

Uzaktan Algılama ile Yangın Şiddeti Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması

(Comparison of Different Indexes in Determining Fire Severity by Remote Sensing)

Esra GÜRBÜZ^{ID}

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 68100 Aksaray
egurbuz@aksaray.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 03.10.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 09.03.2023

ÖZ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de orman varlığını tehlikeye sokan en önemli olay orman yangınlarıdır. Türkiye'nin orman varlığı yüzdesi en yüksek ikinci ili durumundaki Muğla ilinin Marmaris ilçesinde 2022 yılı haziran ayında meydana gelen orman yangını bölge ormanlarında, orman yangını nedeniyle 1977'den beri yaşanan en büyük 4. alansal kayba sebep olmuştur. Bu çalışma kapsamında, ilk olarak Google Earth Engine (GEE) Platformu'ndan temin edilen Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak çalışma alanının yangın öncesi ve sonrasına ait görüntü mozaikleri oluşturulmuş, sonrasında ise bu görüntü mozaikleri kullanılarak yangın tahribatının belirlenmesinde yaygın olarak tercih edilen Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalize Yanma Oranı (NBR), Fark Normalize Yanma Oranı (dNBR), Görelî Yanma Oranı (RBR), Görelî fark Normalize Yanma Oranı (RdNBR) indeksleri ile yangında oluşan tahribat belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların NASA FIRMS'un (The Fire Information for Resource Management System/ Kaynak Yönetim Sistemi için Yangın Bilgileri) gerçek zamana yakın yangın verileri ile tutarlılıkları kontrol edilmiş ve indekslerin doğrulukları karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar yangın öncesinde yoğun bitki örtüsüne sahip olan çalışma alanında yanmış ve yanmamış alanların en yüksek doğrulukla RdNBR (%85,05) ve dNBR (%84,38) indeksleri ile ayrıldığını göstermiştir. RdNBR indeksi ile oluşturulan yanma şiddeti haritasına göre toplamda 4365,68 hektar alan yanmıştır. İndeksler içerisinde en düşük tutarlılık oranı ise %83,36 ile RBR indeksinden elde edilmiştir. Bu indeks ile oluşturulan yanma şiddeti haritasına göre ise 4268,8 hektar alanın yandığı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Google Earth Engine, FIRMS, NBR, dNBR, RdNBR, RBR, NDVI.

ABSTRACT

Forest fires are the most important factor that endangers the existence of forests in Türkiye as in the whole world. The forest fire that occurred in June 2022 in the Marmaris district of Muğla province, which is the second province with the highest percentage of forest assets in Türkiye, caused the 4th largest spatial loss in the regional forests since 1977 due to forest fire. Within the scope of this study, firstly, image mosaics of the study area before and after the fire were created using the Sentinel-2 images obtained from the Google Earth Engine (GEE) Platform. After that Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Burn Ratio (NBR), Difference Normalized Burn Ratio (dNBR),

Relative Burn Ratio (RBR) and Relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) indexes were applied to these image mosaics to determine the damage caused by the fire. The consistency of the results with the near real-time fire data of NASA FIRMS was checked and the accuracy of the indexes was compared. The results obtained from the study showed that the burned and unburned areas in the study area, which had dense vegetation before the fire, were separated with the highest accuracy by RdNBR (85.05%) and dNBR (84.38%) indices. According to the burn severity map produced with the RdNBR index, a total of 4365.68 hectare area was burned. The lowest consistency rate among the indexes was obtained from the RBR index with 83.36%. According to the burn severity map produced with RBR, a 4268.8 hectare total area was burned.

Keywords: Google Earth Engine, FIRMS, NBR, dNBR, RdNBR, RBR, NDVI.

1. GİRİŞ

Orman yangınları tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de orman varlığını tehlikeye sokan en önemli olaydır. Doğal ya da beşeri kökenli çıkan yangınlar sonrasında her yıl milyonlarca hektar orman ve ormanlık alan yok olmakta ve can kayıpları meydana gelmektedir. Özellikle büyük ve uzun süreli yangınlar, bir yandan meydana geldiği bölgede bitki örtüsünün tahribatına, habitatın zarar görmesine ve bu alanda yaşayan canlıların yaşam alanlarının yok olmasına sebep olurken, diğer yandan da ekonomik kayıpların oluşmasına neden olur. Bu nedenle orman yangınlarında zarar gören alanların doğru şekilde haritalanması ve tahribatın şiddetinin en doğru şekilde tespit edilmesi, yangının sebep olduğu ekolojik etkilerin değerlendirilmesi ve ekonomik kayıpların belirlenmesi açısından önemlidir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte uydu görüntülerinin kullanıldığı uzaktan algılama yöntemleri, pek çok alanda olduğu gibi orman yangınlarının eş ya da yakın zamanlı olarak tespit edilmesi (Schroeder, Oliva, Giglio ve Csizsar 2014; Ahmed, Hassan, Abdollahi ve Gupta., 2020; Pletsch, ve diğerleri, 2022) yanmış alanların haritalanması (Koutsias ve Karteris, 2000; Sunar ve Özkan, 2001; Key ve Benson, 2005; Giglio, Loboda, Roy, Quayle, ve Justice, 2009; Çömert, Matcı, Emir ve Avdan, 2017; Kavzoğlu, Çölkesen,

Tonbul ve Öztürk, 2021) ve bu alanlarda zamana bağlı değişimlerin gözlenebilmesi (Veraverbeke ve diğerleri, 2012; Tonbul, Kavzoğlu ve Kaya 2016; Güzel, Bıçaklı, Bıçaklı ve Kaptan, 2021; Nolè, Rita, Spatola ve Borghetti, 2022) için önemli bir araç haline gelmiştir. Uydu görüntüleri yardımıyla yanmış alanların haritalanması Landsat uydu serisinin faaliyetleri ile birlikte başlamış olup teknolojiye gelişmeler sayesinde çözünürlüğü artan sensörler, geliştirilen yöntem ve indeksler ile birlikte günümüzde etkin şekilde çalışılan bir konu haline gelmiştir (Robinson, 1991; Xiao-rui, Mcrae, Li-fu, Ming-yu ve Hong, 2005; Hall ve diğerleri, 2008; Gibson, Danaher, Hehir ve Collins, 2020; Konkathi ve Shetty, 2021).

Spektral indeksler bir uydu görüntüsünde istenen arazi örtüsü ya da özelliğini öne çıkarmayı sağlayan matematiksel işlemlerdir. Bu işlemler her nesnenin elektromanyetik spektrumunda kendine has yansıma ve soğurma özelliklerine bağlı olarak geliştirilmektedir. Sağlıklı bitki örtüsü, elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi dalga boyunda çok yüksek yansıma ve kırmızı dalga boyunda yüksek soğurma gösterir. Bu yaklaşım ile geliştirilmiş Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), yangından önce ve sonra sağlıklı bitkilerin spektral özelliklerindeki değişimi ortaya çıkarması nedeniyle uzaktan algılama ile yanmış alanların tanımlanmasında kullanılan indekslerden biri olmuştur (White, Ryan, Key ve Running, 1996; Fernández, Illera ve Casanova 1997; Sunar ve Özkan, 2001; Chuvieco ve diğerleri, 2004; Vlassova, Pérez-Cabello, Mimbrero, Llovería, ve García-Martín, 2014; Kovács 2019). Bununla birlikte bir bölgede meydana gelen yangın sonrasında bitki örtüsünün spektral yansımaları yakın kızılötesi dalga boyunda azalırken, kısa dalga kızılötesi dalga boyunda artar. Yani sağlıklı bitki örtüsü ile yanmış alanların spektral tepkileri arasındaki fark, spektrumun yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bölgelerinde belirgin hale gelir. Bu durum söz konusu dalga boyları kullanılarak geliştirilmiş olan başta Normalize Yanma Oranı (NBR) ve NBR'den türetilen Fark Normalize Yanma Oranı (dNBR), Görelî Yanma Oranı (RBR) ve Görelî fark Normalize Yanma Oranı (RdNBR) gibi indekslerin yanmış alan tespitinde yaygın şekilde tercih edilmesine sebep olmaktadır (Key ve Benson, 2005; Cocke, Fuléve Crouse, 2005; Miller ve Thode 2007; Veraverbeke, Lhermitte, Verstraeten ve Goossens, 2010; Tonbul ve diğerleri, 2016; Nasery ve Kalkan 2020; Nole ve diğerleri, 2022). Bunların yanı sıra yanmış alanların farklı spektral özellikleri dikkate alınarak hazırlanmış Yanmış Alan İndeksi (BAI), Orta Kızılötesi Yanma İndeksi (MIRBI) ve Kömürleşmiş Toprak İndeksi (CSI) gibi

indeksler de bulunmaktadır (Chuvieco, Martín ve Palacios, 2002; Trigg ve Flasse, 2001; Smith ve diğerleri, 2007).

