

Orman Yangın Alanlarında Arazi ve Toprak Örtüsündeki Değişimlerin İzlenmesi

Monitoring Changes in Land and Soil Cover in Forest Fire Areas

Betül Kırımlıoğlu^{1*}, Esra Tunç Görmüş¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Betül Kırımlıoğlu
betulkrmlglu@gmail.com

doi: 10.48123/rsgis.1603928

Yayın süreci

Geliş tarihi: 19.12.2024
Kabul tarihi: 01.03.2025
Basım tarihi: 26.03.2025

Özet

Ormanlar, dünyamızın en büyük doğal zenginliklerinden biri olup ekosistemin dengesinde önemli bir rol oynamaktadır. Uzaktan algılama teknolojilerinin gelişmesiyle orman yangınının yol açtığı hasar ve buna bağlı olarak meydana gelen zamansal değişimler daha hızlı ve etkili bir şekilde izlenebilmektedir. Bu çalışmada 2019 Haziran ile 2020 Mayıs tarihleri arasında gerçekleşen Avustralya orman yangınından en çok etkilenen Sidney şehrinde yanmış alan seçilmiştir. Yangın öncesi ve sonrası Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak kontrollü sınıflandırma işlemi ile hasar tespiti yapılmış ve farklı bantların yangın hasarını belirlemedeki etkinliği eşik yöntemleri (Otsu, Tsai, Kapur, Kittler) kullanılarak incelenmiştir. Bunun yanı sıra Yanmış Alan İndeksi (BAI), arazi örtüsünde (NDVI, NDMI, NDBI, EVI, LAI, SAVI) toprak örtüsünde (BSI, LST, SMI, SSI) ve topraktaki mineraller (CM, IOR, FM, Fe⁺³, Fe⁺²) üzerindeki etkisi de detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sonuç olarak, yangının ciddi zarar verdiğini, bitkilerin yok olmasıyla çıplak toprak örtüsünün ortaya çıktığını ve arazi yüzey sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, toprak nem oranının ve tuzluluğunun azalmasına sebep olmuştur. Bitkilerin yeniden canlanmasında önemli bir etken olan demir seviyesinde yangından sonra artış yaşanmıştır. Bu çalışma, yangının etkilerini ve doğanın kendini yenileme sürecinin uzaktan algılama yöntemleri ile başarılı bir şekilde izlenebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Orman yangını, Uzaktan algılama, Hasar tespiti, Arazi ve toprak örtüsü indeksleri, Zamansal değişim

Abstract

Forests are among the world's greatest natural resources and play a vital role in maintaining ecosystem balance. With the development of remote sensing technologies, the damage caused by forest fires and the temporal changes that follow can be monitored more quickly and effectively. In this study, a region in the city of Sydney, which was most affected by the Australian bushfire between June 2019 and May 2020, was selected. Damage detection was performed using Landsat 8 satellite images before and after the fire through a supervised classification process, and the effectiveness of different bands in determining fire damage was examined using threshold methods (Otsu, Tsai, Kapur, Kittler). In addition, the effect of fire on Burned Area Index (BAI), land cover (NDVI, NDMI, NDBI, EVI, LAI, SAVI), soil cover (BSI, LST, SMI, SSI) and soil minerals (CM, IOR, FM, Fe⁺³, Fe⁺²) were also studied in detail. The results showed that the fire caused serious damage, with the destruction of vegetation resulting in the appearance of bare soil and an increase in land surface temperature. This resulted in a decrease in soil moisture content and salinity. After the fire, an increase in iron levels, which is a crucial factor in plant regeneration, was observed. This study demonstrates the effects of fire and the process of regeneration of nature.

Keywords: Forest fire, Remote sensing, Damage assessment, Land and soil cover indices, Temporal changes

1. Giriş

Ormanlar, dünyamızdaki en önemli ekosistemlerden biridir. Orman, ağaçlar, bitki, hayvan ve hatta toprakta gözle görünmeyen organizmalarla birlikte cansız çevreyle karşılıklı olarak etkileşimde bulunmaktadır (Sabuncu & Özener, 2019). Fakat son yıllarda artan orman yangınları, ağaçlara, bitki örtüsüne, toprağa ve birçok canlıya ciddi zarar vermektedir (Yılmaz vd., 2022).

