasıyla sınırlı kalmaması (FAO, 2006; Taş & Benliay, 2025); ekolojik, işlevsel ve sosyo-kültürel bütönlük gözetilerek çok faktörlü restorasyon hedefleriyle birlikte ele alınması önemlidir. Bu bağlamda, peyzaj restorasyonu, yalnızca doğal örtünün yeniden tesis edilmesini değil; aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin korunması, toprak ve su döngüsünün yeniden düzenlenmesi, ekosistem hizmetlerinin sürdürölmesi ve insan-doğa ilişkilerinin yeniden inşasını da kapsamaktadır. Peyzaj düzeyinde gerçekleştirilen bütöncöl restorasyon yaklaşımları, özellikle yangın gibi geniş alanlı bozulmalarda, mekânsal planlama ile entegre edildiğinde uzun vadeli dayanıklılık sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, 27 Temmuz 2025 tarihinde Bursa'nın Orhaneli-Harmancık bölgesinde meydana gelen orman yangınında etkilenen alan miktarının belirlenmesi amaçlanmakta; elde edilen veriler doğrultusunda yangın sonrası peyzaj restorasyonu hedefleri, kuramsal bir çerçeve içinde değerlendirilerek alandaki ekolojik iyileşme süreçlerine yön verebilecek bir yol haritası oluşturulması hedeflenmektedir.

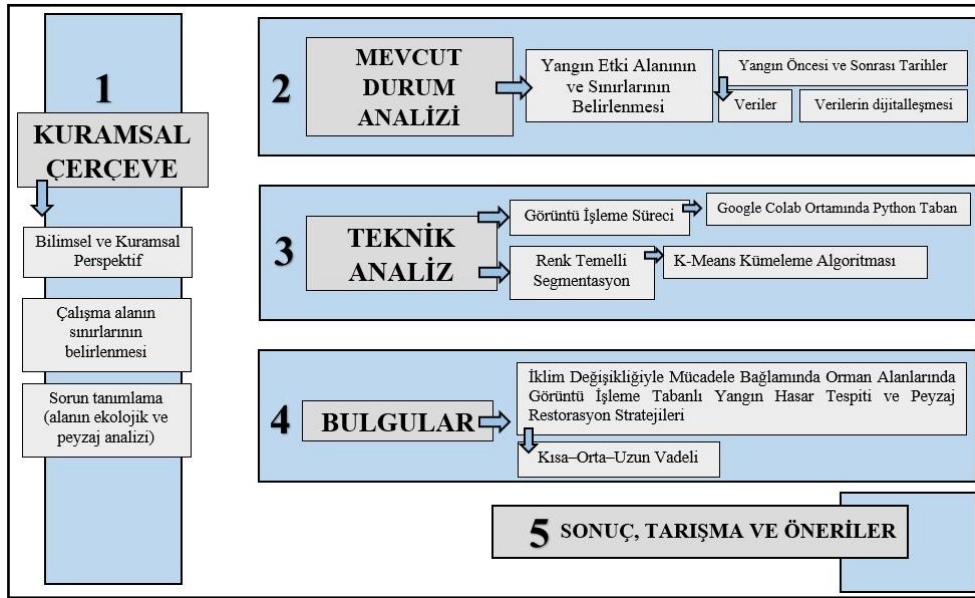




Şekil 2. Davis Sistemine Göre Bursa İlinin Floristik Kareleme Konumu (Tübives, 2025)

## Yöntem

Bu çalışma, beş aşamada kurgulanan bir yöntem çerçevesinde yürütülmüştür (Şekil 3). İlk aşamada bilimsel ve kuramsal çerçeve oluşturulmuş; çalışma alanı sınırları belirlenmiş ve sorunun tanımlanması amacıyla ekolojik-peyzaj analizi yapılmıştır. İkinci aşamada mevcut durum analizi kapsamında yangın etki alanı ve sınırları, yangın öncesi-sonrası uydu verileri kullanılarak tespit edilmiştir. Üçüncü aşamada, Google Colab ortamında Python tabanlı görüntü işleme süreci uygulanmış; renk temelli segmentasyon ve K-Means kümeleme algoritması ile yangın alanı sınıflandırılmıştır. Dördüncü aşamada, elde edilen bulgular iklim değişikliğiyle mücadele bağlamında kısa, orta ve uzun vadeli peyzaj restorasyon stratejileri şeklinde sunulmuştur. Son aşamada ise sonuç, tartışma ve öneriler geliştirilmiştir.

