

**UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ
İLE ORMAN YANGINLARININ ZAMANSAL
ANALİZİ: 2021 YILI AKDENİZ VE
EGE YANGINLARI**

**TEMPORAL ANALYSIS OF FOREST FIRES
WITH REMOTE SENSING TECHNOLOGIES:
MEDITERRANEAN AND AEGEAN FIRES IN 2021**

Prof. Dr. Taşkın Kavzoğlu
TÜBA Asosye Üyesi / TÜBA Associate Member

Doç. Dr. İsmail Çölkesen
Dr. Hasan Tonbul
Arş. Gör. Muhammed Yusuf Öztürk

**Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU / Gebze Teknik Üniversitesi /
kavzoglu[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9779-3443**

Taşkın Kavzoğlu, uzaktan algılama alanında 20 yılı aşkın araştırma deneyimine sahip bir araştırmacıdır. Lisans derecesini Karadeniz Teknik Üniversitesi'nden sınıf birincisi olarak, Yüksek Lisans derecesini Nottingham Üniversitesinde onur öğrencisi olarak ve doktorasını aynı üniversitede uzaktan algılama alanında başarıyla tamamlamıştır. Doktora tez çalışması İngiltere Uzaktan Algılama ve Fotogrametri Derneği tarafından 2001 yılının en iyi doktora tezi olarak seçilmiş ve ödüllendirilmiştir. 1998'deki ilk yayınından bu yana, hakemli dergilerde ve konferans bildirilerinde 100'den fazla yayını bulunmaktadır. Halen Gebze Teknik Üniversitesi'nde Mühendislik Fakültesi Dekanı olarak görev yapmakta olup Türk ve Malezya üniversitelerinde lisansüstü tezler için sınav jürisi olarak görevler yapmaktadır. Başlıca araştırma alanları; doğal kaynakların uzaktan algılama ile izlenmesi, derin öğrenme, makine öğrenimi, zamansal değişim analizleri, nesne tabanlı görüntü analizi ve heyelan duyarlılık haritalamasıdır. Birçok ulusal ve uluslararası oturumunda başkan olarak görev yapan Prof. Kavzoğlu, 6 dergide editörler kurulunda yer almakta ve 130'den fazla dergi için aktif hakemlik görevi yürütmektedir. Türkiye Bilimler Akademisi, Uzaktan Algılama ve Fotogrametri Derneği (İngiltere), Amerika Jeofizik Birliği, Amerika Coğrafyacılar Birliği, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği ve IEEE Yerbilimi ve Uzaktan Algılama Birliği üyesidir.

**Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU / Gebze Technical University /
kavzoglu[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9779-3443**

Taskin Kavzoglu is a senior researcher with more than 20 years of experience in Earth observation and remote sensing. He received his B.Sc. as the first student in his class from Karadeniz Technical University, M.Sc. (with Distinction) and Ph.D. in Remote Sensing from Nottingham University (UK). His dissertation was selected and awarded as the best doctoral dissertation of 2001 by the Remote Sensing and Photogrammetry Society. Since his first publication in 1998, he has now author of more than 100 papers in peer-reviewed journals and conference proceedings. Currently, he is Acting Dean of Engineering Faculty and has been acting as an external examiner for graduate thesis in Turkish and Malaysian universities. His research interests include remote sensing of natural resources, deep learning, machine learning, change detection, object-based image analysis and landslide susceptibility mapping. Acting as a chairman in many national and international conference sessions, Prof. Kavzoglu is in the editorial board of six journals and acts as a reviewer for more than 130 scientific journals. He is a member of Turkish Academy of Sciences, the Remote Sensing and Photogrammetry Society (UK), American Geophysical Union, American Association of Geographers, Turkish Photogrammetry and Remote Sensing Society and IEEE Geoscience and Remote Sensing.

**Doç. Dr. İsmail ÇÖLKESEN / Gebze Teknik Üniversitesi /
icolkesen[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-9670-3023**

Lisans eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümü bölüm birincisi olarak tamamlayan İsmail Çölkesen, doktora derecesini uzaktan algılama alanında İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümünden almıştır. Şu an Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünde Doçent Doktor olarak görev yapmaktadır. İlgili alanları arasında dijital görüntü işleme, arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırması, nesne tabanlı görüntü analizi, makine öğrenmesi (destek vektör makineleri, karar ağaçları, rastgele orman, toplu öğrenme algoritmaları ve derin öğrenme) ve uygulamaları yer almaktadır. Son 12 yılda, arazi örtüsü/arazi kullanımı sınıflandırması dışında, heyelan duyarlılık haritalaması ve taşınmaz değerlendirme olmak üzere makine öğrenmesine dayalı farklı uygulamalar üzerinde çalıştı. 20'den fazla uluslararası dergide yayınlanmış makale dahil olmak üzere 60'tan fazla yayının yazarlığını veya ortak yazarlığını yapmıştır. 2015 yılından itibaren Lisans ve Yüksek Lisans düzeyinde uzaktan algılama, sayısal görüntü işleme ve bilgisayar programlama ile ilgili dersler vermekte ve öğrencilere danışmanlık yapmaktadır.

Assoc. Prof. Dr. Ismail COLKESEN / Gebze Technical University / icolkesen[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-9670-3023

Ismail Colkesen received his B.Sc. in Geodesy and Photogrammetry as the first student in his class from Karadeniz Technical University (Turkey) and received the Ph.D. degree in remote sensing from the Department of Geomatics Engineering of Istanbul Technical University (Turkey), in 2015. He is currently an Associate Professor in the department of Geomatics Engineering at Gebze Technical University. His research interests include digital image processing, land use and land cover classification, object-based image analysis, machine learning (support vector machines, decision trees, random forest, ensemble learning algorithms and deep learning) and its applications. Over the past 12 years, he has worked on different applications of machine learning, including but not limited to land cover/land use classification, landslide susceptibility mapping and mass appraisal. He has authored or coauthored more than 60 publications, including over 20 peer-reviewed journal publications. He has been teaching courses related to remote sensing, digital image processing and computer programming, supervising students at the undergraduate and graduate levels since 2015.

**Dr. Hasan TONBUL / Gebze Teknik Üniversitesi /
htonbul[at]gtu.edu.tr / ORCID 0000-0003-4817-6542**

Hasan Tonbul İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği lisans bölümünden 2013 yılında mezun olmuştur. İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansını 2015 yılında tamamlamıştır. Doktora çalışmasını uzaktan algılama alanında Gebze Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Coğrafi Teknolojileri programında 2021 yılında tamamlamıştır. Halen Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünde Dr. olarak görev yapmaktadır. Başlıca araştırma alanları arasında; nesne tabanlı görüntü analizi, görüntü segmentasyonu, parametre optimizasyonu ve orman yangınlarının uzaktan algılama ile incelenmesi yer almaktadır. Ulusal ve uluslararası hakemli dergilerde ve konferans bildirilerinde yayınlanmış 20'den fazla yayını bulunmaktadır.

**Dr. Hasan TONBUL / Gebze Technical University /
htonbul[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-4817-6542**

Hasan Tonbul graduated from Istanbul Technical University, Department of Geomatics Engineering in 2013. He completed his M.Sc. degree in Geomatics Engineering at Istanbul Technical University in 2015. He completed his Ph. D. in the field of remote sensing at Gebze Technical University Geodesy and Geographical Technologies program in 2021. He is currently working as a PhD. in the Department of Geomatics Engineering at Gebze Technical University. His main research areas include object-based image analysis, image segmentation, parameter optimization, and investigation of forest fires using remote sensing. He has more than 20 publications published in national and international refereed journals and conference proceedings.

**Arş.Gör. Muhammed Yusuf ÖZTÜRK / Gebze Technical University /
m.ozturk[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-6459-9356**

Muhammed Yusuf ÖZTÜRK, Konya Teknik Üniversitesi'nden harita mühendisliği bölüm birincisi ve yüksek onur öğrencisi olarak 2019 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimini Gebze Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Coğrafi Teknolojileri programında uzaktan algılama alanında sürdüren Muhammed Yusuf ÖZTÜRK. Gebze Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Başlıca araştırma alanları arasında sayısal görüntü işleme, piksel tabanlı görüntü analizi, makine öğrenmesi algoritmaları ile görüntü sınıflandırması gelmektedir. Farklı konferans bildirileri ve ulusal hakemli dergide yayımlanmış çeşitli yayınları bulunmaktadır.

**Res.Asst. Muhammed Yusuf ÖZTÜRK / Gebze Technical University /
m.ozturk[at]gtu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-6459-9356**

Muhammed Yusuf ÖZTÜRK graduated from Konya Technical University, Department of Geomatics Engineering in 2019 as the first and high honor student in his class. He, continuing his M.Sc. degree in the field of remote sensing at Gebze Technical University Geodesy and Geographical Technologies program, works as Research Assistant in the Department of Geomatics Engineering at Gebze Technical University. His main research interest includes digital image processing, pixel-based image analysis and image classification with machine learning algorithms. He has various publications published in national refereed journals and conference proceedings.

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ İLE ORMAN YANGINLARININ ZAMANSAL ANALİZİ: 2021 YILI AKDENİZ VE EGE YANGINLARI

Özet

Bu çalışmada, Manavgat, Bodrum ve Marmaris ilçelerinde 2021 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında yaşanan orman yangınlarının uzaktan algılama teknikleri kullanarak çok zamanlı optik uydu görüntüleriyle analiz edilmesi ve hasar gören alanlara ait sınırların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Yangın öncesi, yangın esnası ve yangın sonrası dönemlerde algılanan ve Avrupa Uzay Ajansı tarafından ücretsiz olarak sunulan Sentinel-2 görüntüleri bu amaç doğrultusunda temin edilmiştir. Yapılan analizler sonucu Manavgat'ta başlayan yangının 47.824 ha alana hasar verdiği ve yangından etkilenen alanın yaklaşık %59'nun yangın başladıktan sonraki ilk iki gün içinde oluştuğu tespit edilmiştir. Muğla'da her iki çalışma bölgesinde başlayan orman yangınlarının 10.000 ha üzerindeki alanda etkili olduğu gözlemlenmiştir. Her bir çalışma alanına ait yangın esnası ve sonrası dönemlerdeki yanma şiddeti seviyelerinin hem görsel hem de metrik olarak değerlendirilmesi için yanma şiddeti fark haritaları üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanlarında her iki zamansal dönemde yüksek yanma şiddetli alanların daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, beş spektral indeksin (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Orta Kızılötesi Yanma İndeksi (MIRBI), Yanmış Alan İndeksi (BAI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) ve Kömürleşmiş Toprak İndeksi (CSI) hasar gören alanların sınırlarının belirlenmesi üzerindeki performanslarının karşılaştırmaları M-istatistiği değerlerine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma sonuçları, yanan alanları yanmamış alanlardan ayırmada en etkili iki indeksin NDVI ve NBR indeksleri olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler:

Orman yangını, Sentinel-2, Spektral indisler, Uzaktan algılama, Yanma şiddeti

TEMPORAL ANALYSIS OF FOREST FIRES WITH REMOTE SENSING TECHNOLOGIES: MEDITERRANEAN AND AEGEAN FIRES IN 2021

Abstract

The aim of this study is to analyze the forest fires, occurred in Manavgat, Bodrum and Marmaris districts in July and August 2021, using remote sensing techniques with multi-temporal optical satellite images and to determine the boundaries of the damaged areas. ESA's Sentinel-2 images acquired before, during and after fires were obtained for the analyses. Estimated results revealed that Manavgat fire damaged 47,824 ha areas and 59% of the burned area occurred within the first two days. The forest fires taken place in Muğla province were effective in an area of over 10,000 ha. Burn severity difference maps were also produced to evaluate both the visual and metric comparison of the burn severity levels of each study area during and after the forest fires. According to the obtained results, the areas labelled as high burn severity were much higher in both temporal periods for the study areas. Furthermore, the performance comparison of 5 spectral indexes (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Mid-infrared Burn Index (MIRBI), Burn Area Index (BAI), Normalized Burn Ratio (NBR) and Chlorophyll Sensitive Index (CSI) in detecting of the boundaries of the damaged areas was performed based on M-statistics, and results showed that NDVI and NBR were the two most effective indices in separating the burnt areas from the unburned areas.