Yukarıda değinilen indekslerden hangilerinin yanmış alan tespitinde daha etkin olduğuna yönelik farklı çalışmalar da mevcuttur. Miller ve Thode (2007), uzaktan algılama ile yangın şiddetine yönelik yapılan haritalama çalışmalarında yanmış alanın doğru tespit edilebilmesinde bitki örtüsü türünün de önemli bir etken olduğunu belirtmiş ve heterojen arazi örtüsünde yanma şiddetini haritalamanın, geliştirdikleri RdNBR indeksi ile daha uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Parks, Dillon ve Miller, (2014), Miller ve Thode (2007) tarafından geliştirilen RdNBR indeksinde, denklemin içeriğine bağlı zorlukların olduğunu belirterek özellikle yangın öncesi bitki örtüsünün düşük olduğu alanlarda RdNBR'ye göre daha iyi sonuç veren, kendi geliştirdikleri RBR indeksini önermişlerdir. Sabuncu ve Özener (2019), Landsat 5 uydu görüntülerini kullanarak Ağustos 2009'da İzmir ili Seferihisar ilçesinde meydana gelen orman yangınında hasar görmüş alanları tespit ettikleri çalışmalarında, NBR ve NDVI ile bu indekslerin farkları kullanılarak elde edilen dNBR ve dNDVI indekslerini uygulayarak tahrip olan alanları haritalamış ayrıca görüntülere piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma uygulamışlardır. Çalışmada üç farklı yöntemin sonuçlarının da Orman Genel Müdürlüğü sonuçları ile tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Kavzoğlu ve diğerleri (2021), 2021 yılı yazında Türkiye'de Ege ve Akdeniz bölgelerinde meydana gelen 3 farklı orman yangınında hasar gören alanların belirlenmesi için Sentinel-2 görüntülerine NDVI, MIRBI, BAI, NBR ve CSI indekslerini uygulamışlardır. Yazarlar her bir çalışma alanı için fark yanma şiddeti haritaları üretmiş, ayrıca M-istatistiği ile kullandıkları indekslerin performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada yanmış ve yanmamış alanların en doğru şekilde NDVI ve NBR indeksleri ile ayrıldığı ifade edilmiştir. Konkathi ve Sheety (2021), Landsat 8 ve Sentinel uydu görüntüleri üzerinden NBR, RBR ve RdNBR indekslerinin doğruluklarını karşılaştırmış, tüm indekslerin yanan alanların belirlenmesinde kabul edilebilir seviyede doğru sonuçlar verdiğini, bununla birlikte en yüksek doğruluğun RdNBR indeksinden, sonrasında ise dNBR ve RBR indekslerinden elde edildiğini belirtmişlerdir. Burada detaylı örnekler sunulmuş olmakla birlikte, uzaktan algılama ile yanmış alan tespitinde kullanılan bu ve bu gibi indekslerin karşılaştırılmasına yönelik literatürdeki çalışma sayısı görelî olarak azdır. Bu doğrultuda hazırlanan bu çalışmada da yangın analizlerinde

sıklıkla kullanılan dört farklı indeksin (NDVI, dNBR, RBR ve RdNBR) karşılaştırması 2022 yılı haziran ayında Muğla ili, Marmaris ilçesinde çıkan yangın üzerinden yapılmıştır. Tüm Marmaris'in ~2/3'sinden fazlası ormanlar ile kaplıdır (Kavzoğlu ve diğerleri, 2021). Ülkemizin yüksek turizm potansiyeline sahip bu ilçesi 1. derece yangına hassas Muğla Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer almaktadır. İlçede 1977-2021 yılları arasında toplamda 691 yangın meydana gelmiş ve bu yangınlarda 39413,7 ha alan yanmıştır. İlçede meydana gelen ve en fazla orman kaybına sebep olan 3 büyük yangın sırasıyla 1979 (~13574 ha), 2021 (~9102 ha) ve ardından 1996 (~7105 ha) yıllarında yaşanmıştır (Orman Genel Müdürlüğü [OGM], 2021). Bulunduğu coğrafi konum ve iklimsel parametrelerin yanı sıra, yoğun turizm faaliyetlerinin de etkisiyle özellikle yaz aylarında yangın hadisesinin yoğun şekilde görüldüğü bölgede, 2022 yılı haziran ayında da 4 gün süren ve 1977 yılından itibaren yanan alan bakımından 4. en büyük tahribatın meydana geldiği bir orman yangını daha yaşanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılarak, söz konusu yangında oluşan tahribat farklı indeksler ile belirlenmiş ve NASA/FIRMS' ün (The Fire Information for Resource Management System/ Kaynak Yönetim Sistemi için Yangın Bilgileri) gerçek zamana yakın yangın verileri kullanılarak indekslerin doğrulukları karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan görüntülerin hazırlanması ve analizi sırasında Google Earth Engine (GEE) Platformu kullanılmıştır. GEE büyük ölçekli ya da geniş tarih aralığına sahip uydu görüntülerini bilgisayara veri aktarımı yapmadan işleme olanağı sağlayan ayrıca farklı nitelik ve çözünürlükte mekânsal verilerin temin edilebildiği bulut tabanlı bir hesaplama platformudur (Gorelick, Hancher, Dixon, Ilyushchenko, Thau, ve Moore, 2017; Google Earth Engine [GEE], 2022).

GEE, özellikle uzun zaman serilerinin kullanıldığı arazi örtüsü değişiminin izlenmesi (Midekisa ve diğerleri, 2017), sulak alanların tespiti ve izlenmesi (Gürbüz, 2018; Dervişoğlu, 2021; Dervişoğlu, 2022) ve tarımsal ürünlerin takibi (Dong ve diğerleri, 2016; Ou ve diğerleri, 2019) gibi çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen bir araç haline gelmiştir. Bununla birlikte analiz edilecek görüntülerin ön işlemlerinin (radyometrik düzeltme, görüntü mozaik oluşturulması, kesme gibi) platform içerisinde hızlı bir şekilde yapılabilmesi, bir yangın sonrası yanmış alanların tespiti (Farhadi, Mokhtarzade, Ebadi ve Beirami, 2022; Gupta ve Shukla, 2022) gibi az sayıda görüntüye ihtiyaç duyulan çalışmalarda da tercih edilmesine

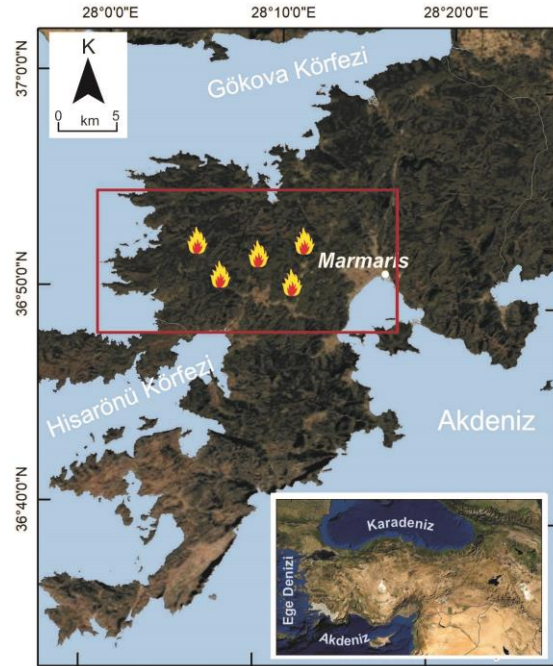
sebeptir.

Bu yaklaşımla, çalışmaya konu olan yangın özelinde, bir yangın sonrası meydana gelen tahribatın farklı indeksler ile hızlı bir şekilde tespiti yapılmış ve kullanılan indeksler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların benzer çalışmalar ile birlikte değerlendirilmesi yapıldığında, özellikle yoğun bitki örtüsüne sahip alanlardaki yangın tahribatının uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenmesinde tercih edilebilecek indekslerin seçimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Türkiye'nin güneybatısında yer alan Marmaris, Türkiye'nin orman varlığı açısından en zengin 3. bölgesi olan Ege Bölgesi'ndeki en geniş ormanlık alana sahip Muğla ilinin (Orman Genel Müdürlüğü [OGM], 2020) 13 ilçesinden biridir (Şekil 1).

İlçe, Akdeniz ve Ege Denizi'nin kesiştiği yerde önemli bir liman ve sahil beldesi durumundadır. Yaklaşık 900 km² yüz ölçümüne sahip olan Marmaris'in doğusunda Balan Dağı (1003 m) güneyinde Palamut Dağı (831 m) bulunmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu.