Büyük orman yangınları hakkında yapılan birçok araştırma da iklim değişikliğinin ve artan sıcaklıkların etkisinin yangın ve iklim üzerindeki ilişkisi ele alınmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, iklim değişikliğiyle artan atmosferik kararsızlık, sıcaklığın yükselmesi, kuraklığın artması, sürekli olarak artan sıcaklık dalgaları gibi meteorolojik ve iklimsel koşullar ile ihmal ve dikkatsizlikler birleştiğinde yangınların sayısında ve bıraktığı hasarda ciddi artışa sebebiyet vermiştir (Yıldız & Özgüler, 2021).

Yapılan incelemeler, orman yangınlarını etkileyen üç ana bileşenin sıcaklık, nem ve rüzgâr olduğunu göstermektedir. İklim değişikliğinin bu faktörler üzerindeki etkisiyle birlikte, orman yangınları sonucunda toprağın bitki gelişimi için elverişsiz hâle gelebileceği ve orman alanlarının kaybedilebileceği belirtilmektedir. Ayrıca, sıcaklıktaki küçük farklılıkların bile orman yangınlarında istatistiksel olarak anlamlı bir artışa neden olduğu saptanmıştır (Canlı, 2010).

Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda orman yangınlarından sonra toprak yüzeyindeki kimyasal element miktarında bir artışın meydana geldiğini ve bu artışın gerçekleşen yağışlarla birlikte su kaynaklarına yansıdığı gözlemlenmiştir (Aydın vd., 2017).

Yangından sonra, özellikle üst toprakta su tutma kapasitesinin bir miktar azaldığı saptanmıştır. Bunun nedeni ise toprak üzerindeki ölü örtü tabakasının yok olması ve üst topraktaki humus ile organik maddelerin azalmasından dolayı anlaşılmaktadır (Çepel, 1975).

Toprak hakkında yapılan diğer araştırmalarda orman yangınlarının toprak verimliliği ve yapısı üzerinde olumsuz etkiler yarattığını ve bu değişen toprak koşullarının yağmurun zeminden derinlere sızmasını engellediğini göstermektedir. Özellikle yanmış ağaç ve bitkilerin külleri, toprak yüzeyinde geçirimsiz bir tabaka oluşturarak suyun yer altına sızmasını zorlaştırmaktadır. Sonuç olarak, bu durum toprak-su dengesini bozmakta ve erozyonu hızlandırmaktadır (Robichaud, 2000; Rulli & Rosso, 2007).

Orman yangınlarının yıkıcı etkileri olsa da belirli koşullarda toprağa olumlu katkılar sağlayabilmektedir. Organik maddenin mineralizasyonunu hızlandırarak azot, fosfor ve potasyum gibi besin elementlerinin toprağa salınımını artırabilmektedir (Certini, 2005). Ayrıca, kül birikimi nedeniyle toprak pH seviyesi yükselerek bazı bitkiler için besin alımını kolaylaştırmaktadır (Neary vd., 1999). Yangın sonrası toprak yapısının gevşemesi, mikroorganizma faaliyetlerini artırarak bitki kök gelişimini destekleyebilmektedir (Chandler vd., 1983). Her ne kadar kontrolsüz yangınlar toprakta tahribata yol açabilse de doğal yangın rejimleri besin döngüsünü hızlandırarak ekosistem yenilenmesini teşvik edebilmektedir. Ancak bu etkilerin sürdürülebilir olması, yangının şiddetine ve ekosistemin yapısına bağlıdır (Neary vd., 1999).

Orman yangınlarının sebep olduğu zararların iyileşme süreci oldukça zaman alabilmektedir. Yangın sonrası, ormanın alt tabakasındaki bitki örtüsünün ve çalılıkların eski haline gelmesi birkaç yıl sürebilirken, yapraklar, dallar vb. iyileşmesi genellikle 2-5 yıl içinde tamamlanmaktadır (Fernandes & Botelho, 2003). Avustralya'daki 2019-2020 orman yangınlarında ise bitki örtüsünün iyileşme süresi, bazı bölgelerde 5 yıl gibi iken bazı yerlerde ise iyileşme çok daha uzun bir zaman alabileceği düşünülmektedir. Genel olarak, ormanların eski haline dönmesi 5-10 yıl sürebilmektedir. Bu süre, yangının büyüklüğüne ve bölgedeki iklim koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Gibbons vd., 2020).