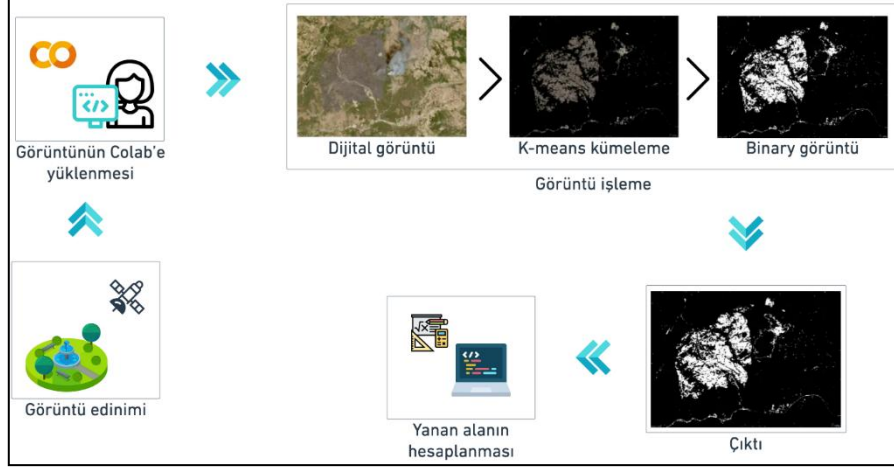


Şekil 3. Yöntem Akış Şeması

## BULGULAR

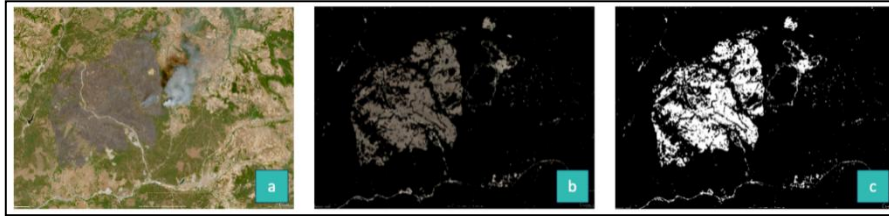
Bu çalışma, 27 Temmuz 2025 tarihinde Bursa'nın Orhaneli-Harmancık bölgesinde meydana gelen orman yangınının etkilediği alanın büyüklüğünü ve yangın şiddet dağılımını mekânsal

olarak nicelendirmek amacıyla Copernicus Browser üzerinden temin edilen Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak yapılmıştır. Görüntü işleme analizleri, yangın öncesi (29 Haziran 2025) ve yangın sonrası (29 Temmuz 2025) tarihli görüntülere ait RGB bantlarında (Band 2 - Mavi, Band 3 - Yeşil, Band 4 - Kırmızı) Google Colab ortamında Python tabanlı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Görüntü İşleme Sürecin Akış Diyagramı

Görüntü işleme süreci üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada (a), çalışma alanına ait yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü kullanılarak yangın sonrası duruma ilişkin orijinal veriler elde edilmiştir. İkinci aşamada (b), renk temelli segmentasyon yöntemi uygulanarak yanmış alanlar diğer arazi örtüsü sınıflarından ayrıştırılmıştır. Üçüncü aşamada (c), belirlenen eşik değerleri doğrultusunda ikili (binary) sınıflandırma gerçekleştirilmiş ve yanmış alan sınırları netleştirilmiştir (Şekil 5). Bu örnekler, kullanılan yöntemin yangın sonrası zarar tespiti açısından görsel olarak da etkinliğini ortaya koymaktadır.

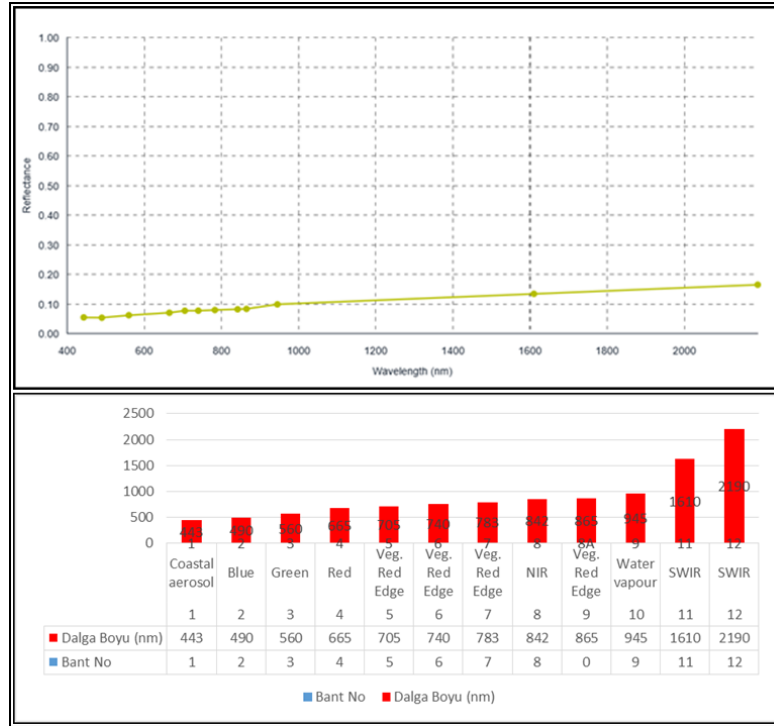


Şekil 5. a) Orijinal Görüntü b) Yanmış Alan Görüntüsü c) Eşikleme Yapılmış Görüntü

Segmentasyon sonrası elde edilen eşiklenmiş görüntüde, küme 2'ye ait toplam 231.187 piksel tespit edilmiştir. Sentinel-2 uydusunun 10 metre mekânsal çözünürlüğü dikkate alınarak, her bir pikselin 100 m<sup>2</sup>'lik alanı temsil ettiği kabul edilmiş ve bu doğrultuda toplam yanmış alan büyüklüğü yaklaşık 23,12 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu yöntem, yangın hasarının mekânsal boyutunun yüksek doğrulukla tespit edilmesine olanak sağlamıştır.