İlçe geneli ve çevresinin bitki örtüsü baskın olarak kızılçamlardan oluşan ormanlar ve makilerdir. Kızılçamlar yerleşim yerinin çevresinde bulunan dağların zirvelerine kadar yaygın şekilde görülürken, nadir olarak servi ağaçları, doğu çınarı ve endemik bir tür olan sığla ağaçları da bölgede seyrek olarak görülmektedir (Balcioglu, 2021). İlçe

sınırları içerisinde ~660 km²'lik bir alana yayılan orman alanları Muğla ilindeki tüm orman varlığının yaklaşık %8'ini oluşturmaktadır (Kavzoğlu ve diğerleri, 2021). İlçenin coğrafi konumu ve doğal özellikleri ilçeyi önemli bir turizm merkezi haline getirirken artan insan faaliyetleri başta çevre kirliliği ve yangınlar olmak üzere insan kaynaklı tahribatların da sıklıkla görüldüğü bir alan olmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte tüm dünyayı etkileyen küresel iklim değişimi ile beraber özellikle yaz aylarında artan sıcaklık ve düşen nem miktarları yangın açısından zaten hassas olan bölgede yangın tehlikesini arttırmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

a. Materyal

Çalışma alanında meydana gelen yangının şiddetinin belirlenebilmesi için Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel 2'nin 2A ve 2B olmak üzere elektromanyetik spektrumun görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bölgelerinde 13 farklı spektral bantta sahip iki uydusu bulunmaktadır. Bu bantlar 10m'den 60m'ye değişen mekânsal çözünürlüğe sahiptir. 2A ile 2B ikiz uydular sayesinde 5 günlük zamansal çözünürlük sağlanmaktadır (European Space Agency [ESA], 2015). 2022 yılı haziran ayında (21-24 Haziran) Marmaris bölgesinde meydana gelen orman yangının şiddetinin belirlenebilmesi için çalışma alanının yangın öncesi (16 ve 18 Haziran 2022) ve yangın sonrası (26 ve 28 Haziran 2022) tarihlerine ait 4'er adet, 2. Seviye (Level-2) Sentinel 2A ve 2B görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan görüntülere ait bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan Sentinel 2A ve Sentinel 2B görüntülerinin GEE içerisindeki kimlik bilgileri (uydunun veri kaydetme tarihi koyu renkle belirtilmiştir).

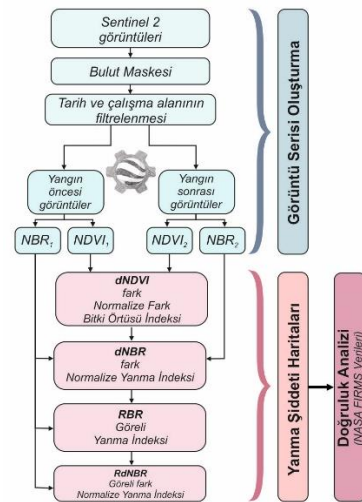
Görüntü Dönemi	Görüntü Kimliği		
Yangın Öncesi	20220616T085611	20220616T090420	T35SNA
	20220616T085611	20220616T090420	T35SPA
	20220618T084559	20220618T085011	T35SNA
	20220618T084559	20220618T085011	T35SPA
Yangın Sonrası	20220626T085611	20220626T090248	T35SNA
	20220626T085611	20220626T090248	T35SPA
	20220628T084609	20220628T085012	T35SNA
	20220628T084609	20220628T085012	T35SPA

Çalışma kapsamında farklı indekslerden üretilen yanma şiddeti haritalarının doğruluklarının kontrolü için aktif yangınlardaki sıcak noktaları gösteren NASA/FIRMS verileri kullanılmıştır. FIRMS, MODIS'in Aqua ve Terra uyduları ile

VIIRS'in SNPP ve NOAA 20 uydularından gelen Gerçek Zamana Yakın (Near Real Time/ NRT) ve standart aktif yangın verilerini sağlamaktadır ([FIRMS], 2022). MODIS Yangın ve Termal Anomali verileri, Terra (MOD14) ve Aqua (MYD14) uydularının yanı sıra birleştirilmiş Terra ve Aqua (MCD14) uydu ürününden temin edilmektedir. Sensör çözünürlüğü 1 km'dir ve zamansal çözünürlük gündüzdür. Termal anormallikler, 1 km'lik pikselin yaklaşık olarak merkezine denk gelen kırmızı noktalar şeklinde temsil edilir (Schroeder ve diğerleri, 2014). VIIRS ise 375m'lik I-bandı verileri ile MODIS'in verilerini tamamlar niteliktedir. Mekânsal çözünürlüğün daha yüksek olması özellikle göreceli olarak daha küçük alanlardaki yangınlara karşı daha doğru bir yanıt ve büyük yangınların çaplarının daha iyi haritalanmasını sağlar. İki uydu da etkin nokta algılamada iyi bir uyum göstermektedir (Schroeder ve diğerleri, 2014). Veriler FIRMS'in web sitesinden temin ve talep edilebilmekte ayrıca GEE aracılığıyla söz konusu veriye bulut ortamda erişim sağlanabilmektedir. Çalışma kapsamında, FIRMS'ten söz konusu yangını temsil eden MODIS için 82, VIIRS için 507 nokta verisi temin edilmiş ve tüm noktalar tutarlılık karşılaştırmasında kullanılmıştır.

b. Metot

Bu çalışma kapsamında 2022 yılı haziran ayında Marmaris bölgesinde meydana gelen orman yangının şiddetinin belirlenebilmesi için bulut tabanlı bir hesaplama platformu olan GEE kullanılmıştır. Öncelikle platformdan temin edilen Sentinel verilerine bulut maskesi uygulanmış, daha sonra tarih ve çalışma alanı filtrelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmada takip edilen akış şeması.

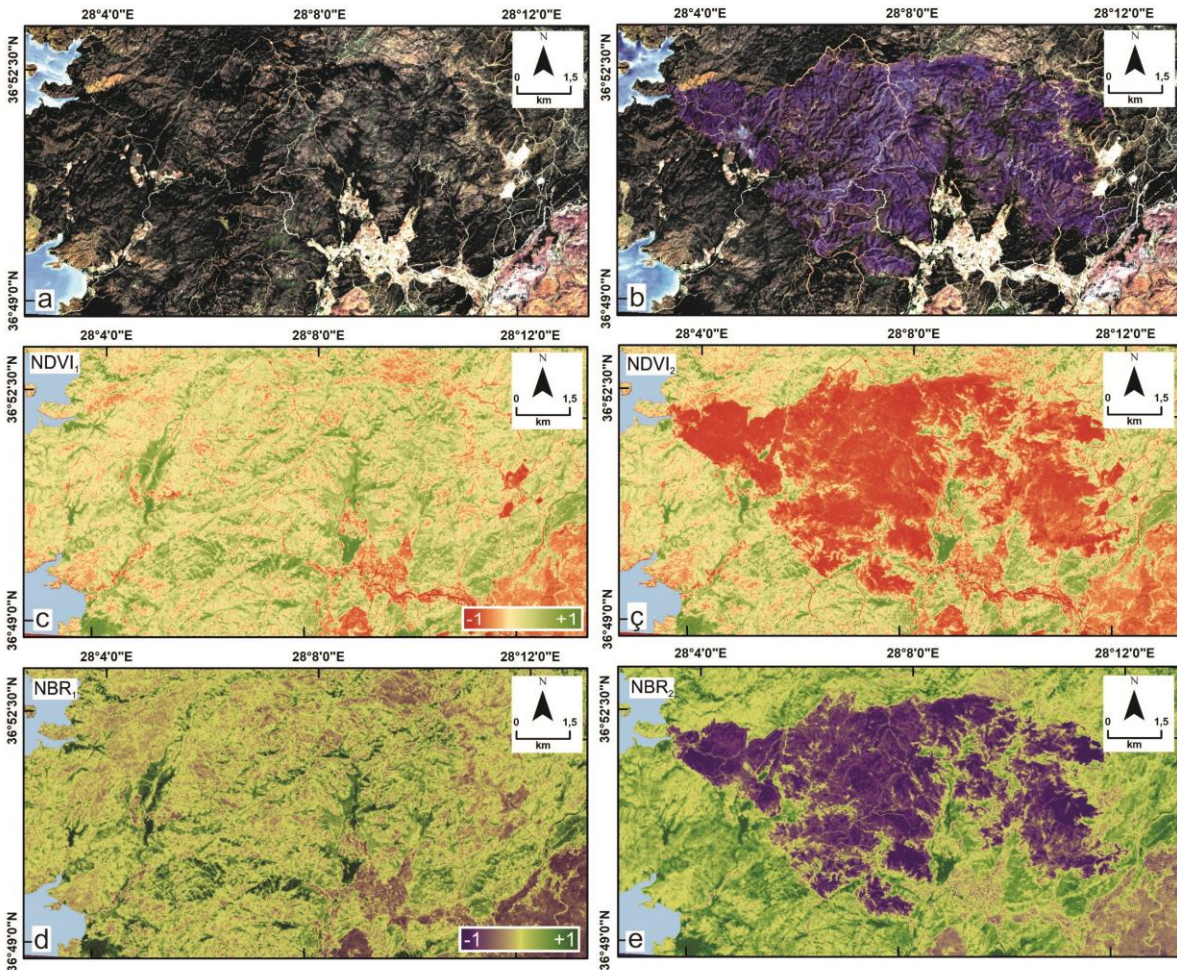
Tarih filtrelemesinde, çalışmanın sonraki aşamasında kullanılan indekslerde faydalanılmak üzere yangın öncesi ve sonrası dönemi temsil eder şekilde iki ayrı görüntü mozaïği oluşturulmuştur (Şekil 3a,b).