Orman yangınları sonrası, araziden veri toplamak genellikle yanan alanlara ulaşılmasının zor olması, zaman açısından uzun sürmesi ve arazi çalışmalarının maliyetinin yüksek olması nedeni ile yapılmasına engel olan faktörlerdendir. Bu kısıtlamalardan dolayı son yıllarda orman yangını üzerinde çalışmalar, zaman ve maliyet kazancıyla uzaktan algılama teknolojisine yönelmektedir. Veri elde edilmesi ve analiz yapılabilmesi uzaktan algılama uydu görüntüleri ile mümkün kılmaktadır (Algancı vd., 2011).

Literatürde, farklı indekslerin bir arada kullanılmasının, yangın sonrası değişimlerin daha kapsamlı analiz edilmesini sağladığı gösterilmektedir. Yapılan çalışmalarda, birden fazla spektral indeksin kombinasyonunun, yangının bitki örtüsü ve toprak üzerindeki etkilerini belirlemede tek başına kullanılan indekslere kıyasla daha yüksek doğruluk sunduğu belirtilmektedir (Xu vd., 2024; Partheepan vd., 2024). Bu bağlamda, Xu vd. (2024), yüksek zamansal çözünürlüklü uzaktan algılama verileri kullanarak, orman yangınlarının anlık değerlendirilmesi için yeni bir bitki örtüsü indeksi geliştirmiştir. Çalışmada, yangın sonrası bitki sağlığını değerlendirmek için çeşitli spektral indekslerin entegrasyonu sağlanmıştır. Benzer şekilde, Partheepan vd. (2024), orman yangını şiddeti modellemesi ve gelecekteki eğilimlerin tahmin edilmesi amacıyla çok sayıda spektral indeks ve makine öğrenimini bir araya getirmiştir. Singh vd. (2021) ise, NDVI ve benzeri indeksleri kullanarak orman yangınlarının hava kalitesi üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Bu çalışmalar, yangın sonrası etkilere dair daha doğru ve kapsamlı sonuçlar elde etmek için spektral indekslerin birlikte kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır.

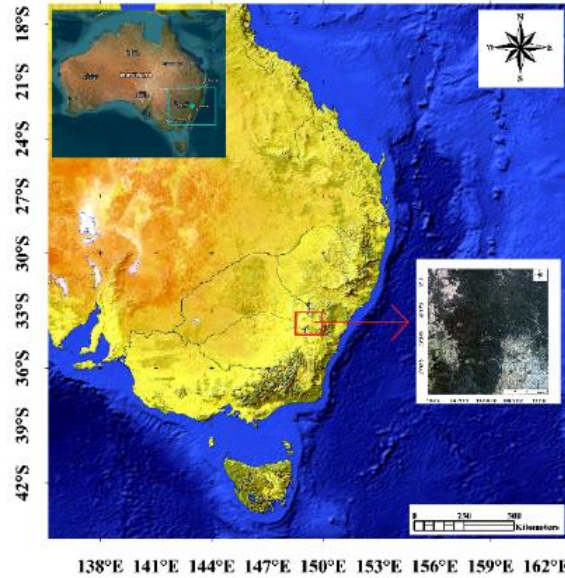
Bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkı, spektral indekslerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve çok yönlü analizlerin uygulanmasıdır. Mevcut araştırmada, sadece bitki örtüsü değişiklikleri değil, aynı zamanda toprak nemi, yüzey sıcaklığı ve mineral kompozisyonundaki değişimler de incelenmiştir. Yangının toprak üzerindeki etkileri genellikle sınırlı sayıda indeks kullanılarak değerlendirilirken (De Santis & Chuvieco, 2007), bu çalışmada NDVI, NDMI, BAI, LST, SAVI gibi bir dizi indeksin birlikte kullanılmasıyla yangının etkileri daha geniş bir perspektiften ele alınmıştır. Yangın sonrası etkilerin daha doğru bir şekilde belirlenebilmesi için eşik yöntemleri (Otsu, Tsai, Kapur, Kittler) kullanılarak farklı bantların yangın hasarını tespit etmede önemi vurgulanmaktadır. Ayrıca, çalışmada demir minerali (Fe^{2+}/Fe^{3+}) değişimlerinin incelenmesi, yangın sonrası toprak verimliliği ve ekolojik iyileşme süreçlerine yönelik yeni bulgular sunmaktadır.