Keywords:

Forest fire, Sentinel-2, Spectral indices, Remote sensing, Burn severity

Giriş

Ormanlar, kapsadığı alan ve üstlendiği görev bakımından doğal dengenin korunması, çevrenin, biyolojik çeşitliliğin ve sürdürülebilirliğin devamı noktasında çok sayıda fayda sağlayan en değerli doğal kaynaklar arasındadır (Gheshlaghi, 2019; Ozenen Kavlak, Cabuk & Cetin, 2021; Tonbul, Kavzoglu & Kaya, 2016). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization - FAO) tarafından yayınlanan 2020 Küresel Orman Kaynakları Değerlendirme raporuna göre orman alanları, 2020 yılı itibarıyla dünyadaki toplam arazi alanının %31'ne karşılık gelen 4,06 milyar hektarlık alanı kapsamaktadır. Buna karşın son 30 yıl içerisinde toplam orman alanlarının yaklaşık 178 milyon hektarlık kısmı kaybedilmiştir (FAO, 2021). Nüfus artışı, kentleşme, tarımsal faaliyetler ve madencilik çalışmaları gibi orman alanları üzerinde baskı oluşturan temel etmenlerin yanında, orman yangınları da orman varlığında bozulmalara ve azalmaya neden olan önemli etmenlerden birisidir. Orman yangınları, orman, otlak veya çayır gibi doğal alanlarda ortaya çıkabilen plansız yangınlardır. Bu yangınlar herhangi bir zamanda veya herhangi bir yerde meydana gelebilirken, genellikle insan faaliyetleri veya yıldırım gibi doğal olaylar nedeniyle ortaya çıkmaktadırlar. Bunun yanında kuraklık gibi aşırı kuru iklimsel koşullar ve şiddetli rüzgârlar orman yangını riskini artırabilen diğer önemli unsurlardır.

Orman Genel Müdürlüğü 2020 yılı Ormancılık İstatistiklerine göre; Türkiye'de orman alanları 1973'te yaklaşık 20 milyon hektarlık bir alana sahipken, 2020 yılı itibarıyla %13'lük bir artışla yaklaşık 23 milyon hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Bu duruma karşın ülkemizde 1988 yılından günümüze kadar 357.795 hektarlık bir alan orman yangınları neticesinde zarar görmüştür. Türkiye'de 2019 yılında 2.688 orman yangını hadisesi yaşanırken, 2020 yılı itibarıyla yaşanan orman yangınlarında bir artış görülmüş ve 3.399 yangın hadisesi kayıtlara geçmiştir. 2020 yılında yaşanan orman yangınlarının çıkış nedenleri incelendiğinde, yangınların %55'inin sebebinin bilinmediği, %34'ünün ihmâl kaynaklı olduğu, %9'unun doğal olaylar nedeniyle gerçekleştiği ve %2'lik kısmının ise kasıtlı olarak çıkarıldığı ifade edilmektedir (OGM, 2020). Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (European Forest Fire Information System - EFFIS) verilerine göre 2021 yılı içerisinde ülkemizde 227 adet orman yangını hadisesinin ya-

şandığı ve toplam 192.615 hektarlık alanda etkili olduğu rapor edilmiştir (URL-1, 2021). Özellikle 28 Temmuz'da Antalya'nın Manavgat ilçesinde başlayan ve Ağustos ayı itibariyle çoğunlukla Akdeniz, Ege, Marmara ve Karedeniz bölgelerinde yaşanan yangın hadiseleri geniş alanlarda etkili olmuş, can ve mal kayıplarına sebebiyet vermiştir.

Orman yangınlarının izlenmesi, yanan alanlardaki tahribatın haritalandırılması ve yangın sonrasında yanan alanlarda zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin tespit edilmesi sürdürülebilir ve etkili bir orman yangın yönetimi için oldukça önemlidir (Tonbul, Colkesen & Kavzoglu, 2019). Yangın hadisesi hakkında doğru ve güvenilir bilgiye sahip olmak, yangına neden olan faktörlerin azaltılması, yangından etkilenebilecek alanların önceden kestirimi ve buna bağlı olarak yangın önleme faaliyetlerinin planlanması açısından önemli bir husustur (Vilar, Camia & San-Miguel-Ayanz, 2015). Bu noktada, uzaktan algılama teknolojileri ve söz konusu teknolojilerin temel ürünü olan uydu görüntüleri orman yangınlarının takibi ve yanmış alanların haritalanması ve zamana bağlı değişimlerin takibi noktasında önemli avantajlar sağlamaktadır. Nitekim farklı mekânsal, spektral ve zamansal çözünürlüklerde görüntüleme yapılmasına imkân sağlayan uzaktan algılama teknolojileri, orman yangınları ile ilgili yapılan çalışmalarda güvenilir bilgi toplanmasında başvurulan önemli bir kaynak durumundadır. Uydu görüntülerinin yangın hadisesinde en sık kullanıldığı alanlardan birisi yanmış alanların haritalanmasıdır. Uydu görüntüleri yardımıyla yanmış alanların haritalanması 1980'li yıllardan günümüze kadar önemli bir çalışma konusu olmakla birlikte, günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak gelişmiş uzaktan algılama sistemleri ile elde edilen uydu görüntülerinin ve makine öğrenmesi gibi ileri tahmin yaklaşımlarının bir arada kullanımı söz konusudur (Chuvieco vd., 2019). Bu bağlamda, gerçekleştirilen ilk çalışmalar uydu sensörleri tarafından ölçülen spektral değişikliklere bağlı olarak yangının neden olduğu bitki örtüsündeki değişiklikleri ortaya çıkarsa da sonraki yıllarda yapılan çalışmalar, ekolojik önlemleri yangının neden olduğu fiziksel değişikliklerle ilişkilendirmeye çalışmıştır (Jakubauskas, Lulla & Mausel, 1990; White vd., 1996). Yangın hadisesinin ardından bitki örtüsünün kömürleşmesi ve yok olması ile ilgili vejetasyonda meydana gelen değişimler elektromanyetik spektrumun görünür yakın kızılötesi bölgesinde (0,4-1,3 μm) yüzey yansımaya değerlerinde ciddi bir azalmaya neden

olmaktadır (Trigg & Flasse, 2000). Bununla birlikte, kömürleşmiş bitki örtüsü tarafından artan radyasyon emilimine ve yangın öncesi yeşil bitki örtüsüne göre azalan buharlaşmaya bağlı olarak kısa dalga kızılötesi bölgenin (1,6-2,5 μm) yüzey yansıma ve yüzey sıcaklığı değerlerinde artışlar görülmektedir (Chuvienco & Congalton, 2008).

Yangın sonrası meydana gelen değişimin derecesi, bitki örtüsü tipine, büyüme mevsimindeki yıllık sıcaklık farklılıklarına ve yangından sonra geçen toplam süreye bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Lentine vd., 2006). Bu nedenle yangın hadisesinin etkilerini ve bölgede meydana gelen ekolojik değişimleri değerlendirmek amacıyla yangın öncesi ve yangın sonrası uydu görüntüleri ile değişim analiz tekniklerinin kullanılması önerilmiştir (Hudak vd., 2006; Lentine vd., 2006; White vd., 1996). Uydu görüntülerinin yeterli konumsal ve spektral çözünürlüğe sahip olması koşuluyla, kanopi ölümü, yer kömürleşmesi ve toprak rengindeki değişiklikler gibi diğer yangın etkileri de kolayca tespit edilebilmektedir (White vd., 1996). Yanma olayı sonucunda vejetasyonda geniş spektral değişikliklerin gözlemlenmesi, Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (Normalized Burn Ratio (NBR)), Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) ve Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (Difference Normalized Burned Ratio (dNBR)) dahil olmak üzere çeşitli spektral indekslerin değişim analizinde kullanımını ortaya çıkarmıştır. Literatürde uzaktan algılanmış görüntüler yardımıyla yangın şiddetinin tespit edilmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda NBR ve dNBR indisleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Cocke, Fule & Crouse, 2005; Kavzoglu, Yildiz Erdemir & Tonbul, 2016; Tonbul vd., 2016; van Wagtenonk, Root & Key, 2004).