Oluşturulan mozaiklere ilk olarak yanma şiddeti değerlendirmesi için geniş çapta kabul gören (Vlassova ve diğerleri, 2014; Kovács, 2019) NDVI uygulanmıştır (Şekil 3c, ç). NDVI sağlıklı bitki örtüsünün yakın kızılötesiindeki (Sentinel-2 görüntülerinde Bant 8) yüksek yansıtma ve kırmızı dalga boyundaki (Sentinel-2 görüntülerinde Bant 4) yüksek soğurma değerlerini kullanarak (eşitlik (1)) yeşil bitki örtüsü yoğunluğu hakkında bilgi sağlar (Tucker, 1979).

$$NDVI = \frac{\text{Yakın kızılötesi bant} - \text{Kırmızı bant}}{\text{Yakın kızılötesi bant} + \text{Kırmızı bant}} \quad (1)$$

Denklemden elde edilen sonuçlar +1 (bitki örtüsü) ve -1 (bitki örtüsü olmayan alan) arasında değerler alır. Çalışma kapsamında ayrıca yangın şiddeti haritası hazırlanması aşamasında yangın öncesi (NDVI₁) ve sonrası (NDVI₂) NDVI görüntülerinin farkı alınarak, fark NDVI (dNDVI) haritası oluşturulmuştur.

Sağlıklı bitki örtüsü, elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi bölgesinde çok yüksek yansımaya ve kısa dalga kızılötesi bölgesinde ise düşük yansımaya gösterir. Tam tersi şekilde yakın zamanda yanmış alanlar yakın kızılötesi bölgede düşük yansımaya ve kısa dalga kızılötesi bölgede yüksek yansımaya gösterir (Pereira ve diğerleri, 1999; Key, 2006). Bir sonraki adımda, çalışma kapsamında hazırlanmış görüntü mozaiklerine bu yaklaşım ile NBR indeksi uygulanmıştır (Şekil 3d, e).



Şekil 3. Çalışma alanının, a) yangın öncesi Sentinel 2 görüntü mozaïği b) yangın sonrası Sentinel 2 görüntü mozaïği, c) yangın öncesi NDVI (NDVI₁) görüntüsü, ç) yangın sonrası NDVI (NDVI₂) görüntüsü, d) yangın öncesi NBR (NBR₁) görüntüsü, e) yangın sonrası NBR (NBR₂) görüntüsü.

NBR, büyük yangın bölgelerindeki yanmış alanların uydu görüntülerinde belirgin hale getirilmesi için tasarlanmış yakın kızılötesi (Sentinel-2 görüntülerinde Bant 8) ve kısa dalga kızılötesi bantların (Sentinel-2 görüntülerinde Bant 12) kullanıldığı (eşitlik (2)) bir indekstir (Key ve Benson, 2005).

$$NBR = \frac{(Yakın\ kızılötesi\ bant - Kısa\ dalga\ kızılötesi\ bant)}{(Yakın\ kızılötesi\ bant + Kısa\ dalga\ kızılötesi\ bant)} \quad (2)$$

NDVI' ya benzer şekilde NBR değerleri -1 ve +1 arasında değişir. +1'e yakın NBR değeri sağlıklı bitki örtüsünü, -1'e yakın NBR değeri çıplak zemini ve yakın zamanda yanmış alanları temsil ederken, yanmamış alanlar genel olarak sıfıra yakın değerler alır. Yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerden elde edilen NBR görüntüleri yanma şiddetini belirlemek için geliştirilmiş farklı indekslerde kullanılabilir. Bunlardan en yaygın kullanılanı eşitlik (3)'de sunulan yangın öncesi NBR görüntüsünden (NBR₁) yangın sonrası NBR görüntüsünün (NBR₂) çıkarılması ile elde edilen dNBR'dır (Key ve Benson, 2005).

$$dNBR = NBR_{yangın\ öncesi\ görüntü} - NBR_{yangın\ sonrası\ görüntü} \quad (3)$$

Yüksek dNBR değerleri, daha ciddi hasarı (yanmış alanları) işaret etmektedir (Cai ve Wang, 2020). dNBR ve yangın öncesi NBR görüntüleri kullanılarak formüle edilen bir diğer indeks eşitlik (4)'te sunulan RBR indeksidir (Parks ve diğerleri 2014).

$$RBR = \frac{dNBR}{(NBR_{yangın\ öncesi\ görüntü} + 1,001)} \quad (4)$$

dNBR'nin farklı bir varyantı olan indekste, paydanın sıfır değeri almaması için, paydaya 1,001 eklenmektedir (Parks ve diğerleri 2014). dNBR'nin diğer bir farklı varyantı da RdNBR'dır (Miller ve Thode 2007; Miller ve diğerleri, 2009). dNBR yangın öncesi ve sonrası görüntüler arasındaki mutlak değişimi ölçerken, RdNBR (eşitlik (5)) yangın öncesi yansımaya göre yanma şiddetinin belirlenmesini ve tanımlandığı gibi yangının neden olduğu nispi değişimin hesaplanmasını sağlar (Miller ve Thode, 2007; Soverel, Perrakis ve Coops, 2010).

$$RdNBR = \frac{dNBR}{\sqrt{|NBR_{yangın\ öncesi\ görüntü}|}} \quad (5)$$

Sentinel görüntülerine farklı indeksler uygulanarak elde edilen görüntülere USGS FIREMON (Fire Effects Monitoring And Inventory Protocol/ Yangın Etkilerini İzleme ve Envanter Protokolü; Lutes ve diğerleri, 2006) tarafından, bir bölgedeki yanma şiddetini tanımlamak üzere belirlenmiş eşik değerler uygulanarak (Tablo 2) çalışma alanının her bir indeks görüntüsüne göre yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur.

Söz konusu eşik değerler esas olarak dNBR indeksine bağlı olarak geliştirilmiş olsa da, literatürde bu eşik değerlerin farklı indekslere uygulanması ile yine bir bölgedeki yangın şiddetinin belirlendiği örnekler mevcuttur (Konkathi ve Shetty, 2021).

Tablo 2. Yanma şiddeti sınıflarının eşik değeri seviyeleri (Key ve Benson, 1999; 2004; 2005).

NUMARA	DEĞER ARALIĞI	YANMA ŞİDDETİ SINIFI
1	-0,50 ile -0,25	Yüksek seviyede yeniden yeşillenme
2	-0,25 ile -0,1	Düşük seviyede yeniden yeşillenme
3	-0,1 ile 0,1	Yanmamış alan
4	0,1 ile 0,27	Düşük şiddetli yanma
5	0,27 ile 0,44	Orta-düşük şiddetli yanma
6	0,44 ile 0,66	Orta-yüksek şiddetli yanma
7	0,66 ile 1,30	Yüksek şiddetli yanma

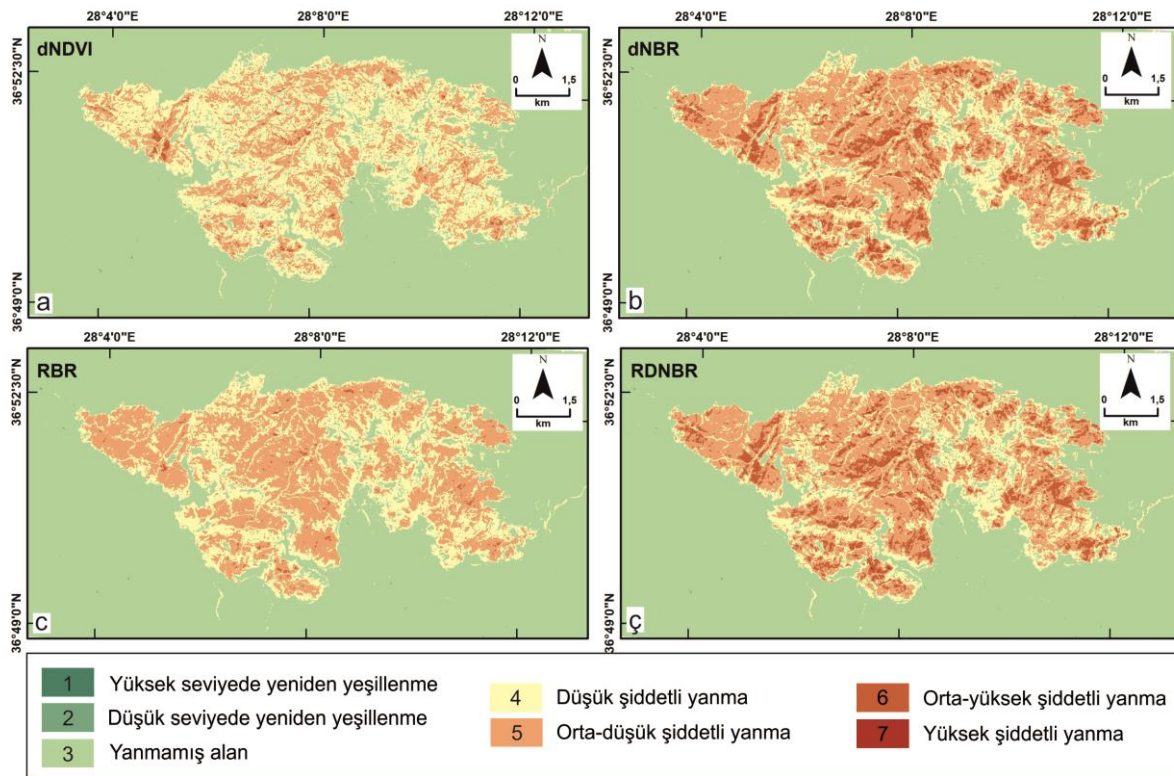
Yangın şiddet haritalarının oluşturulmasından sonra, elde edilen haritaların doğruluklarının saptanması ve birbirleri ile karşılaştırılabilirliği amacıyla öncelikle yangın şiddet haritalarında 0,1'den küçük değer alan pikseller yanmamış, 0,1'den büyük değer alan pikseller ise yanmış alan olarak sınıflandırılmıştır. Bu ayırmadan sonra, NASA FIRMS'ten temin edilen aktif yangınları gösteren sıcak noktalar (MODIS için 82, VIIRS için 507 nokta verisi) kullanılarak tutarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. FIRMS verileri içerisindeki MODIS'ten sağlanan veriler 1000 m mekânsal çözünürlüğe sahipken, VIIRS'den sağlanan veriler 375 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. VIIRS'in sensörlerinden sağlanan yangın verileri aslında daha kaba çözünürlüklü MODIS ürünlerinin devamı, tamamlayıcısı niteliğindedir (Kaufman, Justice, Flynn, Kendall, Prins, Giglio, Ward, Menzel, Setzer, 1998; Giglio, Descloitres, Justice, Kaufman, 2003; Schroeder ve diğerleri, 2014) ve her iki veri seti kendi içerisinde uyumlu sonuçlar verir ([EarthData], 2022). Bu iki veri seti ile 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel görüntüsü üzerinden hazırlanan haritalardaki