Bu yönüyle çalışma, uzaktan algılama araçlarının yalnızca yangın alanlarının tespitine yönelik değil, ekolojik değerlendirmelere de katkı sağladığı vurgulanmaktadır. Uzaktan algılama teknolojilerinin orman yangını etkilerini izleme ve değerlendirme süreçlerinde nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koyarak, yangın sonrası iyileşme sürecine dair yeni perspektifler sunmaktadır. Ayrıca ormanların kaybettiği bitki örtüsünün yeniden canlanması için geçen sürenin belirlenmesi ve yangından sonra topraktaki değişime bağlı olarak yangına dayanıklı bitkilerin ekilmesi gerektiği konusunda daha bilinçli kararlar alınmasına yardımcı alınabilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

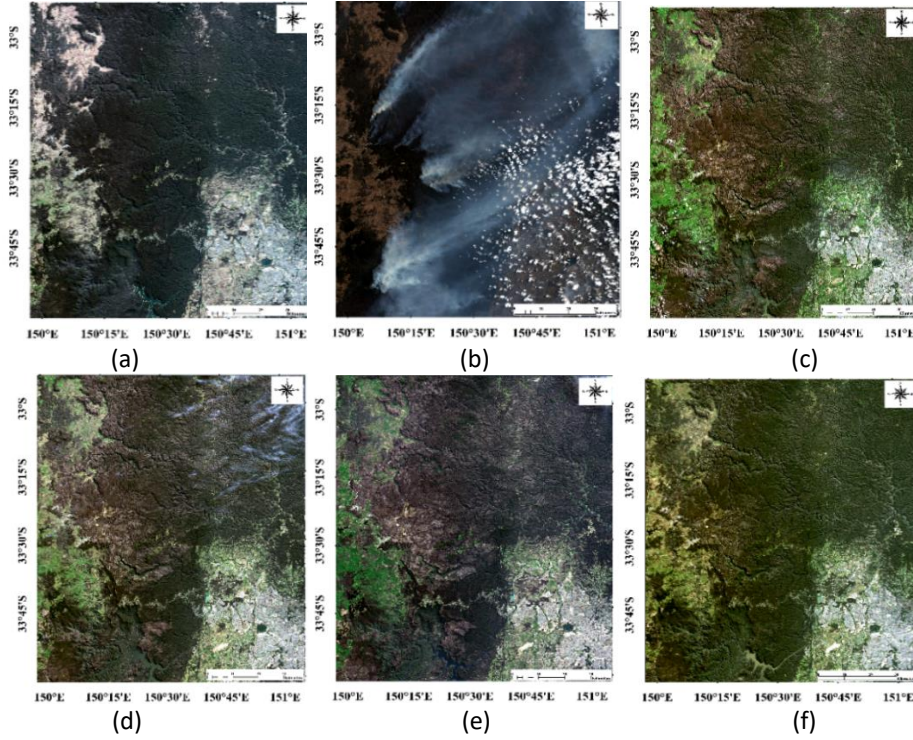
2.1 Çalışma Alanı

Avustralya'da orman yangınları, Haziran 2019 tarihinden başlayarak yaklaşık 8 ay süren yangın Avustralya'nın birçok bölgesini etkisi altına almış ve "Kara Yaz" (Black Summer) olarak tarihe geçmiştir. Bu felakette 24 milyon hektar alan yok olmuş, 3 bin 500 ev yanmış, çok sayıda hayvan can vermiş ve 479 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu yangınlar, son on yılın en büyük orman yangınları olarak kaydedilmiştir (Anadolu Ajansı, 2023). Çalışma alanı olarak, orman yangınında en çok etkilenen Sidney şehrindeki yanan alanlar seçilmiştir. Sidney şehrinde $33^{\circ} 5' - 34^{\circ}$ Güney enlemleri, $150^{\circ} - 151^{\circ}$ Doğu boylamları arasında yer alan bölge üzerinde çalışılmıştır. Landsat 8 uydu görüntülerinden yangın öncesi için 10.09.2019, yangın anı için 31.12.2019, yangın sonrası görüntülerde 21.04.2020, 27.08.2020, 14.10.2020, 24.04.2021 tarihleri veri olarak alınmıştır. Görüntülerdeki bulut ve hava şartlarının kötü olmasından dolayı bu tarihler kullanılmıştır.