Küresel ölçekte yangın alanlarının izlenmesi ve haritalanmasında kullanılan düşük mekânsal çözünürlükteki uydu görüntüleri yanmış alanlara ilişkin detaylı metrik bilgiler sağlamakta yetersiz olduğundan, doğru ve güvenilir haritaların oluşturulmasında orta ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri tercih edilmektedir. Bu kapsamda, Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency-ESA) tarafından 2015 yılında uzaya gönderilen ve 5 günlük periyotlarda, 10m ve 20m mekânsal çözünürlüklerde yeryüzünü görüntüleme yeteneğine sahip olan Sentinel-2 uydu görüntüleri yanmış alanların haritalanmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Örneğin; Pacheco vd. (2021), 2019 yılında Portekiz'in Santarém ve Castelo Branco ilçelerinde meydana gelen ve yaklaşık 94 km²'de etkili olan orman yangınının haritalanmasında Landsat-8, Sentinel-2 ve Terra MODIS uydu görüntülerinden yararlanmıştır. Çalışma sonucunda daha yüksek mekânsal çözünürlük sağlayan Sentinel-2 görüntülerinin yanmış alanların haritalanmasında Landsat-8 ve MODIS görüntülerine göre daha başarılı olduğu vurgulanmıştır. Llorens vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, İber yarımadasında 2017 yılında meydana gelen orman yangınının etkili olduğu alanların haritalanmasında Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmış ve elde edilen metrik sonuçlar Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (European Forest Fire Information System-EFFIS) verileri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Sentinel-2 görüntüleri üzerinden hesaplanan dNBR indeks verilerine dayalı hesaplamaların orman yangını çalışmalarında EFFIS verilerine iyi bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, Sentinel-2 uydu görüntüleri yardımıyla 2021 Temmuz ve Ağustos aylarında Antalya ili Manavgat ilçesi, Muğla ili Bodrum ve Marmaris ilçelerinde meydana gelen orman yangınlarının çok zamanlı analizi ve yanmış alanların uzaktan algılama teknikleri tespiti ele alınmıştır. Söz konusu çalışma bölgelerine ait yangın öncesi ve sonrası Sentinel-2 görüntüleri temin edilmiş ve dNBR indisi kullanılarak yangın sonrası tahrip olmuş alanlar tespit edilmiştir. Ayrıca, Sentinel-2'nin sahip olduğu kombinasyonları yardımıyla hesaplanan farklı spektral indekslerin yanmış ve yanmamış alanların tespiti noktasındaki etkinliği araştırılmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

ÇALIŞMA ALANLARI

Bu çalışmada, Türkiye'de son yıllarda birçok yangın hadisesinin yaşandığı iller arasında yer alan Muğla ve Antalya'da 2021 yılı Temmuz ayı sonlarında başlayan ve Ağustos ayı ortalarına kadar devam eden orman yangınlarının neden olduğu tahribatın uzaktan algılanmış görüntüler yardımıyla belirlenmesi ve yangın şiddetine göre haritalandırılması amaçlanmıştır. Şekil 1'de 2021 yılında Antalya ili Manavgat ilçesi, Muğla ili Bodrum ve Marmaris ilçelerinde etkili olan orman yangınlarının çalışma alanındaki konumları gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanlarının konumları

İlk çalışma alanı olarak ele alınan Antalya ilinin Manavgat ilçesi yaklaşık 2.283 km² yerleşim alanını kapsamaktadır. Doğuda Serik ilçesi, batıda ise İbradi, Akseki, Gündoğmuş ve Alanya ile komşu olan çalışma alanının kuzeyinde Isparta ili yer almaktadır. Güney kesiminde Akdeniz'e uzanan 64 km'lik sahil şeridi ile çevrili olan Manavgat ilçesi sahip olduğu mavi bayraklı plajları ile önemli turistik cazibe merkezlerindedir. Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK) açıkladığı verilere göre ilçe nüfusu 2007 yılından bu yana yaklaşık %32 oranında artarak 2020 yılında 242.490 kişiye ulaşmıştır. Sahilden Toroslara kadar olan bölgelerde genellikle değişik türde meyve ve diğer türde ağaçların görüldüğü Manavgat'tın orman envanterinde sedir, çam ve köknar gibi ağaçların yanı sıra maki türü ağaçlar ve çalılıklar yer almaktadır. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nün resmî sitesinden alınan verilere göre, ilçe alanının yaklaşık %23'ünde (51.670 ha) ormanlık alanlar ve fundalıklar mevcuttur. Manavgat Kaymakamlığı'nın verilerine göre ilçe sınırları içerisinde yaklaşık 29.116,4 hektarlık alan sebze, meyve, süs bitkisi ve diğer tarla bitkilerinin yetiştirilmesinde kullanılmaktadır.

Değerlendirmeye alınan diğer bir çalışma alanı ise Muğla ilinin batısında yer alan Bodrum yarımadasıdır. Kuzey, batı ve güney kesimlerinin Ege Denizi'ne kıyısı olduğu ve doğusunda Milas ilçesinin yer aldığı yaklaşık 680 km²lik yüzölçümü ve 174 km uzunluğundaki kıyı şeridini kapsamaktadır. Sahip olduğu mavi bayraklı plajları, berrak suları ve ta-

rihi eserleri ile yerli ve yabancı turistlerin Türkiye’de tatil için tercih ettiği alanların başında gelmektedir. TÜİK 2020 yılında açıkladığı verilere göre Marmaris nüfusu son on yılda yaklaşık %31 artarak 181.541 kişiye ulaşmış ve Muğla ilinin en kalabalık ilçesi konumuna gelmiştir. Turistik faaliyetlere ek olarak, geniş alanları kapsayan yeşil bitki örtüsüyle de öne çıkan çalışma alanında kızılçam ormanları, mersin ve sandal ağaçları sıklıkla görülmektedir.

Son çalışma alanı ise yine Muğla ili sınırları içerisinde yer alan ve yaklaşık 900 km² yüz ölçümü ve 451 km kıyı şeridine sahip olan Marmaris ilçesidir. Kuzey kesimlerini Ege Denizi, batısını Datça yarımadası, doğusunu Köyceğiz ve Ula ilçelerinin çevrelediği çalışma alanının güney kesimlerinin ise hem Ege Denize hem de Akdeniz’e kıyısı bulunmaktadır. İğne yapraklı ormanlarla çevrili koyları ve doğal güzellikleri ile hem yurt içinden hem de yurt dışından birçok turisti ağırlayan Marmaris, ülkenin en önemli tatil beldelerinden birisidir. Turizm sektörüne ek olarak balıkçılık ve denizcilik faaliyetleri bölgenin en önemli geçim kaynakları arasındadır. 2020 TÜİK verilerine bölgede yaklaşık 96.000 kişi yaşamasına rağmen bu sayı yaz aylarında kat kat artmaktadır. Orman Genel Müdürlüğü ve Muğla Orman Bölge Müdürlüğü verilerine göre ilçe sınırları içerisinde 663 km²’lik bir alana yayılan orman alanları Muğla ilindeki tüm orman varlığının yaklaşık %8’ini oluşturmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Veri seti

Çalışma bölgelerinde meydana gelen orman yangınların etkili olduğu alanların tespit edilmesinde ve bu alanlara ait metrik analizlerin yapılmasında Sentinel-2 uydusundan elde edilen optik görüntülerden yararlanılmıştır. Sentinel-2 uydusu ESA ve Avrupa Komisyonu tarafından Kopernik programı kapsamında, yeryüzünün optik görüntülerinin elde edilmesi amacıyla geliştirilen yer gözlem uydu takımlarından biridir. Bu uydu takımı, birbiriyle eş zamanlı çalışan, güneşe senkronize yörüngeye aralarında 180° açı ile yerleştirilen Sentinel-2A ve Sentinel-2B olarak adlandırılan iki eş uydudan oluşur. Sentinel-2 uyduları 4 tane 10 m mekânsal çözünürlükte, 6 tane 20 m mekânsal çözünürlükte ve 3 tane de

60 m mekânsal çözünürlükte olmak üzere kullanıcılara toplam 13 spektral bantta görüntü sunan optik sensörler taşımaktadır (Tablo 1). Belirtilen spektral bantlardan 60 m mekânsal çözünürlüğe sahip olanlar genelde atmosferik düzeltme ve sirus bulutlarının taranmasında kullanıldığı için, arazi örtüsünün tespitine yönelik bilimsel çalışmalar ve diğer uygulamalarda genellikle 10 m ve 20 m mekânsal çözünürlükteki spektral bantlar kullanılmaktadır. Ücretsiz olarak servis edilen Sentinel-2 uydu görüntüleri spektral ve mekânsal çözünürlük noktasında kullanıcılara sunduğu önemli avantajların yanı sıra 5 günde bir görüntüleme yapma kabiliyeti nedeniyle, başta ürün gelişiminin izlenmesi, rekolte tahmini, doğal afetlerin yarattığı hasarların tespit edilmesi gibi birçok çalışmada temel veri seti olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1. Sentinel-2 uydu görüntüsünün bantları ve teknik özellikleri

Bant Adı	Bant Numarası	Merkez Dalga Boyu (µm)	Konumsal Çözünürlük (m)
Kıyı, Aerosol	Bant-1	0,443	60
Mavi	Bant-2	0,490	10
Yeşil	Bant-3	0,560	10
Kırmızı	Bant-4	0,665	10
Vejetasyon Kırmızı Kenar-1	Bant-5	0,705	20
Vejetasyon Kırmızı Kenar-2	Bant-6	0,740	20
Vejetasyon Kırmızı Kenar-3	Bant-7	0,783	20
Kızılötesi	Bant-8	0,842	10
Dar Kızılötesi	Bant-8A	0,865	20
Su Buharı	Bant-9	0,945	60
Saçak	Bant-10	1,375	60
Kısa Dalga Kızılötesi-1	Bant-11	1,610	20
Kısa Dalga Kızılötesi-2	Bant-12	2,190	20

Bu çalışmada, her bir çalışma alanı için Tablo 2’de gösterilen tarihlerde algılanan, atmosferik düzeltmeleri yapılmış ve belirtilen çerçeve numaralarına karşılık gelen Sentinel-2 görüntüleri www.scihub.copernicus.eu web adresinden temin edilmiştir. Her bir multispektral veri setinde 10m ve 20m mekânsal çözünürlüğe sahip bantlar değerlendirmeye alınmıştır. 20m çözünürlüğündeki 6 spektral bandın mekânsal çözünürlüğünün iyileştirilmesi amacıyla Selva vd. (2015) tarafından öne-

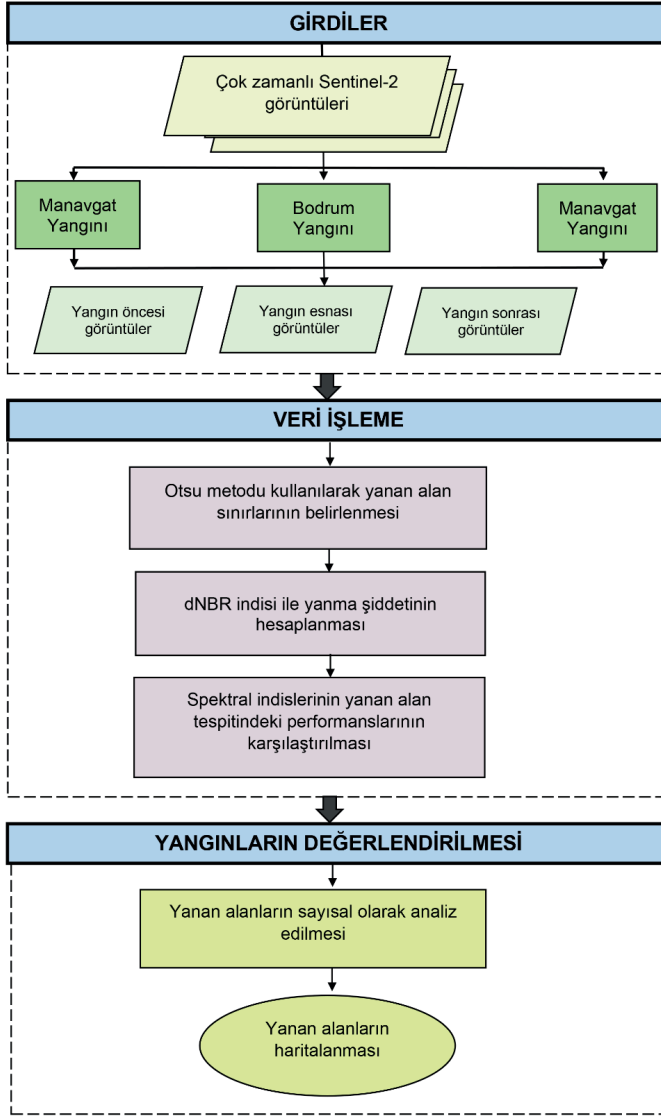
rilen yaklaşım kullanılmış ve Gram-Schmidt algoritması kullanılarak görüntü keskinleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Manavgat ilçesinde meydana gelen yangın zaman içerisinde geniş alanlara yayıldığı için yangın alanları tek bir görüntü çerçevesine sığmamıştır. Bu nedenle, yangın bölgesini içerisinde alan, belirtilen tarihlere karşılık gelen ve 10m mekânsal çözünürlüğe keskinleştirilmiş görüntü çerçeveleri R yazılımında mozaiklenmiştir.