tutarlılığın daha gerçekçi şekilde karşılaştırılabilmesi amacıyla, indekslerden üretilen raster formattaki yanma şiddeti haritaları yeni piksel boyutları belirlenerek ArcGIS programında 375 m (VIIRS verileri ile karşılaştırmak için) ve 1000 m'ye (MODIS verileri ile karşılaştırmak için) yeniden örneklenmiştir. Yeniden örnekleme işlemi sonrasında elde edilen sınırlar, Sentinel görüntülerinden üretilen indeks haritalardan elde edilen sınırlar ile karşılaştırılmıştır. Son olarak nokta formatındaki VIIRS ve MODIS verileri kullanılmış ve yanmış alan olarak belirlenen sınırlar içerisinde kalan noktalar tutarlı, dışında kalan noktalar ise tutarsız olarak değerlendirilerek yüzde hesabı yapılmıştır.

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında öncelikle Haziran 2022'de Marmaris'te meydana gelen orman yangının farklı indeksler kullanılarak yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4).

Bu haritalar üzerinden yapılan hesaplamalarda toplam yanan alanın dNDVI'ya göre 4136,25 ha, dNBR indeksine göre 4365,91 ha, RBR indeksine göre 4268,84 ha, RdNBR indeksine göre ise 4365,68 ha olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3).



Şekil 4. a-ç) Çalışma alanının farklı indekslerden üretilmiş yanma şiddeti haritaları (Haritalardaki sınıflamalar Tablo 2'deki eşik değerler kullanılarak yapılmıştır).

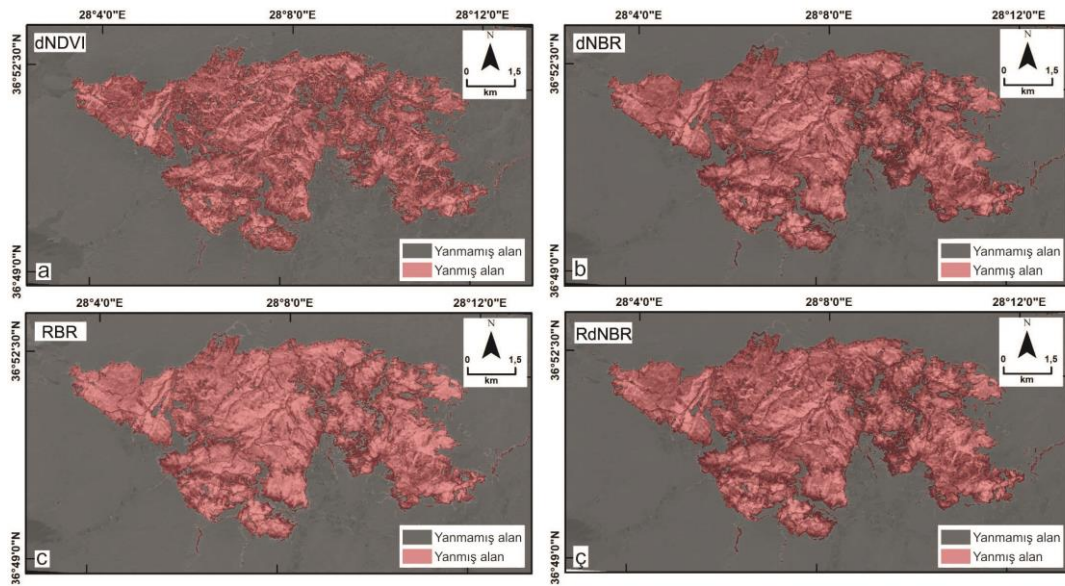
Tablo 3. Çalışma kapsamında kullanılan indekslerden hesaplanan yanmış alan sınıflarının kapladığı alanlar ve bunların tüm yanmış alana göre yüzdeleri.

Yanmış alan sınıfı (ha (%))	dNDVI	dNBR	RBR	RdNBR
Düşük şiddetli yanmış alan	2507,60 (%61)	1398,81 (%32)	1837,31 (%43)	1400,31 (%32)
Orta-düşük şiddetli yanmış alan	1566,51 (% 38)	2349,76 (%54)	2398,07 (%56)	2346,36 (%54)
Orta-yüksek şiddetli yanmış alan	62,14 (% 1)	614,89 (%14)	33,46 (%1)	616,47 (%14)
Yüksek şiddetli yanmış alan	0,00 (%0)	2,44 (%0,1)	0,00 (%0)	2,54 (%0)
Toplam yanmış alan	4136,25	4365,91	4268,84	4365,68

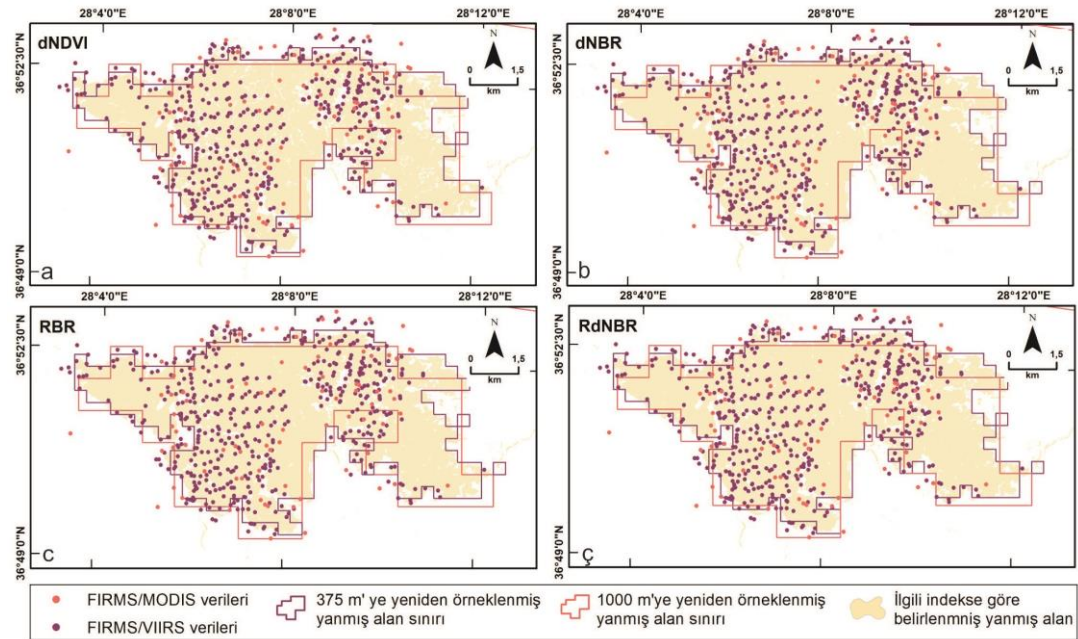
dNDVI hariç diğer tüm indekslerde orta-düşük şiddetli yanan alan miktarı toplam yanan alan içerisinde daha yüksek yüz ölçümüne sahipken dNDVI ile elde edilen şiddet haritasına göre düşük şiddetli yanma görülen bölgenin yüzey alanı daha fazladır. İlaveten tüm indekslerde yüksek şiddetli yanan alan en düşük yüzey alanına sahiptir (Tablo 3).

Bir sonraki adımda, yangın şiddeti haritaları 0,1 eşik değeri kullanılarak yanan ve yanmamış alanlara ayrılmıştır (Şekil 5). Tüm indekslerden

üretilen yanan alanların doğruluklarının belirlenebilmesi ve birbirleri ile karşılaştırılabilmesi amacıyla, tüm indeks haritalarındaki yanan alanlar yeniden örneklenmiş ve Sentinel görüntülerinden üretilen indeks haritaları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Bu haritaların nokta formatındaki FIRMS verileri ile değerlendirilmeleri sonucunda, dNDVI hariç diğer tüm indekslerden üretilen yanan alanların MODIS verileri ile %76,83 oranında, dNDVI'dan üretilen yanan alanın ise % 75,61 oranında tutarlılık gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 7).