Şekil 1. Avustralya orman yangını Sidney bölgesi çalışma alanı

Landsat 8 uydusu ile çalışma alanının yangın öncesi, yangın anı ve yangın sonrası görüntüler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanı Landsat 8 uydu görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019, b) yangın anı 15.12.2019, c) yangın sonrası 21.04.2020, d) yangın sonrası 27.08.2020, e) yangın sonrası 14.10.2020, f) yangın sonrası 24.04.2021

2.2 Veri Seti

Landsat 8 NASA'nın uydusu olup, yiyecek, su ve ormanlar gibi insan geçim kaynakları için gerekli kaynakların düzenlenmesi, izlenmesi ve anlaşılmasında en önemli rolünün devam etmesi sağlanmıştır. Landsat 8 uydusu, görünür, yakın-kızılötesi, kısa dalga kızılötesi ve termal kızılötesi aralıklarında görüntü üretip spektral aralığa bağlı olarak 15 ile 100 metre arasında uzamsal çözünürlüğe sahiptir (NİK Sistem, 2020). Tablo 1 'de Landsat 8'e ait bantların dalga boyu aralığı ve çözünürlükleri verilmiştir. OLI (Operational Land Imager) sensöründe 9 bant bulunmaktadır. TIRS (Thermal Infrared Sensor) sensörü ise iki adet termal bantta sahiptir (NİK Sistem, 2020).

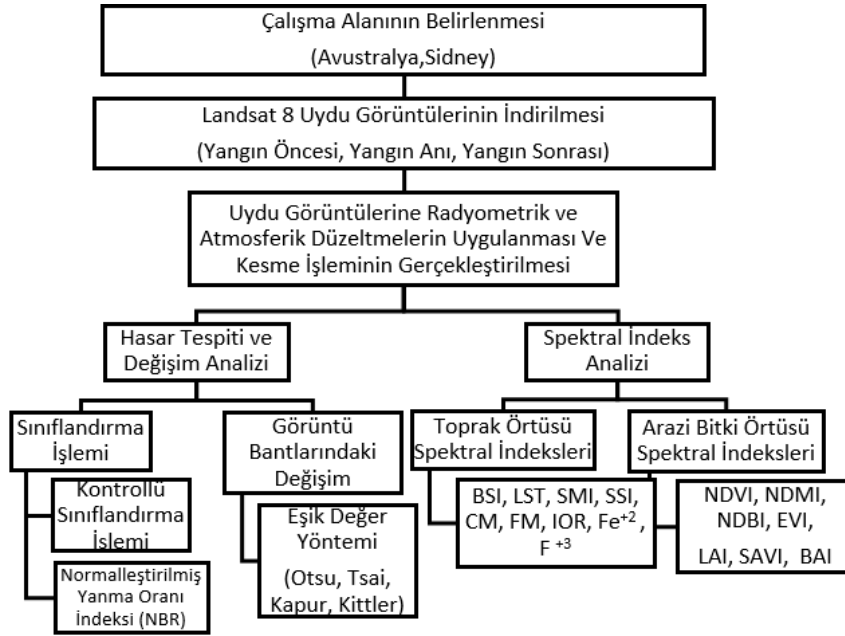
Tablo 1. Landsat 8 uydu görüntüsünün bant özellikleri