Tablo 2. Çalışma alanlarında kullanılan görüntülere ait bilgiler

Çalışma Alanı	Tarih	Pencere No	Açıklama
Manavgat	20.07.2021	T36SUG	Yangın Öncesi
		T36SUF	
	30.07.2021	T36SUG	Yangın Anı
		T36SUF	
	14.08.2021	T36SUG	Yangın Sonrası
		T36SUF	
Bodrum	26.07.2021	T35SNB	Yangın Öncesi
	02.08.2021	T35SNB	Yangın Anı
	10.08.2021	T35SNB	Yangın Sonrası
Marmaris	28.07.2021	T35SPA	Yangın Öncesi
	02.08.2021	T35SPA	Yangın Anı
	07.08.2021	T35SPA	Yangın Sonrası

Metodoloji

Bu çalışmada, çok zamanlı Sentinel-2 uydu görüntüleri yardımıyla orman yangınlarının tespit edilmesi ve haritalanmasında Şekil 2’de gösterilen üç temel işlem adımı takip edilmiştir. İlk aşamada, Manavgat, Bodrum ve Marmaris yangınları için yangın öncesi, yangın sırası ve yangın sonrasına ait Sentinel-2 görüntüleri temin edilmiştir. İkinci aşamada, yanan alanların sınırları yangın öncesi ve yangın sonrasına ait fark görüntüleri kullanılarak detaylı olarak tespit edilmiş ve çeşitli spektral indislerin yanan alanları belirlemedeki performansları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Son aşamada ise yangınlar yanma şiddeti seviyelerine göre sınıflandırılarak yanan alanların büyüklükleri belirlenmiş ve bu alanlara ait tematik haritalar üretilmiştir.



Şekil 2. Çalışma kapsamında uygulanan iş akış diyagramı

Yanma Şiddeti Seviyelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, yanma şiddeti seviyelerini belirlemek için literatürde yaygın olarak kullanılan dNBR indeksinden faydalanılmıştır (Key & Benson, 2005). dNBR değerleri, yangın sonrası görüntüden hesaplanan NBR indeks değerlerinden yangın öncesi görüntüden hesaplanan NBR

indeks değerlerinin farkının alınması ile hesaplanmıştır. NBR ve dNBR indeksleri Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) yardımıyla hesaplanmaktadır. Eşitlik (1)'de *NIR* yakın kızılötesi bandı, *SWIR* ise kısa dalga kızıl ötesi bandı göstermektedir.

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

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

NBR indeksi, yangın öncesi ve sonrası görüntülerin Bant-8 (yakın kızılötesi) ve Bant-12 (kısa dalga kızıl ötesi) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Söz konusu spektral bantlar, yangın sonrası sağlıklı bitki örtüsüne kıyasla yakın kızılötesi bandındaki yansıtımın azalması ve kısa dalga kızıl ötesi banttaki yansıtımın artması prensibinden hareketle yangın sonrası ile ilgili birçok metriğin hesaplanmasında kullanılmaktadır (Key & Benson, 2005; Mitsopoulos vd., 2019). NBR indeksi -1 ile 1 arasında değerler alır ve en düşük indeks değeri yüksek oranda yanmış alanları göstermektedir. Öte yandan, dNBR indeksi -2 ile +2 arasında değerler alır ve yüksek pozitif değerler ciddi şekilde yanmış alanları temsil eder (Cai & Wang, 2020). Hesaplanan dNBR değerleri, USGS (United States Geological Survey) FIREMON (Fire Effects Monitoring And Inventory Protocol) tarafından belirlenen eşik değerlere dayalı olarak Tablo 3'te gösterildiği üzere beş yanma şiddeti kategorisi altında tanımlanmıştır.

Tablo 3. Yanma şiddeti sınıflarının eşik seviyelerinin uygulanmasında kullanılan dNBR değer aralıkları

Yanma Şiddeti Sınıfları	dNBR Aralığı
Yanmamış	-0,100 - +0,099
Düşük Şiddet	+0,100 - +0,269
Orta-Düşük Şiddet	+0,270 - +0,439
Orta-Yüksek Şiddet	+0,440 - +0,659
Yüksek Şiddet	+0,660 - +1,300

Orman yangınları sonrasında yanma şiddeti değişimlerinin tahminine dayanan standartlaştırılmış bir yanma şiddeti izleme yaklaşımı olan FIREMON birçok çalışmada kullanılmaktadır (Key & Benson, 2006; Tonbul vd., 2016; Chompuchan & Lin, 2017; Ariza, Salas & Merino de Miguel, 2019; Tonbul vd., 2019).

Spektral İndeksler

Literatürde yanmış alanların çıkarımında sıklıkla değerlendirmeye alınan beş farklı spektral indeks tüm yangınlar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan indekslerin formülleri, kısaltmaları ve referans kaynaklar Tablo 4’ de verilmiştir. Spektral indekslerin hesaplanmasına dair tüm işlemler ENVI (v.5.6) görüntü işleme yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Çalışmada kullanılan spektral indekslere dair bilgiler

İndeks	Kısaltma	Sentinel-2 İçin Formülasyon	Referans
Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi	NDVI	$\frac{(\text{Bant}8 - \text{Bant}3)}{(\text{Bant}8 + \text{Bant}3)}$	Tucker, 1979
Orta Kızılötesi Yanma İndeksi	MIRBI	$10 * \text{Bant}12 - 9.8 * \text{Bant}11 + 2$	Trigg ve Flasse, 2001
Yanmış Alan İndeksi	BAI	$\frac{1}{(0.1 - \text{Bant}4)^2 + (0.06 - \text{Bant}8)^2}$	Chuvieco, Martín & Palacios, 2002
Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti	NBR	$\frac{(\text{Bant}8 - \text{Bant}12)}{(\text{Bant}8 + \text{Bant}12)}$	Key ve Benson, 2005
Kömürleşmiş Toprak İndeksi	CSI	$\frac{\text{Bant}8}{\text{Bant}12}$	Smith vd., 2007

Yanan Alanlarda Spektral İndekslerin Duyarlılık Analizi

Her bir spektral indeksin, yanmış piksellerden yanmamış pikselleri ayırma yeteneği, iki dağılım arasındaki spektral mesafeyi ölçen istatistiksel ölçütler kullanılarak karşılaştırılabilir (Fornacca, Ren & Xiao, 2018). Kaufman ve Remer (1994) tarafından önerilen M-istatistiği, standart sapmaların (σ) toplamı ile normalize edilmiş iki sınıfın ortalamaları (μ) arasındaki farkı esas alan bir ayrılabilirlik ölçütüdür. Bu ölçüt, ortalamaların farkının sinyali temsil ettiği ve standart sapmaların toplamının gürültüyü temsil ettiği bir sinyal-gürültü oranı olarak ifade edilebilir (Fornacca vd., 2018). Eşitlik (3) yardımıyla hesaplanan M-istatistiği yanan alanların ayrıştırılmasıyla ilgili birçok çalışmada değerlendirmeye alınmıştır (Kaufman & Remer, 1994; Lasaponara, 2006; Smith vd., 2007). M-istatistiği ne kadar yüksek olursa, yanmış ve yanmamış alan arasındaki ayrımın o kadar iyi olduğu ifade edilebilir. Hesaplanan değer 1’den büyük oldu-

ğunda yanmış ve yanmamış alanlar arasında güçlü bir ayrım olduğunu, 1'den küçük değerler ise zayıf ayrım gücünü göstermektedir (Veraverbeke, Harris & Hook, 2011).

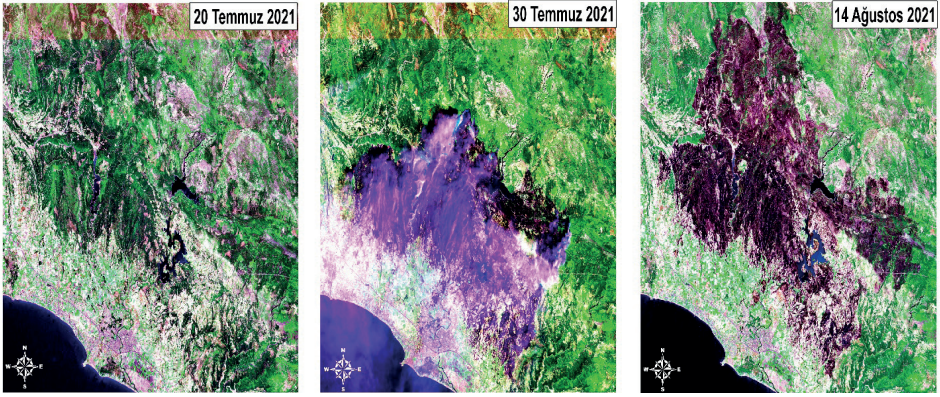
$$M = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{(\sigma_1 + \sigma_2)} \quad (3)$$

UYGULAMA

Bu çalışmada, Antalya ili Manavgat ilçesi, Muğla ili Bodrum ve Marmaris ilçelerinde 2021 yılında meydana gelen orman yangınlarının uzaktan algılama teknikleriyle tespiti ve analizi hedeflenmiştir. Yangın öncesi, yangın esnası ve yangın sonrasına ait uydu görüntüleri kullanılarak yanmış alanlara dair bilgiler zamansal olarak analiz edilmiştir. İlk etapta, yanan alanların sınırlarını belirlemek amacıyla yangın öncesi ve yangın sonrasına ait NBR indis görüntülerinin farkı alınmış ve istatistiksel bir yöntem olan Otsu eşikleme yöntemi kullanılarak fark görüntüleri üzerinden yanan alanların sınırları vektör veri formatında elde edilmiştir. Tespit edilen alanlar için dNBR indeks değerleri hesaplanmış ve yanma şiddeti seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca, kullanılan spektral indekslerin, yanan alanlar ile yanmamış alanların birbirinden ayırt etmesi noktasındaki başarısı M-istatistiği kullanılarak analiz edilmiştir. Antalya ili Manavgat ilçesi, Muğla ili Bodrum ve Marmaris ilçelerinde meydana gelen orman yangınlarının zamansal analizleri aşağıda belirtilen alt başlıklarda detaylı olarak irdelenmiştir.