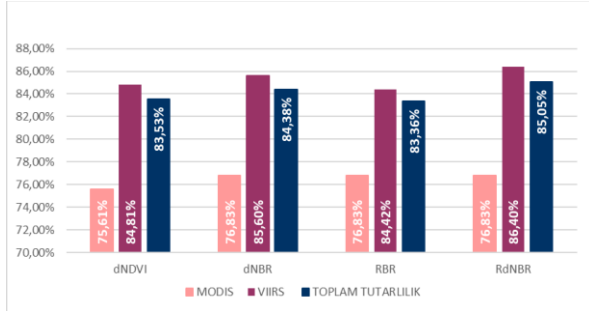


Şekil 5. Çalışma alanında farklı indekslere göre yanan alanların durumu.



Şekil 6. 375 ve 1000 m 'ye yeniden örneklenmiş indeks haritaları ve FIRMS verilerinin bunlar üzerindeki dağılımı.

İndeks haritalarından belirlenen yanmış alanların VIIRS verileri ile olan tutarlılıklarının ise % 84 ile %86 aralığında olduğu, en yüksek tutarlılığın (%86,04) RdNBR indeksi kullanılarak üretilen yanmış alan ile en düşük tutarlılığın (%84,42) ise RBR kullanılarak üretilen yanmış alan ile sağlandığı görülmektedir. Tüm noktalar bazındaki toplam tutarlılıklara bakıldığında ise yine en yüksek tutarlılık RdNBR indeksi (%85,05) ile sağlanırken, en düşük tutarlılığın RBR indeksi (%83,36) ile sağlandığı görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. Farklı indeks haritalarındaki yanmış alanların MODIS ve VIIRS verileri ile tutarlılıkları.

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Sentinel 2 görüntüleri kullanılarak 2022 yılı haziran ayında Marmaris'te meydana gelen orman yangınının farklı spektral indeksler (dNDVI, dNBR, RBR, RdNBR) ile yanma şiddeti haritaları üretilmiş ve bu indekslerin yanmış alanların belirlenmesindeki doğrulukları karşılaştırılmıştır.

Tüm indekslerden üretilen yanmış alan haritalarından hesaplanan en küçük toplam yanmış alan dNDVI ile tespit edilmiştir ve çalışma alanı içerisinde 4136,25 ha'lık bir alanı temsil etmektedir (Tablo 3). Ayrıca yine dNDVI indeksine göre toplam yanan alanın %60,6'sı düşük seviyede yanmış görülmektedir. Diğer indekslerde bu oranlar %32 ile %43 arasında değer almaktadır (Şekil 4).

Uzaktan algılama ile yanma şiddetinin değerlendirildiği çok sayıda çalışma NDVI'nin kullanımına odaklanmış olsa da (Kasischke ve French, 1995; Fraser, Li ve Cihlar, 2000; Diaz-Delgado, Lloret ve Pons, 2003; Escuin, Navarro ve Fernández, 2008; Chu ve Guo, 2013; Veraverbeke ve diğerleri, 2010) NDVI, klorofil miktarı yüksek, sağlıklı bitki örtüsünün yakın kızılötesi dalga boyundaki yüksek yansıtma ve kırmızı dalga boyundaki yüksek soğurma değerlerinin kullanıldığı bir indekstir (Tucker, 1979). Dolayısıyla bitki örtüsündeki klorofil miktarı azaldıkça NDVI değerleri de düşmeye başlar.

NDVI'nin doğrudan yanmış alanın spektral özelliklerine değil de bitki örtüsünün spektral özelliklerine bağlı olması, çalışma alanının yangın öncesi ve sonrası görüntülerinden üretilmiş dNDVI haritasında yanma kademelerinin diğer indekslerden tespit edilenlerden farklı çıkmasına ve toplam yanan alanın diğer indekslere göre daha düşük olmasına sebep olmuş olabilir. dNDVI'nin yanmış alanların belirlenmesindeki diğer bir dezavantajı ise bitki örtüsündeki değişimin yanma ya da farklı bir sebebe bağlı olup olmadığını ayırt edememesidir (Chongo, Nagasawa, Ahmed ve Perveen, 2007; Pirnazar ve diğerleri, 2018; Farhadi ve diğerleri, 2022). Ancak bu çalışmada kullanılan yangın sonrası görüntü mozaığının yangının söndürüldüğü gün itibari ile oluşturulmuş olması, yangın sonrası görüntü mozaığında bitki örtüsündeki azalışının farklı bir nedeni olması ihtimalini düşürmüştür.

Çalışmada dNDVI haricinde kullanılan diğer indeksler NBR ve ona bağlı olarak geliştirilmiş indekslerdir. NBR, uzaktan algılama ile yanma şiddetini belirlemek için standart spektral indeks olarak kabul görmektedir (Key ve Benson, 2005; Nassery ve Kalkan 2020, Kavzoğlu ve diğerleri, 2021). Dolayısıyla NBR'den üretilen dNBR, RBR ve RdNBR indeksleri de yanma şiddeti tespitinde yaygın olarak kullanılan yöntemler durumundadır.

Çalışma kapsamında bu indeksler kullanılarak üretilen yanma şiddeti haritalarındaki yanmış alan sınıflarının kapladıkları alanlar ve toplam yanmış alan miktarları göreceli olarak yakın değerler almışlardır. dNBR, RBR ve RdNBR indekslerinden üretilen yanma şiddeti haritalarında düşük şiddetli yanmış alanların tüm yanmış alanlara oranı sırasıyla %32, %43, %32,1; orta-düşük şiddetli yanmış alanların tüm yanmış alanlara oranları sırasıyla %53,8, %56,2, %53,7 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Yine aynı sıra ile orta-yüksek şiddetli yanmış alanlar %14,1, %0,8, %14,1 olarak hesaplanmıştır. Yüksek şiddetli yanmış alanların oranı ise %0-%0,1 aralığındadır. (Tablo 3). Toplam yanmış alanların kapladığı yüz ölçümü dNBR ve RdNBR'de çok daha yakınen (4365,91 ha ve 4365,68 ha), RBR ile hesaplanan toplam yanmış alan 4268,84 ha olarak hesaplanmıştır. RBR özellikle yangın öncesi bitki örtüsünün düşük olduğu alanlarda iyi sonuç vermektedir (Parks, Dillon ve Miller, 2014). Çalışma alanında yangın öncesi bitki örtüsünün oldukça yoğun olması RBR'den hesaplanan yanmış alanın yüz ölçümünün daha düşük çıkmasına sebep olmuş olabilir.

dNBR ve RdNBR'de hem orta-düşük, orta-yüksek şiddetli yanmış alanların miktarı hem de

toplam alan oldukça yakın çıkmıştır. RdNBR'yi dNBR'den ayıran temel fark formülü gereği RdNBR'nin sadece yangının şiddetini değil aslında yangın öncesi bitki örtüsü yoğunluğu ve dağılımını da dikkate alıyor olmasıdır (Miller ve Thode, 2007). İndeksteiki Göreli (relative) ifadesi de zaten buradan gelmektedir. Genel olarak bitki örtüsünün seyrek ve yangın şiddetinin düşük olduğu alanlarda dNBR ve RdNBR değerleri arasındaki fark fazla olmakta, ancak bitki örtüsünün yoğun, yangın şiddetinin ise orta ya da yüksek seviyede olduğu alanlarda ise bu fark neredeyse ortadan kalkmaktadır (Miller ve Thode 2007; Applied Remote Sensing Training Program [ARSET], (2022)).

Çalışma alanında meydana gelen yangının tahribatını orta şiddetli olarak ifade etmek mümkündür (Ancak kullanılan yangın sonrası görüntü mozaığının yangının bittiği gün itibari ile hazırlandığı unutulmamalıdır. Görüntülerin yangın anını yansıtmaması durumunda bu şiddet değeri değişebilir).

İndekslerden üretilen yanmış alanların doğruluklarının karşılaştırılması amacıyla NASA FIRMS verileri kullanılmıştır. Bu veriler içerisindeki nokta formatındaki MODIS verileri 1000 m, VIIRS verileri ise 375 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Diğer bir ifade ile yanmakta olan alanı gösteren nokta verisi MODIS için 1000 km'lik, VIIRS içinse 375 m'lik mekânsal çözünürlüğe sahip görüntülerdeki piksellerin merkezini temsil edecek şekilde üretilmiştir. Verilerin mekânsal çözünürlüğü 10 m olan Sentinel verilerinden üretilen indeks haritalarla karşılaştırılabilmesi için her indeksin yanmış alan haritası 375 ve 1000 m'ye yeniden örneklenmiş ve bu haritalar 10 m çözünürlüklü indeks haritalar ile kesiştirilmiştir. Sonrasında MODIS ve VIIRS'tan sağlanan nokta formatındaki veriler, Sentinel görüntülerinden oluşturulmuş yanmış alanlar ve kendi çözünürlüklerine göre yeniden örneklenmiş sınırların kesişim bölgesinin içinde kalıp kalmamalarına göre değerlendirilmiştir.