Copernicus Browser platformu üzerinden gerçekleştirilen analizde, sistemin otomatik örnekleme tekniğiyle belirlenen 12 noktada ortalama Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) değeri 0.0768 olarak hesaplanmıştır. NDVI değerleri genellikle -1 ile +1 arasında değişmekte olup, -1 ile 0 arasındaki değerler su yüzeyleri veya çıplak toprak; 0-0.2 arası değerler bitki örtüsünün bulunmadığı veya çok zayıf olduğu alanlar; 0.2-0.5 arası değerler orta yoğunlukta ve stres altında olan bitki örtüsü; 0.5 ve üzeri değerler ise sağlıklı ve yoğun bitki örtüsünü temsil etmektedir (Tucker, 1979; Hatfield, 1985; Yıldız et al., 2012;). Bu bağlamda,

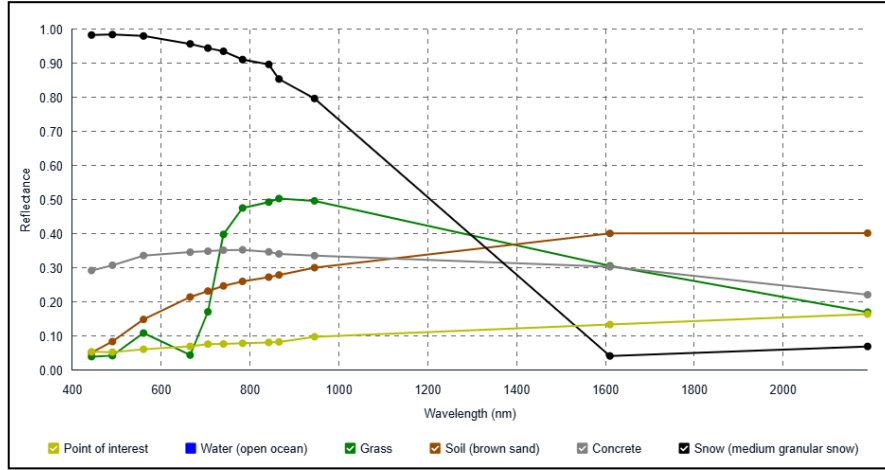
yangın sonrası alanda ölçülen 0.0768 değeri, fotosentetik aktivitenin neredeyse tamamen durduğunu ve bitki örtüsünün büyük ölçüde yok olduğunu açıkça göstermektedir. Ayrıca spektral yansımada eğrisinde, özellikle yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlarında kaydedilen düşük yansımaya değerleri, yoğun bitki örtüsünün eksikliğini doğrulamaktadır (Şekil 6). Bu bulgular, yangının bölgedeki peyzaj tahribatının şiddetini ortaya koymakta ve literatürdeki benzer yangın sonrası analizlerle tutarlılık göstermektedir (Miller ve Thode, 2007; Parks et al., 2018). Şekil 5'te sunulan dalga boyu-bant ilişkisi, çalışmada kullanılan temel spektral bölgeleri ve bu bölgelerin elektromanyetik spektrum içerisindeki konumlarını göstermektedir. Özellikle B4 (Red, 665 nm) ve B8 (NIR, 842 nm) bantları kullanılarak Copernicus açık veri portalında önceden hesaplanmış NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ürünleri temin edilmiştir. Bu veriler, çalışma alanına ait yangın öncesi ve sonrası dönemleri kapsayacak şekilde seçilmiş; gereksiz alanlar maskeleyme yöntemi ile çıkarılmış ve çalışma kapsamına özel olacak biçimde kesitlenmiştir. Elde edilen NDVI değerleri, bitki örtüsü sağlığı ve yoğunluğunun nicel olarak değerlendirilmesi amacıyla yangın öncesi-sonrası karşılaştırmalarında kullanılmıştır.



Şekil 6. Sentinel-2 Bant Numaraları ve Karşılık Gelen Dalga Boyları (Copernicus Browser, 2025'ten geliştirilerek).

Buna ek olarak; Sentinel-2 multispektral verileri, arazi örtüsü tiplerinin tanımlayıcı spektral özellikleri belirgin biçimde yansıtmaktadır (Şekil 7; Tablo 1). Bitkilerin fotosentetik etkinliği, NIR spektral bandında (Bant 8: 0.62 nm) yüksek yansıtma ile kendini göstermektedir. Bu özellik, vejetasyonun izlenmesinde temel bir gösterge niteliği taşımaktadır. Toprak yüzeyleri (brown sand), SWIR spektral aralığında (Bant 12: 0.40 nm) belirgin yansımaya artışı göstermekte; yanmış alanlarda toprağın açığa çıkması, bu bantta güçlü spektral ayrışma sağlamaktadır. Kar örtüsünün görünür bantlardaki maksimum yansıtma (Bant 2: 0.99 nm) ile SWIR'deki düşük değerleri (Bant 12: 0.07) arasındaki kontrast ve erime süreçlerini izlemeye avantaj sunmaktadır. Su kütleleri ise tüm spektral bölgelerde düşük yansıtma (<0.05) göstererek atmosferik gürültüye karşı dirençli tespit imkânı sağlamaktadır. Bu spektral seçicilik, yangın sonrası oluşan peyzaj tahribatlarının kapsamlı biçimde değerlendirilmesinde Sentinel-2'nin tercih edilmesini