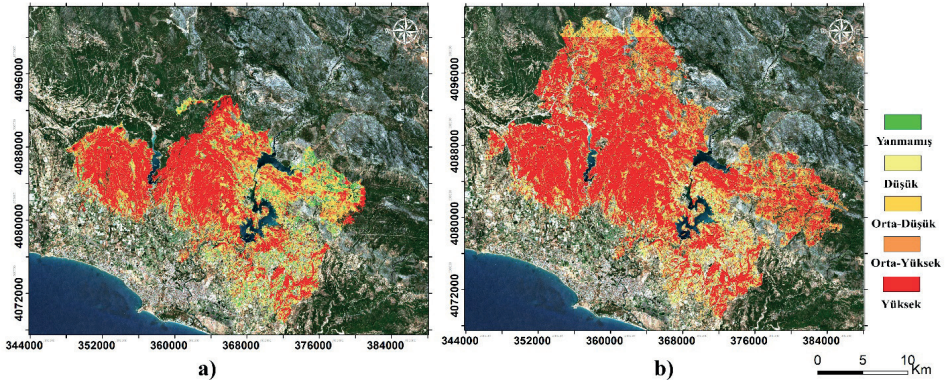
Manavgat Yangını

Manavgat ilçesi, Kavaklı mahallesinde 28 Temmuz 2021 tarihinde başlayan ve yaklaşık 2 hafta boyunca devam eden yangınların etkili olduğu alanların tespitinde 20 Temmuz (yangın öncesi), 30 Temmuz (yangın anı) ve 14 Ağustos (yangın sonrası) 2021 tarihlerinde Sentinel-2 uydusu tarafından elde edilen optik görüntülerden yararlanılmıştır. Şekil 3'te söz konusu üç tarih için elde edilen "sahte/yalancı" renk (false color) kombinasyonuna sahip uydu görüntüleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, Manavgat yangınının sahil kenarlarının kuzey kesimlerine doğru başlayan ormanlık alanlarda etkili olduğu ve zaman içinde daha da kuzeye doğru ilerlediği görülmüştür. Yangının kuzey yönlü olarak ilerlemesinin nedenlerinden birisinin denizden karaya doğru esen rüzgarlar olabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 3. Yangın öncesi, yangın esnası ve yangın sonrası tarihlere ait "sahte/yalancı" renk kombinasyonuna (Kısa dalga kızılötesi-yakın kızılötesi-Yeşil) sahip görüntüler

Manavgat yangınının analizinde kullanılmak üzere temin edilen her bir görüntü için NBR indeks değerleri hesaplanmıştır. Yangın anında ve yangın sonrası için hasar gören alanların yanma şiddeti seviyelerinin belirlenmesi amacıyla dNBR indeks değerleri hesaplanmış ve bu değerlere ait tematik haritalar üretilmiştir (Şekil 4). Elde edilen dNBR indeks haritaları Otsu metodu kullanılarak bulunan ve yangın alanı sınırlarını temsil eden vektörler ile maskelenmiştir. Manavgat yangını için üretilen sonuç dNBR tematik haritaları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Manavgat çalışma alanına ait a) yangın esnası, b) yangın sonrasına ait yanma şiddeti tematik haritaları

Yangın esnasındaki dNBR haritasına göre yanan alanların batı, orta ve kuzey bölgelerinin yüksek yanma şiddeti kategorisinde olduğu, doğu bölgesinde bulunan ormanların ise daha az hasar aldığı söylenebilir. Yan-

gının tamamen söndürüldüğü tarihten sonrasına ait görüntü ile üretilen yanma şiddeti seviyesi haritası analiz edildiğinde, toplam yanan alanın büyük bölümün yüksek yanma şiddeti kategorisinde olduğu görülmüştür. Ayrıca yangın esnasında doğu kesimlerdeki düşük seviyede yanan alanların mevcut yangınların tetiklemesi sonucu yüksek yanma şiddeti kategorisine ulaştığı görülmüştür. dNBR indeksi yardımıyla üretilen yangın anı ve sonrasına ait yanma şiddeti seviyesini gösteren değerlerin istatistiksel olarak yorumlanması amacıyla bu değerlere karşılık gelen alanlar hektar biriminde hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Manavgat yangınına ait yanan alan miktarları

Tarih	Yanma Şiddeti	Yanan Alan (ha)	Toplam Yanan Alan (ha)
30.07.2021 (Yangın Esnası)	Düşük	4.852,90	28.327
	Orta/Düşük	4.539,94	
	Orta/Yüksek	5.774,09	
	Yüksek	13.160,26	
14.08.2021 (Yangın Sonrası)	Düşük	4.905,91	47.824
	Orta/Düşük	6.894,36	
	Orta/Yüksek	10.256,43	
	Yüksek	25.767,72	

Yangın esnası için hesaplanan istatistiki değerler incelendiğinde, düşük ve orta/düşük seviyede yanan alanlar arasında yaklaşık 3 km²’lik bir fark hesaplanırken, orta/yüksek şiddetli seviyede yangın alanlarının kapsadığı alanın 5.775 ha olduğu tespit edilmiştir. 30 Temmuz’da yüksek yanma şiddetine sahip alanların tüm yanmış alanların %47’sini oluşturduğu görülmüştür. 28 Temmuz tarihinde başlayan yangının ise iki günlük süre içerisinde 28.327 ha ile Manavgat ilçesindeki ormanlık alanların yaklaşık %35’inde etkili olduğu söylenebilir. 14 Ağustos tarihli dNBR indeks haritasından elde edilen sayısal sonuçlar değerlendirildiğinde; tüm yanma şiddetlerine karşılık gelen alanlarda 30 Temmuz verilerine göre artış gözlemlenmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi orta/düşük yanma şiddetli alanlarda yaklaşık 23 km²’lik bir artış yaşanırken, orta/yüksek ve yüksek yanma şiddetindeki alanlar ise yaklaşık olarak %50’lik artışla sırasıyla 10.256 ha ve 25.767 ha olarak hesaplanmıştır. Yangının tamamen kontrol altına alınmasından sonra elde edilen görüntüden hesaplanan dNBR haritası orman yangınının toplamda 47.824 ha alanda ha-

sar neden olduğunu göstermektedir. Elde edilen bu sonuca göre, toplam yanmış alanın %41'lik bölümüne karşılık gelen 19.497 hektarlık alan 30 Temmuz tarihinden sonraki zaman periyodunda yanmıştır. Ek olarak, 30 Temmuz tarihinde yanan alanların Manavgat ilçe sınırları içerisinde kaldığı, ancak yangın sonrasında ise Antalya'nın İbradi ilçesinde 511 ha ve Akseki ilçesinde ise 4.231 ha'lık alanda etkili olduğu görülmüştür. Diğer bir ifade ile 47.824 ha olarak tespit edilen toplam yangın alanın yaklaşık %90'ı (43.082 ha) Manavgat ilçe sınırları içerisinde gerçekleşmiştir.

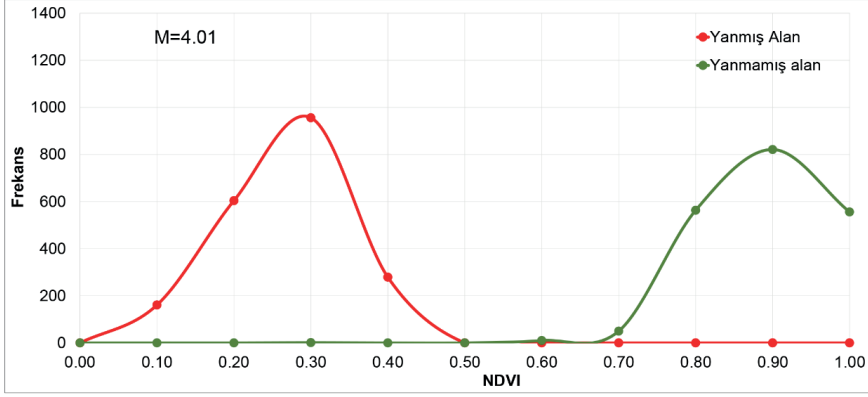
Çalışma kapsamında, yangın sonrası görüntü için hesaplanan beş spektral indeksin performans karşılaştırmaları M-istatistiği değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda Tablo 6'da gösterildiği gibi yanmış ve yanmamış bölgelerden toplanan eşit sayıdaki örnek noktalar yardımıyla her bir indeksin belirtilen bölgelere karşılık gelen ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Performans karşılaştırmasının yapılabilmesi için hesaplanan ortalama standart sapma değerleri kullanılarak her bir indekse ait M-istatistiği değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6. Yangın sonrası spektral indis görüntülerine ait M-istatistiği sonuçları

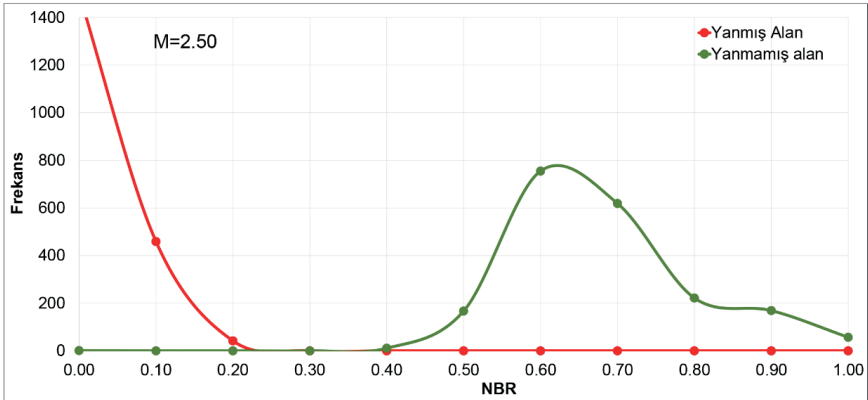
İndeks	Yanmış Alan		Yanmamış Alan		M-istatistiği
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
NDVI	0,22	0,08	0,85	0,08	4,01
MIRBI	-1.334	4.607	-7.054	1.478	0,94
BAI	$1,6 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	1×10^6	$9,7 \times 10^6$	0,80
NBR	-0,22	0,23	0,63	0,11	2,50
CSI	0,70	0,32	5,49	4,04	1,10