Bunun sonucunda MODIS noktaları dNBR, RBR, RdNBR indekslerinden üretilen yanmış alanlar ile %76,83 oranında, dNDVI'dan üretilen yanmış alan ile %75,61 oranında uyumlu çıkmıştır. Haritaların 1000 m'ye yeniden örneklediği düşünüldüğünde oluşan kaba sınırlar, zaten birbirine yakın çıkmış olan yanmış alan sınırlarını aynı alana taşımış, dolayısıyla toplam yanmış alan sınırları ve büyüklüğü yakın çıkan bu 3 indeksin MODIS verileri ile tutarlılığı da aynı çıkmıştır. NDVI'dan hesaplanan yanmış alanın diğer indekslerden belirlenenlere göre daha

küçük yüz ölçümünü kaplıyor olması tutarlılığın da az çıkmasına sebep olmuştur.

VIIRS verileri ile olan tutarlılığa bakıldığında ise tutarlılıkların her indeks için yükseldiği ve farklı değerler aldığı görülmektedir. En yüksek tutarlılıklar RdNBR ve dNBR indekslerinde sağlanmış, bunu sırasıyla NDVI ve RBR indeksleri izlemiştir. Yeniden örneklenmiş sınırlarda çözünürlüğün artması bunda etkindir. Tüm indekslerden elde edilen toplam tutarlılık değerleri %80'in üstünde olmakla birlikte, RdNBR ve dNBR indekslerinin en yüksek doğruluğu verdiği (%85,05 ve %84,38) görülmüştür. NDVI ve RBR indekslerinde bu oran sırasıyla %83,53 ile %83,36'dır. Çalışma kapsamında dNBR ve RdNBR indeksleri ile belirlenen yanmış alanların hem yüz ölçümlerinin yakın değerlere sahip olması hem de doğruluklarının yüksek çıkması bölgenin yangın öncesinde yoğun bir bitki örtüsüne sahip olmasından kaynaklanması ile açıklanabilir.

Literatürde, yanmış alanların belirlenmesinde farklı indekslerin kullanıldığı diğer bazı çalışmalarda da NBR'den üretilen RdNBR ve dNBR indekslerinin genel olarak daha iyi sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür (örn. Konkathi ve Shetty, 2021). Benzer amaçla farklı indekslerin kullanıldığı çalışmalarda da NDVI, NBR ve bunlara bağlı olarak geliştirilen fark NDVI ve fark NBR'nin de yüksek doğruluk gösterdiği görülmüştür (Sabuncu ve Özener 2019; Kavzoğlu ve diğerleri, 2021). Uzaktan algılama ile yanmış alanların ve yanma şiddetinin belirlenmesinde özellikle pasif sensörler ile yapılan çalışmalarda, ağaç gölgeliklerinin altını tespit etmek zor olacağı için hem sınıfları ayırmakta hem de toplam doğruluğun tespit edilmesinde bazı sorunlar yaşanmasının muhtemel olduğu literatürde de belirtilmiştir (Miller ve Thode, 2007). Bu durum tek bir indeksin, her arazi örtüsü ya da bitki örtüsü türü ve yoğunluğu için en iyi olarak tanımlanmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışma alanında olduğu gibi yangın öncesinde yoğun bitki örtüsünün olduğu alanlarda dNBR ve RdNBR indekslerinin daha iyi sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür.

KATKI BELİRTME

Yazar makalenin biçimsel düzenlemesindeki katkılarından dolayı Harita Yüksek Mühendisi Gamze KAÇMAZ'a ve makalenin gelişmesine sağladıkları katkıları için hakemlere teşekkür eder.

ORCID

Esra GÜRBÜZ 
<https://orcid.org/0000-0001-6105-2291>

KAYNAKLAR

- Ahmed, M.R., Hassan, Q. K., Abdollahi, M. ve Gupta, A. (2020). Processing of near real time land surface temperature and its application in forecasting forest fire danger conditions. *Sensors*, (4), 984. doi: 10.3390/s20040984
- ARSET. (2022). Applied Remote Sensing Training Program. Erişim Adresi: <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-using-earth-observations-pre-and-post-fire-monitoring>
- Balçioğlu, Y. E. (2021). Bodrum, Marmaris, Köyceğiz ve Muğla'da Sıcaklık ve Yağış Değişkenlerinin Analizi ve Ekstrem Olaylar. (Doktora Tezi) YÖK veri tabanından erişildi. (Tez No. 694681).
- Cai, L. ve 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*, 37 (3), 758-772. doi: 10.1080/10106049.2020.1737973
- Chongo, D., Nagasawa, R., Ahmed, A. O. C. ve Perveen, M. F. (2007). Fire monitoring in savanna ecosystems using MODIS data: A case study of Kruger National Park, South Africa. *Landscape and Ecological Engineering*, 3 (1), 79–88. doi: 10.1007/s11355-007-0020-5.
- Chu, T. ve Guo, X. (2013). Remote sensing techniques in monitoring post-fire effects and patterns of forest recovery in boreal forest regions: A review. *Remote Sensing*, 6(1), 470-520. doi: 10.3390/rs6010470
- Chuvieco, E., Martín, M.P. ve 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., Cocero, D., Riano, D., Martin, P., Martinez-Vega, J., De La Riva, J. ve Pérez, F. (2004). Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. *Remote Sensing of Environment*, 92 (3), 322-331. doi: 10.1016/j.rse.2004.01.019
- Cocke A.E, Fulé P.Z. ve Crouse J.E. (2005) Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. *Int J Wildl Fire* 14:189–198. doi: 10.1071/WF04010.
- Çömert, R., Matcı, D. K., Emir, H. ve Avdan, U. (2017). Nesne Tabanlı Sınıflandırma ile Yanmış Orman Alanlarının Tespiti. Afyon Kocatepe Üniversitesi *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 27-34. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/321533008_Nesne_Tabanli_Siniflandirma_ile_Yanmis_Orman_Alanlarinin_Tespiti
- Dervisoglu, A. (2021). Analysis of the temporal changes of inland Ramsar Sites in Turkey using Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 521. doi: 10.3390/ijgi10080521
- Dervisoglu, A. (2022). Investigation of long and short-term water surface area changes in coastal Ramsar Sites in Turkey with Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(1), 46. doi: 10.3390/ijgi11010046
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F. ve Pons, X. (2003). Influence of fire severity on plant regeneration through remote sensing imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 24(8), 1751- 1763. doi: 10.1080/01431160210144732.
- Dong, J., Xiao, X., Menarguez, M., Zhang, G., Qin, Y., Thau, D., ... Moore, III B. (2016). Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 185, 142-154. doi: 10.1016/j.rse.2016.02.016
- EarthData (2022). Erişim Adresi: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/firms/viirs-i-band-375-m-active-fire-data>
- Escuin, S. Navarro R. ve Fernández P. (2008) Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images, *International Journal of Remote Sensing*, 29:4, 1053-1073, doi: 10.1080/01431160701281072.

- ESA. (2015). Sentinel-2 User Handbook. Erişim Adresi: <https://www.google.com/search?q=Sentinel-2+User+Handbook&og=Sentinel-2+User+Handbook&ags=chrome..69i57j69i60.511j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Farhadi, H., Mokhtarzade, M., Ebadi, H. ve Beirami, B. A. (2022). Rapid and automatic burned area detection using sentinel-2 time-series images in Google Earth Engine cloud platform: a case study over the Andika and Behbahan Regions, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(5), 1-19. doi: 10.1007/s10661-022-10045-4
- Fernández, A., Illera, P. ve Casanova, J. L. (1997). Automatic mapping of surfaces affected by forest fires in Spain using AVHRR NDVI composite image data. *Remote Sensing of Environment*, 60(2), 153-162. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00178-2
- Fraser, R. H., Li, Z. ve Cihlar, J. (2000). Hotspot and NDVI differencing synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal forest. *Remote Sensing of Environment*, 74(3), 362-376. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/238241599_Hotspot_and_NDVI_Differencing_Synergy_HANDS_A_New_Technique_for_Burned_Area_Mapping_over_Boreal_Forest
- FIRMS. (2022). *The Fire Information for Resource Management System* Erişim Adresi: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- GEE. (2022). *Google Earth Engine*. Erişim Adresi: <https://earthengine.google.org>
- Gibson, R., Danaher, T., Hehir, W. ve Collins, L. (2020). A remote sensing approach to mapping fire severity in south-eastern Australia using sentinel 2 and random forest. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111702. doi: 10.1016/j.rse.2020.111702
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O. ve Kaufman, Y. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87: 273-282. doi: 10.1016/S0034-4257(03)00184-6
- Giglio, L., Loboda, T., Roy, D.P., Quayle, B. ve Justice, C.O. (2009). An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sens. Environ.* 113, 408–420. doi: 10.1016/j.rse.2008.10.006
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. ve Moore, R., (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Gupta, P. ve Shukla, D. P. (2022). Google earth engine based temporal analysis of indices used for forest fire study in Mizoram, India. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 493-499. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-493-2022
- Gürbüz, E. (2018). Tracing Temporal Changes with Google Earth Engine: Lake Uluabat, southern Marmara Region, Turkey. *Proceedings of EurasianGIS 2018 Congress*, Baku, pp. 177-179.
- Güzel, A., Bıçaklı, K., Bıçaklı, F. ve Kaplan, G. (2021). Monitoring the Regeneration Process of Areas Destroyed by Forest Fires Aided by Google Earth Engine. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 21(2), 122-130. doi: 10.17475/kastorman.1000369
- Hall, R. J., Freeburn, J. T., De Groot, W. J., Pritchard, J. M., Lynham, T. J. ve Landry, R. (2008). Remote sensing of burn severity: experience from western Canada boreal fires. *International Journal of Wildland Fire*, 17(4), 476-489. Erişim Adresi: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=28883>
- Kasischke, E. S. ve French, N. H. (1995). Locating and estimating the areal extent of wildfires in Alaskan boreal forests using multiple-season AVHRR NDVI composite data. *Remote Sensing of Environment*, 51(2), 263-275. doi: 10.1016/0034-4257(93)00074-J
- Kaufman, Y.J., Justice, C.O., Flynn, L.P., Kendall, J.D., Prins, E.M., Giglio, L., Ward, D.E., Menzel, W.P. ve Setzer, A.W. (1998). Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 103(D24): 32215-32238. doi:10.1029/98jd01644
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Tonbul, H. ve Öztürk, M.Y. (2021). "Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları", T. Kavzoğlu (Ed.) *Orman Yangınları: Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri. Türkiye Bilimler Akademisi*. ss. 219-251.