desteklemektedir. Çünkü vejetasyon rejenerasyonu, toprak durumunu ve hidrolojik değişim gibi yangın sonrası peyzaj dinamikleri, farklı spektral bantlar aracılığıyla izlenebilmektedir. NIR (Bant 8) ve kırmızı-kenar bantlarındaki (Bant 5–7) yansımalar, fotosentetik canlılığın niceliksel olarak değerlendirilmesine olanak tanırken; SWIR bantları (Bant 11–12), toprak yüzeyinin maruz kalma düzeyini, erozyon riskini ve yüzey jeokimyasıyla ilgili değişimleri analiz etmeyi mümkün kılmaktadır. Öte yandan, su ve kar örtüsünün spektral olarak ayrıştırılması, yangının hidrolojik döngü üzerindeki etkilerinin modellenmesini desteklemektedir. Sonuç olarak, bu veriler; yanmış alanlarda restorasyon stratejilerinin fiziksel, biyokimyasal ve hidrolojik parametreler üzerinden tasarlanmasına bilimsel zemin oluşturmaktadır.



Şekil 7. Farklı Yüzey Örtüsü Tiplerinin Sentinel-2 Bantlarındaki Ortalama Spektral Yansımalar Eğrileri (Copernicus Browser, 2025).

Tablo 1. Sentinel-2 Bantlarında Farklı Yüzey Örtüsü Tiplerine Ait Ortalama Spektral Yansımalar Değerleri (Copernicus Browser, 2025 Geliştirilerek)

Nokta	Spektral Bant	Bant No	Dalga Boyu (nm)	Water (open ocean)	Grass	Soil (brown sand)	Concrete	Snow (medium granular snow)
1	Coastal aerosol	1	443	0.04	0.04	0.05	0.29	0.98
2	Blue	2	490	0.04	0.04	0.08	0.31	0.99
3	Green	3	560	0.03	0.11	0.15	0.34	0.98
4	Red	4	665	0.02	0.05	0.22	0.35	0.96
5	Veg. Red Edge	5	705	0.02	0.17	0.23	0.35	0.95
6	Veg. Red Edge	6	740	0.02	0.40	0.25	0.35	0.94
7	Veg. Red Edge	7	783	0.02	0.48	0.26	0.35	0.91
8	NIR	8	842	0.02	0.49	0.27	0.35	0.90
9	Veg. Red Edge	8A	865	0.02	0.50	0.28	0.34	0.85
10	Water vapour	9	945	0.02	0.50	0.30	0.34	0.80
11	SWIR	11	1610	0.02	0.31	0.40	0.30	0.04
12	SWIR	12	2190	0.02	0.17	0.40	0.22	0.07

Yapılan analizler doğrultusunda, yangının yalnızca bitki örtüsü üzerindeki fiziksel tahribatla sınırlı kalmadığı, aynı zamanda peyzajın işlevsel bütünlüğünü de ciddi biçimde zayıflattığı belirlenmiştir. Bu durum, alanın ekosistem hizmetlerinde bozulmalara ve peyzaj ekolojisindeki mekânsal sürekliliğin kesintiye uğramasına yol açmıştır. Dolayısıyla, yangın sonrası restorasyon süreci, yalnızca ekolojik parametreleri değil, aynı zamanda yerel toplulukların sosyo-ekonomik dinamiklerini de dikkate alan, bütüncül ve çok katmanlı bir yaklaşımla ele

alınmalıdır. Bu kapsamda, yangın sonrası iyileştirme sürecine yön verecek restorasyon stratejisi, yangın sonrası çok katmanlı restorasyon çerçevesi altında beş temel bileşen ekseninde kurgulanmıştır: (I) Temel İlkeler, restorasyonun kuramsal ve etik dayanaklarını; (II) Ekolojik Restorasyon Adımları, flora, fauna ve toprak sistemlerinin onarımına yönelik uygulamaları; (III) Sosyo-Ekonomik Entegrasyon, yerel halkın geçim kaynaklarının yeniden inşası ve katılımcı yönetim yaklaşımlarını; (IV) Kurumsal Altyapı Önerileri ise yönetim modelleri ve kurumsal kapasite geliştirme önerilerini; (V) Risk Yönetimi ve Geleceğe Hazırlığı içermektedir.

### **I. Temel İlkeler**

Restorasyon süreci, aşağıda belirtilen kuramsal ilkelere dayandırılmıştır:

- Ekolojik Bütünlük/Kapsayıcılık Odaklılık: Restorasyon sadece bitki örtüsüyle sınırlı kalmayıp, toprak rejimi, mikro habitat çeşitliliği, su döngüleri ve biyoçeşitlilik gibi tüm ekosistem bileşenlerini içerecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Sosyo-Ekonomik Entegrasyon: Yerel halkın arıcılık, otlatma, rekreasyon gibi geleneksel faaliyetleri restorasyon planlarına entegre edilerek, sürdürülebilir kırsal kalkınma desteklenmelidir.
- İklim Dirençliliği: Değişen iklim koşullarına karşı dayanıklı bitki türleri, doğal bitki örtüsü ve yangına dirençli peyzaj desenleri ile geleceğe uyum sağlanmalıdır.