Tablo incelendiğinde, Manavgat yangını için hesaplanan M-istatistiği sonuçlarının 0,80 ile 4,01 arasında değerler aldığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre, yanan alanlar ile yanmamış alanlar arasındaki en başarılı ayrımın NDVI indeksi ile gerçekleştirilebileceği görülürken (M-istatistik değeri 4,01), hesaplanan M-istatistiği değerine göre (0,80) BAI indeksinin yanmış alanların canlı vejetasyondan ayırt edilmesinde yetersiz kaldığı görülmüştür. Yangın çalışmalarında en çok tercih edilen NBR indeksi 2,50 M-istatistiği değeri ile yanmış alanların belirlenmesinde NDVI haricindeki indekslerden daha üstün performans göstermiştir. Ek olarak, yanmış alan sınırlarının belirlenmesinde etkili olduğu belirlenen NDVI ve NBR indekslerinin örnek noktalardaki aldığı değerler dağılım grafiği şeklinde Şekil 5'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere her iki indeks

değerleri yanmış ve yanmamış alanlarda ters ilişki gösterirken, bu fark NDVI indeksinin kullanımında daha belirgin şekilde ortaya çıkmıştır.



a)

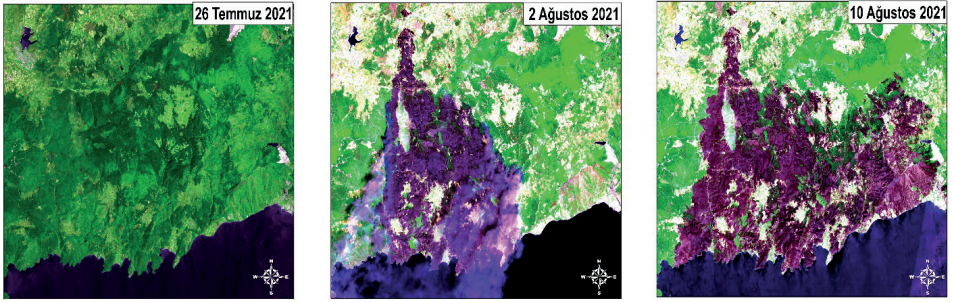


b)

Şekil 5. Yanmış ve yanmamış alanlardaki a) NDVI, b) NBR indeks değerlerinin dağılımları

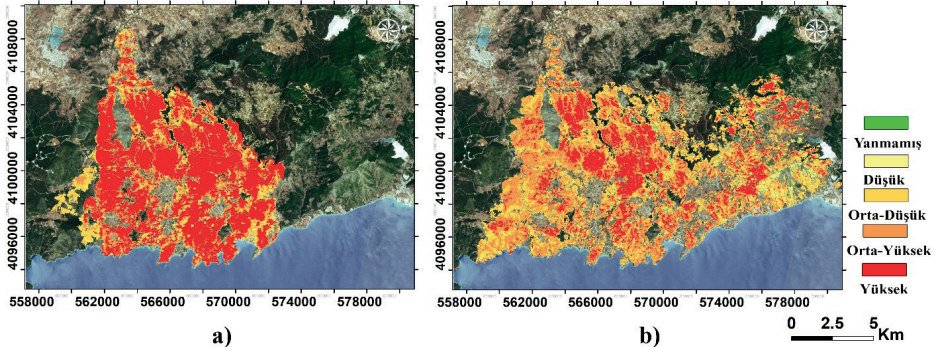
Bodrum Yangını

Bodrum ilçesinde 29 Temmuz 2021 tarihinde başlayan orman yangını sonrası tahrip olan alanları belirlemek ve hasar tespiti yapmak amacıyla yangın öncesi (26 Temmuz 2021), yangın esnası (2 Ağustos 2021) ve yangın sonrasına (10 Ağustos 2021) ait Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Şekil 6'da çalışma alanına ait farklı tarihlerde elde edilmiş "sahte/yalancı" renk kombinasyonuna sahip görüntüler sunulmuştur.



Şekil 6. Yangın öncesi, yangın esnası ve yangın sonrası tarihlerine ait sahte renk kombinasyonuna (Kısa dalga kızılötesi-yakın kızılötesi-Yeşil) sahip görüntüler

Yangın öncesi ve sonrası NBR indeks görüntülerinin farkı alınarak üretilen dNBR indeks görüntüleri yanma şiddeti seviyelerine bağlı olarak yangın esnası ve yangın sonrası tarihler için elde edilmiştir (Şekil 7). dNBR değerleri yangın esnası görüntüsü için -0,096 ile 1,100 aralığında hesaplanırken, yangın sonrası görüntü için -0,106 ile 1,280 aralığında hesaplanmıştır.



Şekil 7. Bodrum çalışma alanına ait a) yangın esnası, b) yangın sonrasına ait yanma şiddeti tematik haritaları

Üretilen dNBR haritaları yanma şiddeti seviyelerine bağlı olarak yanan alan miktarları, yangın esnası ve yangın sonrası görüntüler için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 7). Buna göre, 2 Ağustos 2021 tarihinde yanan alanın yaklaşık %58'lik kısmı (5.277 hektar) yüksek yanma şiddeti seviyesinde olmak üzere, toplam yanmış alan büyüklüğü 9.061 hektar olarak hesaplanmıştır. 10 Ağustos 2021 tarihli görüntüde ise yanan alanın yaklaşık %41'lik kısmının (5.066 hektar) orta-yüksek yanma şiddeti kategorisinde sınıflandırıldığı ve toplam yanmış alan büyüklüğününün 12.283 ha

olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 2-10 Ağustos tarih aralığını kapsayan süreçte toplam yanmış alan miktarının 3.257,42 hektar artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 7. Bodrum yangınına ait yanan alan miktarları

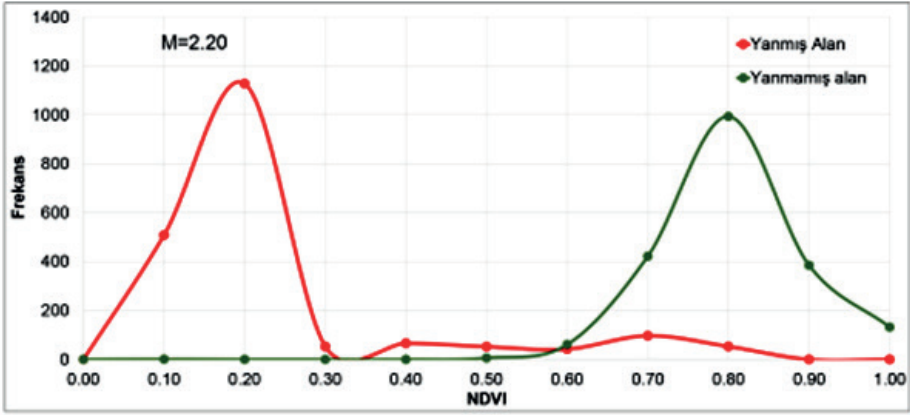
Tarih	Yanma Şiddeti	Yanan Alan (ha)	Toplam Yanan Alan (ha)
02.08.2021 (Yangın Esnası)	Düşük	329,34	9.025
	Orta-Düşük	1.427,30	
	Orta-Yüksek	1.992,16	
	Yüksek	5.276,56	
10.08.2021 (Yangın Sonrası)	Düşük	1.043,97	12.283
	Orta-Düşük	3.630,34	
	Orta-Yüksek	5.066,45	
	Yüksek	2.542,02	

Yanmış ve yanmamış alanları ayırt etmek için hesaplanan spektral indekslere ait M-istatistiği sonuçları Tablo 8’de gösterilmiştir. Tablo x analiz edildiğinde, M-istatistiği değerlerinin 0,62 ve 2,20 aralığında olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, yanmış ve yanmamış alanları ayırt etme noktasında NDVI (2,20) ve NBR (2,10) indekslerinin başarılı olduğu ifade edilebilir. Öte yandan, ayırımın en zor yapılabildiği indeksin MIRBI (0,62) olduğu belirlenmiştir.

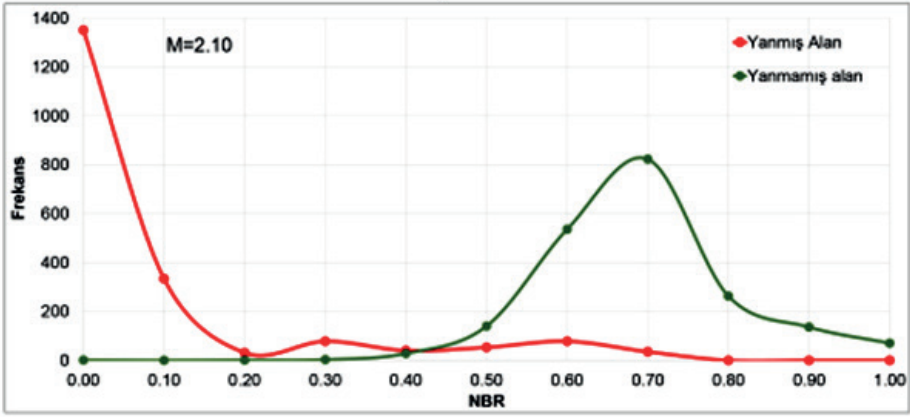
Tablo 8. Yangın sonrası spektral indis görüntülerine ait M-istatistiği sonuçları

İndeks	Yanmış Alan		Yanmamış Alan		M-istatistiği
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
NDVI	0,19	0,17	0,75	0,09	2,20
MIRBI	-7001	899	-5958	777	0,62
BAI	1.4×10^6	1.0×10^6	6.2×10^6	3.6×10^6	1,03
NBR	0,03	0,18	0,64	0,11	2,10
CSI	1,18	0,73	5,77	4,49	0,88

İndekslerin istatistiksel olarak sonuçlarının incelenmesinin ardından, yanmış ve yanmamış alanlar üzerinde toplanan örnek alanlar için NDVI ve NBR indeks değerlerinin dağılım grafiği oluşturulmuştur (Şekil 8). Grafikler incelendiğinde, her iki indeks haritasında 0,50 değerinin altında kalan alanların yanmış, üstünde kalan değerlerin ise yanmamış alanları tanımladığı görülmektedir.



a)



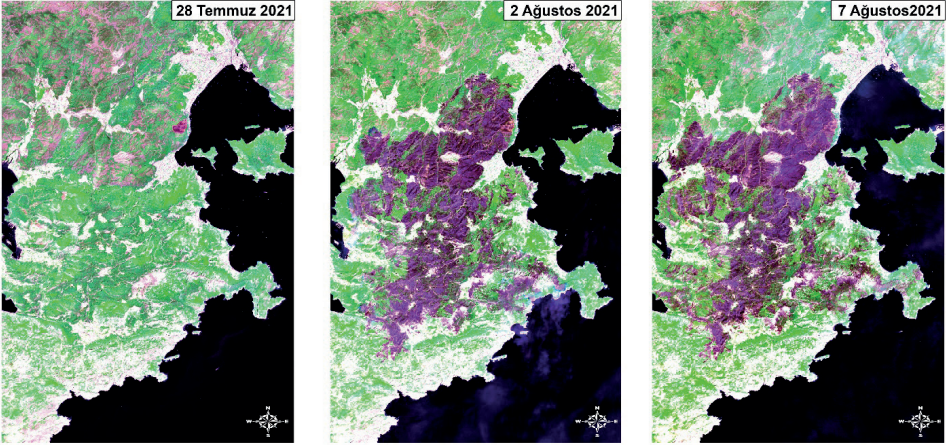
b)