- Key, C. H. (2006). Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity. *Fire Ecology*, 2(2), 34-59. Erişim Adresi: <https://fireecology.springeropen.com/articles/10.4996/fireecology.0202034>
- Key, C.H. ve Benson, N.C. (2005) Landscape assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio D.C. Lutes, et al. (Eds.), FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system, General Technical Report, RMRS-GTR-164-CD:LA1-LA51, *USDA Forest Service*, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT (2005).
- Konkathi, P. ve Shetty, A. (2021). Inter comparison of post-fire burn severity indices of Landsat-8 and Sentinel-2 imagery using Google Earth Engine. *Earth Science Informatics*, 14(2), 645-653. doi: 10.1007/s12145-020-00566-2
- Koutsias N. ve Karteris M., (2000). Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat-5 Thematic Mapper image, *International Journal of Remote Sensing*, 21(4), 673-687. doi: 10.1080/014311600210506
- Kovács, K.D. (2019). Evaluation of burned areas with Sentinel-2 using SNAP: The case of Kineta and Mati, Greece, July 2018. *Geographia Technica*, Cluj University Press, 14(2), pp.20-38. doi: 10.21163/GT_2019.142.03
- Lutes, D. C., Keane, R. E., Caratti, J. F., Key, C. H., Benson, N. C., Sutherland, S. ve Gangi, L. J. (2006). FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164*. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1 CD., 164. doi: 10.2737/RMRS-GTR-164
- Midekisa, A., Holl, F., Savory, D. J., Andrade-Pacheco, R., Gething, P. W., Bennett, A., ve Sturrock, H. J. (2017). Mapping land cover change over continental Africa using Landsat and Google Earth Engine cloud computing. *PLoS one*, 12(9), e0184926. doi: 10.1371/journal.pone.0184926
- Miller, J. D. ve Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66-80. doi: 10.1016/j.rse.2006.12.006
- Miller, J. D., Knapp, E. E., Key, C. H., Skinner, C. N., Isbell, C. J., Creasy, R. M. ve Sherlock, J. W. (2009). Calibration and validation of the relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) to three measures of fire severity in the Sierra Nevada and Klamath Mountains, California, USA. *Remote Sensing of Environment*, 113(3), 645-656. doi: 10.1016/j.rse.2008.11.009
- NASA. (2022). *National Aeronautics and Space Administration*. Erişim Adresi: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- Nasery, S. ve Kalkan, K. (2020). Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The case of Karabağlar district, İzmir/Turkey. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(2), 72-77. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turkgeo/issue/56822/770803>
- Nolè, A., Rita, A., Spatola, M. F. ve Borghetti, M. (2022). Biogeographic variability in wildfire severity and post-fire vegetation recovery across the European forests via remote sensing-derived spectral metrics. *Science of The Total Environment*, 823, 153807. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153807
- OGM, 2020. 2020 Türkiye Orman Varlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü. ISBN 978-605-7599-68-1.
- OGM, 2021. *Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Muğla Orman Bölge Müdürlüğü, 2021 yılı Orman Yangınları, değerlendirme Raporu*. Erişim adresi: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://muglaobm.ogm.gov.tr/SiteAssets/Lists/Duyurular/AllItems/2021%20Y%C4%B1l%C4%B1%20Orman%20Yang%C4%B1nlar%C4%B1%20De%C4%9Ferlendirme%20Raporu.pdf
- Ou, C., Yang, J., Du, Z., Liu, Y., Feng, Q., ve Zhu, D. (2019). Long-term mapping of a greenhouse in a typical protected agricultural region using landsat imagery and the google earth engine. *Remote Sensing*, 12(1), 55. doi: 10.3390/rs12010055

- Parks, S. A., Dillon, G. K. ve Miller, C. (2014). A new metric for quantifying burn severity: the relativized burn ratio. *Remote Sensing*, 6(3), 1827-1844. doi: 10.3390/rs6031827
- Pereira, J. M., Pereira, B. S., Barbosa, P., Stroppiana, D., Vasconcelos, M. J. ve Grégoire, J. M. (1999). Satellite monitoring of fire in the EXPRESSO study area during the 1996 dry season experiment: Active fires, burnt area, and atmospheric emissions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D23), 30701-30712. doi: 10.1029/1999JD900422
- Pereira, M. G., Trigo, R. M., da Camara, C. C., Pereira, J. M. ve Leite, S. M. (2005). Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129(1-2), 11-25. doi: 10.1016/j.agrformet.2004.12.007
- Pirnazar, M., Hasheminasab, H., Karimi, A. Z., Ostad-Ali-Askari, K., Ghasemi, Z., Haeri-Hamedani, M. ve Eslamian, S. (2018). The evaluation of the usage of the fuzzy algorithms in increasing the accuracy of the extracted land use maps. *International Journal of Global Environmental Issues*, 17(4), 307-321. doi: 10.1504/IJGENVI.2018.095063
- Pletsch, M. A., Körting, T. S., Morita, F. C., Silva-Junior, C. H., Anderson, L. O. ve Aragão, L. E. (2022). Near Real-Time Fire Detection and Monitoring in the MATOPIBA Region, Brazil. *Remote Sensing*, 14(13), 3141. doi: 10.3390/rs14133141
- Robinson, J. M. (1991). Fire from space: Global fire evaluation using infrared remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 12(1), 3-24. doi: 10.1080/01431169108929628
- Sabuncu, A. ve Özener, H. (2019). Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 317-326. doi: 10.21324/dacd.511688
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L. ve Csiszar, I. A. (2014). The New VIIRS 375m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sens. Environ.*, 143, 85-96. doi: 10.1016/j.rse.2013.12.008
- Smith, A., Drake, N., Wooster, M., Hudak, A., Holden, Z. ve 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
- Soverel, N. O., Perrakis, D. D. ve Coops, N. C. (2010). Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 1896-1909. doi: 10.1016/j.rse.2010.03.013
- Sunar, F. ve Özkan, C. (2001). Forest fire analysis with remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2265-2277. doi: 10.1080/014311601300229818
- Tonbul, H., Kavzoglu, T. ve 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. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, B8. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B8-763-2016
- Trigg, S. ve 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
- Tucker C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. *Journal of Remote Sensing Environment*, 8(2), 127-150. doi:10.1016/0034-4257(79)90013-0.
- Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W. W. ve Goossens, R. (2010). The temporal dimension of differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) fire/burn severity studies: The case of the large 2007 Peloponnese wildfires in Greece. *Remote Sensing of Environment*, 114(11), 2548-2563. doi: 10.1016/j.rse.2010.05.029

- Veraverbeke, S., Gitas, I., Katagis, T., Polychronaki, A., Somers, B. ve Goossens, R.(2012) Assessing post-fire vegetation recovery using red–near infrared vegetation indices: Accounting for background and vegetation variability. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 68, 28–39. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2011.12.007
- Veraverbeke, S., Somers, B., Gitas, I., Katagis, T., Polychronaki, A. ve Goossens, R.(2012). Spectral mixture analysis to assess post-fire vegetation regeneration using Landsat Thematic Mapper imagery: Accounting for soil brightness variation. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 14, 1–11. doi: 10.1016/j.jag.2011.08.004
- Vlassova, L., Pérez-Cabello, F., Mimbrero, M. R., Llovería, R. M. ve García-Martín, A. (2014). Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of landsat images. *Remote Sensing*, 6(7), 6136-6162. doi: 10.3390/rs6076136
- Xiao-rui, T., Mcrae, D.J., Li-fu, S. Ming-yu, W. ve Hong, L. I. (2005). Satellite remote-sensing technologies used in forest fire management. *Journal of Forestry Research* 16, 73–78 doi: 10.1007/BF02856861.
- White, J. D., Ryan, K. C., Key, C. C. ve Running, S. W. (1996). Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire*, 6(3), 125-136. doi: 10.1071/WF9960125.