### **II. Ekolojik Restorasyon Adımları**

Restorasyon uygulamaları üç zaman dilimine ayrılarak yapılandırılması kurgulanmıştır:

#### **A. Acil Müdahale (0–6 Ay):**

- Yangın Sonrası Sıkışmış Toprağın İşlenmesi: Hafif toprak işleme (pullukla değil, yüzeysel) yapılmalıdır.
- Su Yönetimi: Yağış sonrası oluşabilecek sel ve yüzey akışını azaltmak için geçici toprak setleri ve eğime paralel teraslar oluşturulmalıdır.

#### **B. Orta Vadeli Restorasyon (6 Ay–3 Yıl):**

- Bitki Örtüsünün Yeniden Oluşumunun Desteklenmesi: ilk aşamada yangına dayanıklı öncü türler (örneğin: Laden (*Cistus creticus*), Kekik (*Thymus* sp.)) kullanılmalı; ilerleyen aşamalarda ise Bursa'nın yerli ağaç türleri olan Meşe (*Quercus* sp.), Kızılçam (*Pinus brutia*), Fıstıkçamı (*Pinus pinea*) ve Ihlamur (*Tilia* sp.) gibi ana türlere geçilmelidir.
- Biyolojik Çeşitliliğin Desteklenmesi: Kuşlar ve böcekler için barınma alanları oluşturulmalı, tozlayıcı canlıların geçişini kolaylaştıracak bitki şeritleri planlanmalı ve ormanda doğal yaşamı desteklemek için ölü odun yığınlarına yer verilmelidir.

#### **C. Uzun Vadeli İyileştirme (3+ Yıl):**

- Peyzaj Bağlantısı: Ekolojik koridorlarla parçalanmış habitatlar yeniden bütünleştirilmelidir.
- Adaptif Yönetim: Türlerin yaşama başarılarının izlenmesine dayalı dinamik yönetim stratejileri geliştirilmelidir.

### **III. Sosyo-Ekonomik Entegrasyon**

Ekolojik onarım süreçleri, yerel toplumların yaşam kalitesini de yükseltecek biçimde kurgulanmalıdır:

- Yerel Ekonomiye Katkı: Fide üretimi, saha uygulamaları gibi işlerde yerel istihdam sağlanmalı; bal üretimine uygun nektar bitkileri (örneğin kekik, adaçayı) teşvik edilmelidir.
- Toplumsal Katılım: Ağaç kampanyaları, gönüllü izleme ekipleri ve yangın farkındalık eğitimleri gibi katılımcı uygulamalar teşvik edilmelidir.
- Rekreatyoneel Yeniden Tasarım: Peyzaj estetiği ve ekoturizm olanakları dikkate alınarak yangın sonrası eğitim ve doğa yürüyüş rotaları oluşturulmalıdır.

### **IV. Kurumsal Altyapı Önerileri**

Restorasyon sürecinin sürdürülebilirliği, kurumsal yapıların güçlendirilmesiyle mümkündür:

- Veri Tabanı Oluşturulması: Yangın öncesi bitki örtüsü, toprak ve su kaynakları gibi veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla arşivlenmelidir.
- İş Birliği Mekanizmaları: Üniversitelerle Restorasyon Araştırma Merkezleri kurulmalı, STK'larla sivil koordinasyon sağlanmalıdır.
- Finansman Modelleri: AB destekli fonlardan yararlanılmalıdır.
- Yasal Düzenlemeler: İmar planlarında yangın tampon bölgeleri (ağaçsız alanlar, taş duvarlar vb.) yasal zorunluluk haline getirilmelidir.

### **V. Risk Yönetimi ve Geleceğe Hazırlık**

Peyzajın iklim değişikliği ve yangın risklerine karşı daha dirençli hale getirilmesi gerekmektedir:

- Proaktif Önlemler: Yangın riski yüksek alanlarda sulak alan tamponları, yangın koridorları gibi peyzaj tasarımları kullanılmalıdır.
- Akıllı Uyarı Sistemleri: Uydu görüntüleri ve yer sensörlerine dayalı erken uyarı sistemleri geliştirilmelidir.
- İklim Senaryolarına Uyum: Kuraklığa ve sıcaklığa dayanıklı türlerin genetik kaynaklarının korunması amacıyla gen bankaları oluşturulmalıdır.

Sonuç olarak, uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen bu bulgular, yangının mekânsal yayılımı ve şiddetinin nesnel olarak belgelenmesine olanak tanımış; aynı zamanda yangın sonrası peyzaj restorasyonu çalışmalarında karar destek verisi olarak kullanılmak üzere güçlü bir bilimsel temel sunmuştur.