Şekil 8. Yanmış ve yanmamış alanlardaki a) NDVI, b) NBR indeks değerlerinin dağılımları

Marmaris Yangını

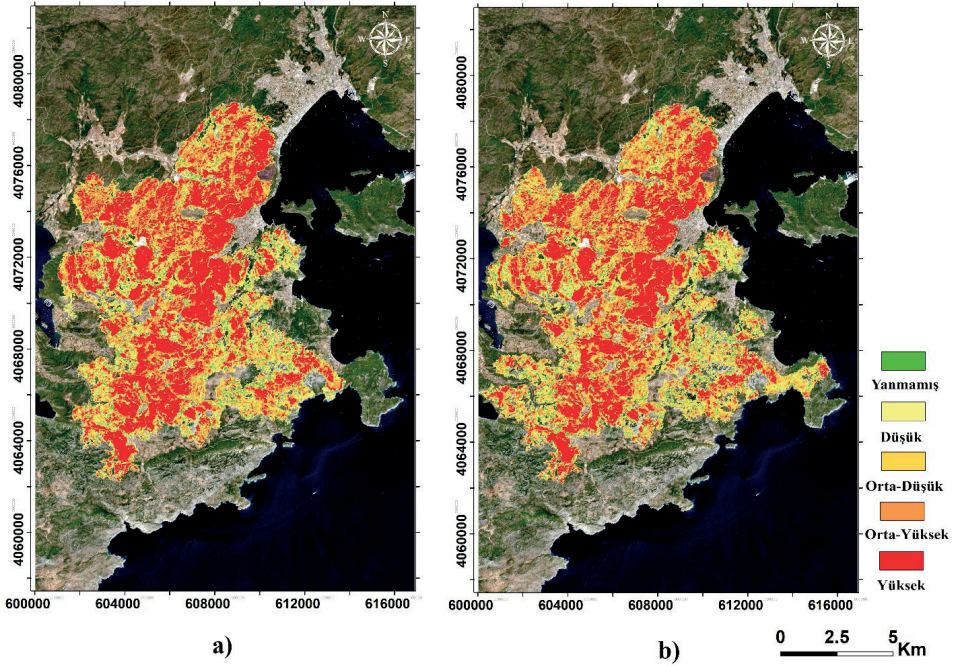
Marmaris'in Armutalan Mahallesinde Manavgat yangını ile aynı gün, öğle saatlerinde başlayan (28 Temmuz 2021) ve yaklaşık bir hafta süren orman yangınlarının değerlendirilmesi için çalışma bölgesini kapsayan yangın esnası (2 Ağustos) ve yangın sonrası (7 Ağustos) Sentinel-2 görüntüleri kullanılmıştır. Yangın öncesine ait görüntü olarak Sentinel-2 uydusu tarafından 28 Temmuz 2021 saat 08.46' da (yangın başlamasından yaklaşık 4 saat önce) çekilen optik görüntü kullanılmıştır. Görüntü işleme adımlarının ardından elde edilen bu görüntüler "sahte/yalancı" renk kombinasyonu halinde Şekil 9'da sunulmuştur. Görseller incelendiğinde, yangın alanlarının Marmaris ilçesinin orta kesimlerinde etkili olduğu gö-

rülmektedir. Diğer bir ifade ile yangın alanları hem Akdeniz hem de Ege denizi sınırlarına doğru ilerlemiştir. Yangın sonrası görüntü analiz edildiğinde ise yangının doğu ve batı yönlerine doğru ilerlemeye devam ettiği ve yangın esnasındaki verilere kıyasla nispeten daha küçük alana hasar verdikten sonra söndürüldüğü tespit edilmiştir.



Şekil 9. Yangın öncesi, yangın esnası ve yangın sonrası tarihlere ait sahte renk kombinasyonuna (Kısa dalga kızılötesi-yakın kızılötesi-Yeşil) sahip görüntüler

Marmaris ilçe sınırları içerisinde kalan çalışma alanına ait her bir görüntü için NBR indeks değerleri üretilmiştir. Çalışma alanında meydana gelen hasarların yanma şiddetlerini belirlemek ve görsel olarak yorumlamak için ise NBR indeks değerlerini kullanarak yangın anına ve sonrasına ait dNBR indeksleri üretilmiş ve bu indekslere ait görseller Şekil 10'da verilmiştir. Yangın esnası dNBR haritası incelendiğinde; toplam yangın alanının yüksek yanma şiddeti seviyesinde olduğu, yanma şiddeti düşük olarak belirlenen kısımların ise doğu ve batı kesimlerde yoğunlaştığı net bir şekilde görülmektedir. Yangın sonrasına ait tematik harita da ise, yüksek yanma şiddetine sahip alanların bir bölümünün orta/yüksek veya orta/düşük yanma seviyeli alanlara dönüştüğü tespit edilmiştir. 2 Ağustos tarihli yangın alanları dışında kalan ve daha sonraki günlerde doğu kesimlerde hasar gören alanların genellikle düşük ve orta/düşük yanma şiddeti seviyesine sahip olduğu görülürken, batı da oluşan yeni yangın alanlarının yanma şiddeti seviyesinin yüksek olarak kategorize edildiği görülmektedir.



Şekil 10. Marmaris çalışma alanına ait a) yangın esnasında, b) yangın sonrasında yanma şiddeti tematik haritaları

Marmaris yangını analiz edilmesi için üretilen iki tarihli dNBR indeks haritaları yardımıyla elde edilen yanma şiddeti değerlerinin metrik olarak karşılaştırılması için her bir yanma şiddetinin karşılık geldiği alanlar hektar biriminde hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 9’da verilmiştir. Toplam yanan alanların yaklaşık %38’ini (3.754 ha) yüksek yanma şiddetine sahip alanlar oluşturulurken, 1.604 hektar alana sahip ve yanma şiddeti düşük olarak etiketlenen bölgeler toplam yanmış alanın yaklaşık %16’sını oluşturmaktadır. Düşük ve orta düşük yanma şiddetine sahip alanların toplamı yaklaşık olarak yüksek yanma şiddeti bölgelerinin alanları toplamına karşılık geldiği görülmüştür. 7 Ağustos tarihli dNBR haritasından elde edilen sonuçlara incelendiğinde, 2 Ağustos’tan sonraki 5 günde yaklaşık 4 km²’lik alanın daha yanarak hasar gördüğü ve bu artışın toplam yanmış alanın %5’ini oluşturduğu tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle 10.234 hektar olarak belirlenen alanın yaklaşık %95’i 28 Temmuz – 2 Ağustos tarihleri arasında yanarken, geriye kalan 424 hektar alan ise 2 Ağustos’tan sonra yanmıştır. Ayrıca toplam yanan alanın (10.234 ha) büyük bölümünü yüksek yanma şiddetine sahip alanların oluşturduğu

görülürken, düşük yanma şiddetine sahip alanların ise en küçük alansal değeri aldığı tespit edilmiştir.

Tablo 9. Marmaris yangınına ait yanan alan miktarları

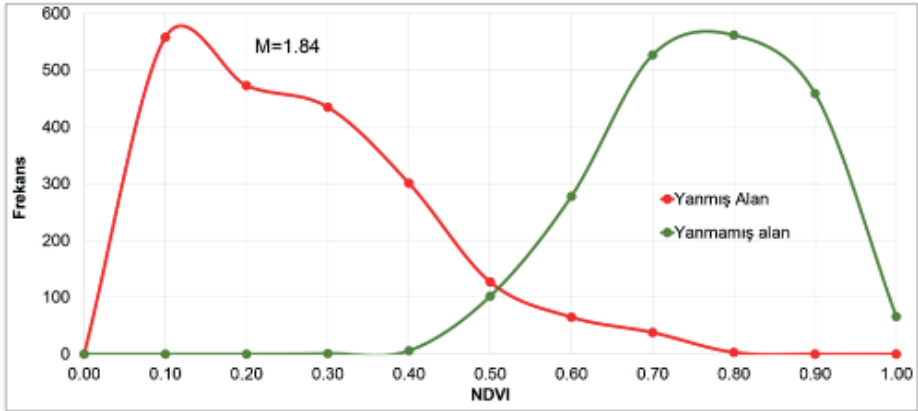
Tarih	Yanma Şiddeti	Yanan Alan (ha)	Toplam Yanan Alan (ha)
02.08.2021 (Yangın Anı)	Düşük	1.603,75	9.809
	Orta/Düşük	1.961,94	
	Orta/Yüksek	2.489,96	
	Yüksek	3.753,79	
07.08.2021 (Yangın Sonrası)	Düşük	1.783,32	10.234
	Orta/Düşük	2.389,42	
	Orta/Yüksek	2.687,48	
	Yüksek	3.373,56	

Çalışmada ele alınan 5 indeks için hesaplanan M-istatistiği değerleri Tablo 10’da verilmiştir. M-istatistiği sonuçlarının 0,16 ile 1,84 arasında değerler aldığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre, yanan alanların sınırlarını yangından hasar görmeyen alanlardan ayırmada NDVI ve NBR indeksleri yakın sonuçlar üreterek (1,84 ve 1,76) diğer kalan indekslere göre üstün performans gösterdiği belirlenmiştir. Diğer taraftan, CSI indeksi 0,16 sonuç ile belirtilen alanların birbirinden ayrılmasında yetersiz kalmıştır.

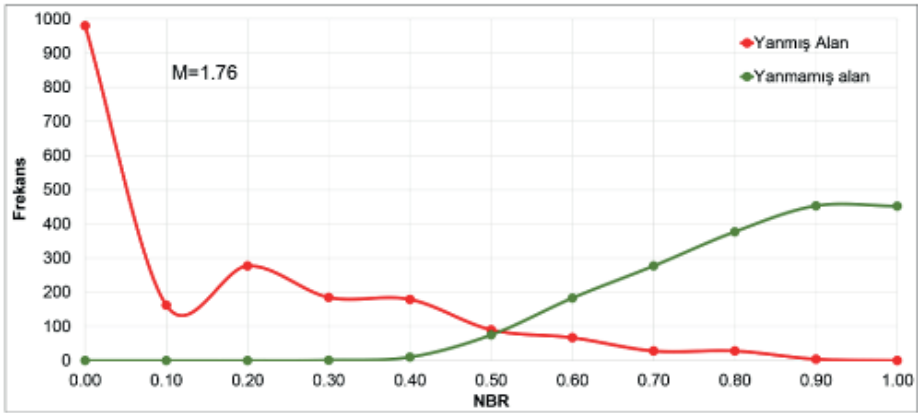
Tablo 10. Yangın sonrası spektral indis görüntülerine ait M-istatistiği sonuçları

İndeks	Yanmış Alan		Yanmamış Alan		M-istatistiği
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	
NDVI	0,22	0,15	0,71	0,12	1,84
MIRBI	-1388	3569	-5337	1084	0,85
BAI	$2,2 \times 10^6$	$1,8 \times 10^6$	$8,8 \times 10^6$	$4,5 \times 10^6$	1,04
NBR	0,05	0,27	0,80	0,16	1,76
CSI	1,39	1,11	33,74	202,33	0,16

Elde edilen sonuçların daha net anlaşılması için yanmış ve yanmamış alanlardan toplanan örnekleme noktalarına karşılık gelen NBR ve NDVI indeks değerlerinin dağılımını gösteren grafik Şekil 11’de sunulmuştur. Yanmış ve yanmamış alanların birbirinden ayırt edilmesi noktasında her iki indeks için 0,50 değerinin eşik değer olduğu görülmektedir.



a)



b)

Şekil 11. Yanmış ve yanmamış alanlardaki a) NDVI, b) NBR indeks değerlerinin dağılımları

SONUÇ VE ÖNERİLER

Akdeniz iklim kuşağında bulunan ormanların birçoğu yangın tehdidi altında bulunmaktadır ve her yıl binlerce hektar ormanlık alan hasar görmektedir. Özellikle, 2021 yılı yaz aylarında Ege ve Akdeniz bölgelerinin birçok noktasında çıkan orman yangınları neticesinde büyük ormanlık alanlar tahrip olmakla birlikte can ve mal kayıplarına da neden olmuştur. Bu çalışmada, Antalya ili Manavgat ilçesi, Muğla ili Bodrum ve Marmaris ilçelerinde Temmuz ve Ağustos 2021 tarihlerinde meydana gelen orman yangınlarının zamansal olarak izlenmesi, hasar tespitinin gerçekleştirilmesi ve yanma şiddetinin yüksek olduğu bölgelerin derecelendirilerek harita-

landırılması amaçlanmıştır. Söz konusu bölgelere ait yangın öncesi, yangın esnası ve yangın sonrasında ait Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak, yangınların zamansal değişimi uzaktan algılama teknikleri ile analiz edilmiştir. Yangın sonrasında yanan alanda ortaya çıkan kül oluşumunun yakın kızıl ötesi ve kısa dalga kızıl ötesi bölgede gösterdiği değişimi esas alan dNBR indisi kullanılarak yangın sonrası tahrip olan alanlar yanma şiddeti seviyelerine bağlı olarak tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen analizler neticesinde, Manavgat'ta 47.824 hektar, Bodrum'da 12.283 hektar ve Marmaris'te 10.234 hektar olmak üzere toplam 60.107 hektarlık alanın yandığı tespit edilmiştir. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda, Manavgat yangının ülkemiz tarihinde görülen en büyük orman yangını olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yanmış ve yanmamış alanların ayırt edilmesine yönelik kullanılan çeşitli spektral indislerin performansları spektral ayrılabilirlik indeksi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Tüm yangınlar için elde edilen sonuçlar, NDVI ve NBR indislerinin diğer spektral indislere kıyasla yanan alanların yanmamış alanlardan ayırt etme noktasında daha başarılı ölçütler olduğunu göstermektedir. Çalışmanın sonuçları, orman yangınlarının ekolojik etkilerinin değerlendirilmesi ve analizi, yangın sonrası hasar tespitinin gerçekleştirilmesi ve yönetimi hususunda uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen görüntülerin önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, Sentinel-2 uydu görüntülerinin, sağlamış olduğu yüksek spektral, konumsal ve zamansal çözünürlük sayesinde yanma şiddetinin doğru bir şekilde değerlendirilmesine ve yangın yönetim stratejilerinin yeterliliğinin artırılmasına katkıda bulunabileceği ifade edilebilir. Üretilen tematik haritalar, orman yangınlarının yüksek şiddetli yangına dönüşmesine neden olan faktörlerin değerlendirilmesi ve yangın sonrası başarılı bir yönetim için somut eylemler geliştirmesi konusunda karar vericilere önemli ölçüde yardımcı olabilecek niteliktedir.

KAYNAKÇA / REFERENCES

- Ariza, A., Salas Rey, J., & Merino de Miguel, S. (2019). Comparison of maximum likelihood estimators and regression models for burn severity mapping in Mediterranean forests using Landsat TM and ETM+ data. *Revista Cartográfica*, 98, 145-177. doi:10.35424/rcar.v5i98.145
- Cai, L., & Wang, M. (2020). Is the RdNBR a better estimator of wildfire burn severity than the dNBR? A discussion and case study in southeast China. *Geocarto International*, 35, 1-15. doi:10.1080/10106049.2020.1737973

- Chompuchan, C., & Lin, C.Y. (2017). Assessment of forest recovery at Wu-Ling fire scars in Taiwan using multi-temporal Landsat imagery. *Ecological Indicators*, 79(April), 196–206. doi:10.1016/j.ecolind.2017.04.038
- Chuvieco, E., & Congalton, R.G. (2008). Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data. *Geocarto International*, 4, 41–53. doi:10.1080/10106048809354180
- Chuvieco, E., Martín, M.P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103–5110. doi:10.1080/01431160210153129
- Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf, G.R., San Miguel, J., Tanasse, M., Koutsias, N., ... & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45–64. doi:10.1016/J.RSE.2019.02.013
- Cocke, A.E., Fule, P.Z., & Crouse, J.E. (2005). Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. *International Journal of Wildland Fire*, 14(2), 189–198. doi:10.1071/WF04010
- FAO (2021). *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome.
- Fornacca, D., Ren, G., & Xiao, W. (2018). Evaluating the best spectral indices for the detection of burn scars at several post-fire dates in a mountainous region of northwest Yunnan, China. *Remote Sensing*, 10, 1196. doi:10.3390/rs10081196.
- Gheshlaghi, H.A. (2019) Using GIS to develop a model for forest fire risk mapping. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47, 1173–1185. doi:10.1007/s12524-019-00981-z
- Hudak, A.T., Crookston, N.L., Evans, J.S., Falkowski, M.J., Smith, A.M.S., Gessler, P.E., & Morgan, P. (2006). Regression modeling and mapping of coniferous forest basal area and tree density from discrete-return LIDAR and multispectral data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32, 126–138. doi:10.5589/m06-007
- Jakubauskas, M.E., Lulla, K.P., & Mausel, P.W. (1990). Assessment of vegetation change in a fire-altered forest landscape. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56, 371–377.
- Kaufman, Y., & Remer, L. (1994). Detection of forests using Mid-IR reflectance: An application for aerosol studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, 672–683. doi:10.1109/36.297984
- Kavzoglu, T., Yildiz Erdemir, M., & Tonbul, H. (2016). Evaluating performances of spectral indices for burned area mapping using object-based image analysis. *12th International symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences*, ss. 162-168. Montpellier, France.
- Key, C.H., & Benson, N.C. (2005). Landscape assessment: ground measure of severity, the composite burn index, and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. *FIREMON: fire effects monitoring and inventory system*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station General Technical Report.
- Key, C.H., & Benson, N.C., (2006). Landscape Assessment (LA). FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. *Rocky Mountain Research Station General Technical Report*.

- Lasaponara, R. (2006). Estimating spectral separability of satellite derived parameters for burned areas mapping in the Calabria region by using SPOT-vegetation data. *Ecological Applications*, 196, 265–270. doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.02.025
- Lentile, L.B., Holden, Z.A., Smith, A.M.S., Falkowski, M.J., Hudak, A.T., Morgan, P., ... & Benson, N.C. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*, 15,319-345. doi:10.1071/WF05097
- Llorens, R., Sobrino, J.A., Fernández, C., Fernández-Alonso, J.M., & Vega, J.A. (2021). A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, 102243. doi:10.1016/J.JAG.2020.102243
- Mitsopoulos, I., Chrysafi, I., Bountis, D., & Mallinis, G. (2019). Assessment of factors driving high fire severity potential and classification in a Mediterranean pine ecosystem. *Journal of Environmental Management*, 235, 266–275. doi:10.1016/j.jenvman.2019.01.056.
- OGM (2020). Ormançılık istatistikleri. <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> (05.09.2021).
- Ozenen Kavlak, M., Cabuk, S.N., & Cetin, M. (2021). Development of forest fire risk map using geographical information systems and remote sensing capabilities: Ören case. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 33265–33291. doi:10.1007/s11356-021-13080-9
- Pacheco, A.d.P., Junior, J.A.d.S., Ruiz-Armenteros, A.M., & 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. doi:10.3390/rs13071345
- Selva, M., Aiazzi, B., Butera, F., Chiarantini, L., & Baronti, S. (2015). Hyper-Sharpener: a first approach on SIM-GA data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(6), 3008–3024. doi:10.1109/JSTARS.2015.2440092
- Smith, A., Drake, N., Wooster, M., Hudak, A., Holden, Z., & Gibbons, C. (2007). Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: Comparison of methods and application to MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 2753–2775. doi:10.1080/01431160600954704
- Tonbul, H., Colkesen, I., & Kavzoglu, T. (2019). Forest fire and burn severity analysis in Cefalù region of Italy using Sentinel-2 imagery. *International Symposium on Applied Geoinformatics*, ss.208-211, Istanbul, Turkey.
- 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. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B8, 763–769. doi:10.5194/isprsarchives-xli-b8-763-2016
- Trigg, S., & Flasse, S. (2000). Characterizing the spectral-temporal response of burned savanna using in situ spectroradiometry and infrared thermometry. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 3161–3168. doi:10.1080/01431160050145045

- Trigg, S., & Flasse, S. (2001). An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. *International Journal of Remote Sensing*, 22(13), 2641–2647. doi:10.1080/01431160110053185
- Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. doi:10.1016/0034-4257(79)90013-0
- URL-1: European Forest Fire Information System (EFFIS), <https://effis.jrc.ec.europa.eu/> (11.09.2021).
- van Wagendonk, J.W., Root, R.R., & Key, C.H. (2004). Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity. *Remote Sensing of Environment*, 92, 397–408. doi:10.1016/J.RSE.2003.12.015
- Veraverbeke, S., Harris, S., & Hook, S. (2011). Evaluating spectral indices for burned area discrimination using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. *Remote Sensing of Environment*, 115, 2702–2709. doi:10.1016/j.rse.2011.06.010
- Vilar, L., Camia, A., & San-Miguel-Ayanz, J. (2015). A comparison of remote sensing products and forest fire statistics for improving fire information in Mediterranean Europe. *European Journal of Remote Sensing*, 48(1), 345–364. doi:10.5721/EuJRS20154820
- White, J.D., Ryan, K.C., Key, C.C., & Running, S.W. (1996). Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire*, 6, 125–136. doi:10.1071/WF9960125