## **TARTIŞMA ve SONUÇ**

İklim değişikliği, küresel sıcaklık artışı, değişen yağış rejimleri ve artan kuraklık dönemleri aracılığıyla orman yangınlarının sıklığını, şiddetini ve yayılımını önemli ölçüde artırmaktadır (Hekimoğlu et al., 2008; Feyen et al., 2020; Ünlü, 2025). Artan sıcaklıklar, bitki örtüsünün yanıcılığını ve yangına duyarlılığını yükselterek yangın sürecinin uzamasına neden olurken,

ekstrem hava olaylarının artması yangın riskini katlanarak büyütmektedir. Bu durum, hem ekosistemlerin işlevselliğini hem de karbon döngüsünü olumsuz etkileyerek, iklim değişikliğinin yangın döngüsünü besleyen geri besleme mekanizmalarını tetiklemektedir. Dolayısıyla, iklim değişikliği ile orman yangınları arasındaki karmaşık ve karşılıklı etkileşim, sürdürülebilir orman yönetimi ve afet risk azaltma stratejilerinin iklim adaptasyon politikalarıyla entegre edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışma, Orhaneli-Harmancık bölgesinde meydana gelen orman yangını sonrası peyzaj bozulmalarını görüntü işleme tekniği kullanarak mekânsal olarak analiz etmiş ve matematiksel modellerle hasar şiddetini nicelendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, yangının özellikle topografyanın ve hâkim rüzgâr yönünün etkisiyle heterojen bir hasar deseni oluşturduğunu göstermiştir. Yüksek şiddetli hasar gören alanlar, Şekil 6'daki Sentinel-2 bant numaraları ve dalga boyları temel alınarak belirlenmiştir; bu alanlar, NIR (Bant 8: 842 nm) yansımalarının düşük (%10-20 altı) ve SWIR (Bant 11-12: 1610-2190 nm) yansımalarının yüksek (> %30) olduğu bölgeler olarak anlaşılmaktadır. Bu bulgular, toprak organik maddesinin tamamen yandığı, yüzey erozyonu riskinin kritik seviyelere ulaştığı ve bitki örtüsünün neredeyse tamamen ortadan kalktığı gözlemlerini destekler.

Bu bulgular, Akdeniz ve yarı-kurak ekosistemlerdeki benzer yangın sonrası çalışmaların (Tonbul, 2015; Calda ve ark., 2020;) sonuçlarıyla uyumludur. Jegan et al., (2025) orman yangını görüntü tespiti için ResNet-18 çoklu çözünürlük özellikleri ve çekirdek aşırı öğrenme makinesi (KELM) kullanarak sınıf dengesizliği sorununa yönelik özgün bir yöntem geliştirmiştir. Ancak, bu çalışmada kullanılan açık erişimli Google Colab ortamında Python tabanlı görüntü işleme yöntemi ile kodların oluşturulması ve makine öğrenmesi sınıflandırması yaklaşımı, hasarın mekânsal analizinde daha yüksek mekânsal çözünürlük ve doğruluk sağlayarak, geleneksel arazi envanterlerine göre daha hızlı ve kapsamlı bir değerlendirme imkânı sunmuştur.

Görüntü işleme sonrası elde edilen sayısal veriler, Şekil 6'daki Sentinel-2 bant dalga boyları (örneğin, NIR Bant 8: 842 nm ve SWIR Bant 11-12: 1610-2190 nm) temel alınarak hesaplanan spektral indekslerle değerlendirilmiştir; Şekil 7'de gösterilen spektral yansıma eğrileri, sağlıklı bitki örtüsünde NIR'de %40-60 yansıma zirvesi sergilerken, yanmış alanlarda bu değer %10-20'ye düşmekte ve SWIR'de %25-40 artış gözlenmekte olup, NBR indeksi ortalama -0.15 (dNBR >0.44) ile yüksek şiddetli yanık bölgelerini doğrulamakta, NDVI'de <-0.1 düşüş ve erozyon riskinde %30-40 artışla bitki örtüsü kaybı ve toprak duyarlılık sayısal göstergelerle desteklemektedir.

Çalışmanın en dikkat çekici bulgularından biri, yangın şiddeti ve yayılım modelinin, iklim değişikliği projeksiyonları altında giderek daha sık ve şiddetli hale gelecek yangın rejimleriyle tutarlılık göstermesidir. Bu yangın, sadece geçmişteki bir olay değil, gelecekteki iklim koşullarında beklenen yangınların bir prototipidir. Bu bağlamda, geleneksel restorasyon yaklaşımlarının ötesinde, iklim değişikliğine dirençli (climate-resilient) ve adaptif ekosistemler oluşturmayı hedefleyen stratejilerin benimsenmesi kritik önem taşımaktadır (Fidanboly ve ark., 2022; Güney, 2024). Bursa Orhaneli-Harmancık yangın sahasının restorasyonunda, alanın konumlandığı B2 floristik karesinin (Şekil 2) doğal bitki örtüsünü temsil eden *Quercus* spp. *Pinus nigra* ve *Cistus* spp. gibi doğal bitki türlerin seçimi, ekolojik ve fonksiyonel restorasyonu maksimize etmektedir. Bu türlerin yangın sonrası adaptasyon mekanizmaları, toprak stabilizasyonu, erozyon kontrolü ve biyoçeşitliliğin korunmasında önemli rol oynayarak ekosistem iyileşmesini hızlandırır. Bu yangın, iklim değişikliği kaynaklı

artan sıcaklıklar, uzayan kurak periyotlar ve şiddetli meteorolojik olayların orman ekosistemlerini yangına karşı giderek daha savunmasız hale getirdiğinin çarpıcı bir göstergesidir. 2025 yılında gerçekleşen büyük ölçekli orman yangını sonucunda ekolojik bütünlük ciddi biçimde zarar görmüş ve bu durum, yangın sonrası peyzaj değişimlerinin yakından izlenmesini zorunlu kılmıştır. Ancak, bu tür kritik afetlerin ardından etkili bir peyzaj restorasyon stratejisinin eksikliği, ekosistemlerin iyileşme sürecini olumsuz etkilemekte ve sürdürülebilir yönetim açısından önemli bir boşluk yaratmaktadır. Bu nedenle, yangın sonrası oluşan tahribatın etkili biçimde giderilmesi ve ekolojik dengeyi yeniden sağlamaya yönelik kapsamlı ve stratejik bir eylem planının geliştirilmesi hayati bir öneme sahiptir.

### YAZAR KATKILARI

Yazar katkıları eşit orandadır.

### FİNANSAL DESTEK BEYANI

Çalışma için herhangi bir maddi destek alınmamıştır.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır

### ETİK KURUL ONAYI

Bu çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.

### KAYNAKLAR

- Abatzoglou, J.T., & Kolden, C.A., & Cullen, A.C., & Sadegh, M., & Williams, E.L., & Turco, M., & Jones, M.W. (2025). Climate change has increased the odds of extreme regional forest fire years globally. *Nature Communications* (2025), 16:6390 <https://doi.org/10.1038/s41467-025-61608-1>.
- Atalay, İ., & Efe, R. (2015). *Türkiye biyocoğrafyası* (1. baskı). İzmir: META Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Bağcıvan, G., & Daşkın, R. (2020). Orhaneli ilçesinin vasküler bitki çeşitliliği (Bursa, Türkiye). *KSU Tarım ve Doğa Dergi*, 23 (2): 416-434.
- Bardakcioğlu, Ç. (2016). *Bursa İli Büyükorhan, Harmancık, Keles ve Orhaneli ilçelerinin likenleri üzerinde taksonomik incelemeler* (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Başaran, N., & Matcı, D. K., & Avdan, U. (2022). Using multiple linear regression to analyze changes in forest area: The case study of Akdeniz Region. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 247–263. <https://doi.org/10.26833/ijeg.976418>.
- Bontrager, J.D., & Morgan, P., & Hudak, A.T., & Robichaud, P.R. (2019). Long-term vegetation response following post-fire straw mulching. *Fire Ecol.* <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0037-9>.

- Calda, B.A.N., & Turp, M. T., & Kurnaz, L. (2020). İklim değişikliğinin Akdeniz havzasındaki orman yangınlarına etkisi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 32(1), 15-32.
- Copernicus Browser, (2025). Sentinel-2 L2A. URL: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>. Erişim Tarihi: 24.07.2025
- Coşkun, M., & Toprak, F. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği. *Geomatik*, 8(3), 250-263
- Çamalan, G., & Akıl, S., & Pekin, M. A. (2023). Using meteorological early warning system (MEUS) and meteorological indices for assessment of Manavgat forest fires occurred in Türkiye July-August 2021. *Eur J Forest Eng* 2023, 9(1):10-25
- Davis, PH. (1965-1985). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Volume 1-9, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
- Faivre, N., & Xanthopoulos, F., & Moreno, J., & Calzada, V., & Xanthopoulos, G., & Rego, F.C., & Moreno Rodriguez, J.M., & Vallejo, V.R., & Xanthopoulos, G. (2018). *Forest fires: Sparking firesmart policies in the EU*. Publications Office of the European Union, Brussels. [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/forest-fires-sparking-firesmart-policies-eu\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/forest-fires-sparking-firesmart-policies-eu_en).
- FAO, (2006). Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. Fire management: Global assessment 2006. *FAO Forestry*, 151.
- Feng, S., & Zscheischler, J., & Hao, Z., & Bevacqua, E. (2025). Growing human-induced climate change fingerprint in regional weekly fire extremes. *Climate and Atmospheric Science*. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-01021-z>.
- Feyen, L., & Ciscar, J. C., & Gosling, S. (2020). JRC Politika için Bilim Raporu.
- 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 . DOI: 10.17568/ogmoad.1066557.
- Güney, C.O. (2024). *İklim değişikliğinin etkisi altında orman yangınlarına karşı dirençli toplumlar oluşturmak*. Uluslararası Katılımlı Yangın Sempozyumu ve Sergisi // 3 1 -4 Ekim 2024 / İzmir
- Güven, D., (2024). *Bazı sert çekirdekli meyvelerde görüntü işleme teknikleri kullanılarak yaprak delen (Wilsonomyces Carpophilus Lév.) hastalığının hasar düzeyinin belirlenmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tokat.
- Grünig, M., & Seidl, R., & Senf, C. (2023). Increasing aridity causes larger and more severe forest fires across Europe. *Global Change Biology*, 29(6): 1648-1659
- Yıldız, H., & Mermer, A., & Ünal, E., & Akbaş, F. (2012). Türkiye bitki örtüsünün NDVI verileri ile Zamansal ve Mekânsal Analizi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 2012, 21 (2): 50-56.
- Hield, J. L., & Kanemasu, E. T., & Asrar, G., & Jackson, R. D., & Pinter, P. J. Jr., & Reginato, R. J., & Idso S. B. (1985). Leaf area estimates from spectral measurements over various planting dates of wheat. *Int.J. Remote Sens.* 6 167–75.
- Hekimoğlu, B., & Altindeğer, M. (2008). Küresel ısınma ve iklim değişikliği. *Samsun Valiliği İl Tarım Müdürlüğü*, 1-79.
- Holik, J., & Janik, D., & Samonil, P., & Hort, L., & Kral, K. (2025). Topographic conditions dominate tree species recovery over 15 years post-fire in a temperate *Pinus sylvestris* forest. *Fire Ecology* <https://doi.org/10.1186/s42408-025-00374-3>.
- Jegan, R., & Birajdar, G. K., & Chauhari, S. (2025). Deep residual multi-resolution features and optimized Kernel ELM for forest fire image detection using imbalanced database. *Fire Technology* <https://doi.org/10.1007/s10694-025-01729-7>.

- Karadaş, G., (2025). Ekosistem hizmetlerinin korunan alanların sürdürülebilir yönetimindeki rolü: Belemelik Tabiat Parkı örneği. *Mekânsal Araştırmalar Dergisi*, 3(1):35-48. <https://doi.org/10.71298/maddergi.1670016>.
- Kemer, N. (2022). Orman yangınları ve sonrası: Orman ekosistem restorasyonu. *European Journal of Science and Technology*, (33), 373-381.
- Kırış, R., & Toprak, S. (2007). *İklim değişikliğinde ormanların rolü*. Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi, 379–384.
- Key, C. H., & Nathan, C. B. (2006). Landscape Assessment (LA). 55.
- Lopes, L. F., & Dias, F.S., & Fernandes, P.M. (2024). A remote sensing assessment of oak forest recovery after postfire restoration. *European Journal of Forest Research* (2024) 143:1001–1014 <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01667-z>.
- 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 (2007) 66–80. doi:10.1016/j.rse.2006.12.006.
- Pausas, J. G., Keeley, J.E., (2021). Wildfires and global change. *Front Ecol Environ* 19:387–395. <https://doi.org/10.1002/fee.2359>.
- Parks, S.A., & Holsinger, L.M., & Panunto, M.H., & Jolly, W.M., & Dobrowski, S.Z., & Dillon, G.K. (2018). High-severity fire: Evaluating its key drivers and mapping its probability across western US forests. *Environ. Res. Lett.* 13 (2018) 044037 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab791>.
- Perihanoğlu, GM., (2015). *Dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntülerden detay çıkarımı* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ribeiro, C., & Valente, S., Fleskens, L., & Keizer, J.J., & Coelho, C. (2020) Per spetivas de Gestão Pós-Fogo: Revisão da Literatura e Análise dos Discursos dos Agentes em Portugal. *Silva Lusit* 28:131–154. <https://doi.org/10.1051/silu/20202802115>.
- Robichaud, P.R., & Lewis, S.A., & Brown, R.E., & Ashmun, L.E. (2009). Emergency post-fire rehabilitation treatment effects on burned area ecology and long-term restoration. *Fire Ecol* 5:115–128. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0501115>.
- Rogers, B.M., & Balch, J.K., & Goetz, S.J., & Lehmann, CER., & Turetsky, M. (2020). Focus on changing fire regimes: interactions with climate, eco systems, and society. *Environ Res Lett* 15:030201. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d3a>.
- Sanna, A., & Chamberlain, C., & Prichard, S.J., & Cansler, C.A., & Hudak, A.T., & Bienz, C., & Moskal, L.M., & Kane, V.R. (2025). Assessing fuel treatments and burn severity using global and local analyses. Sanna et al. *Fire Ecology* (2025) 21:44 <https://doi.org/10.1186/s42408-025-00387-y>.
- Supriya, Y., & Gadekallu, T.R. (2023). Particle swarm based federated learning approach for early detection of forest fires. *Sustainability*, 15(2): 964 <https://doi.org/10.3390/su15020964>.
- Taş, K.A., & Benliay, A. (2025). Yanmış orman alanlarının ekolojik restorasyonu için uzaktan algılama ve yapay sinir ağları kullanımına dayalı yaklaşımlar. *PEYZAJ - Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi (PEYZAJ)*, 7(1):54-64
- Tonbul, H. (2015). *Uydu görüntü verileri kullanılarak orman yangın şiddeti ve yangın sonrası durumun zamansal olarak incelenmesi: Akdeniz bölgesi örneği* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tucker, C. (1979). Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8, 127- 150.

- TÜBİVES, (2025). Türkiye Bitkileri Veri Servisi. URL: [http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=hizli\\_ara](http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=hizli_ara). Erişim tarihi: 11.08.2025
- Uygun, T., Özgüven, MM., Yanar, D., (2020). A new approach to monitor and assess the damage caused by two-spotted spider mite. *Experimental and Applied Acarology* (2020) 82:335–346 <https://doi.org/10.1007/s10493-020-00561-8>.
- Ünlü, M. (2025). Orman varlığı ve orman yangınlarının etkisi. *International Journal of Geography and Geography Education*, (55), 212-229.