Bantlar	Dalga Boyu (µm)	Konumsal Çözünürlük(m)	OLI/TIRS
Bant 1- Kıyı aerosolü	0.43-0.45	30	OLI
Bant 2- Mavi	0.45-0.51	30	OLI
Bant 3-Yeşil	0.53-0.59	30	OLI
Bant 4-Kırmızı	0.64-0.67	30	OLI
Bant 5- Yakın kızılötesi	0.85-0.88	30	OLI
Bant 6- Kısa dalga boylu kızılötesi	1.57-1.65	30	OLI
Bant 7- Kısa dalga boylu kızılötesi	2.11-2.19	30	OLI
Bant 8- Pankromatik	0.50-0.68	15	OLI
Bant 9- Sırrus	1.36-1.38	30	OLI
Bant 10- Uzun dalga boylu kızılötesi	10.60-11.19	100	TIRS
Bant 11- Uzun dalga boylu kızılötesi	11.50-12.51	100	TIRS

2.3 Metodoloji

Bu çalışmada Landsat 8 uydusu kullanılarak görüntüleri ön işleme olarak ENVI 5.2 Programıyla önce radyometrik düzeltme sonra atmosferik düzeltme işlemi yapılmıştır. Çalışma alanı için yanan ormanlar, su kaynakları ve şehir merkezini kapsayacak şekilde geniş bir alan sınırları kesilmiştir. Çalışma iki ana kısımdan oluşmaktadır.

Birinci kısımda hasar tespit çalışması ve değişim analizi yapılmıştır. Hasar tespiti için, ENVI 5.2 Programı kullanılarak yangın sonrası görüntüsüne kontrollü sınıflandırma yöntemi olan Maximum Likelihood uygulanmıştır. Doğruluk analizi yapıldıktan sonra hasar tespitine geçilmiştir. Sonrasında Maximum Likelihood yöntemi ile Normalleştirilmiş Yanma Oranı (NBR) arasında karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırma iki farklı yöntemin yanan alanları tespit etmesinde başarılı ve benzer olduğu üzerine yapılmıştır. Değişim analizi ise, Landsat 8 uydu görüntülerinin multispektral bantları üzerinden ne gibi farklılıklar yaşandığını gözlemlemek için yapılmıştır. Bu farklılıkların tespit edilmesi, ikinci kısımda spektral indekslerin kullanılmasında ve değişimin yorumlanmasında rol almıştır. ENVI 5.2 Programında 'Image Change Workflow' üzerinden yangın öncesi (10.09.2020) ve yangın sonrası (21.04.2020) görüntüleri kullanılarak bu değişime bakılmıştır. Eşik değer yöntemlerinden Otsu, Tsai, Kapur ve Kittler yöntemleri ile hangi bantların yangından daha çok etkilendiği tespit edilmiştir. İkinci kısımda ise arazi bitki ve toprak örtüsündeki değişim için spektral indeksler kullanılarak hem yangından önce hem de yangından sonraki görüntülerde zamansal değişim nicel ve nitel olarak incelenmiştir. Yangın alanının zamanla uğradığı değişim için yangından sonraki görüntüye Yanmış Alan İndeksi (BAI) uygulanmıştır. Arazi bitki örtüsündeki değişim için yangından önceki ve sonraki görüntüler üzerinden Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalleştirilmiş Fark Nem İndeksi (NDMI), Normalleştirilmiş Fark Yerleşim Alanı İndeksi (NDBI), Gelişmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) ve Yaprak Alan İndeksi (LAI), Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI) kullanılmıştır. Toprak örtüsündeki değişim için görüntülere Çıplak Toprak İndeksi (BSI), Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST), Toprak Nem indeksi (SMI) ve Toprak Tuzluluğu İndeksi (SSI) bakılmıştır. Toprak mineralleri için Kil Minerali (CM), Demir Minerali (FM), Ferröz (Fe^{+2}), Ferrik (Fe^{+3}) ve Demir Oksit (Fe_2O_3) Oranı (IOR) değerleri için de indeksler kullanılmıştır. Bu değişimler sonucunda orman yangınlarının Landsat 8 uydu görüntüleri ile etkileşimi incelenmiştir. Arazi örtüsündeki değişim gözlenmiş ve önceden yapılmış laboratuvar sonuçları ile benzer yönde değişim olup olmadığı incelenmiştir. Bu çalışmada izlenen metodoloji Şekil 3'te verilmiştir. Aşağıdaki alt başlıklarda bu adımları daha detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.



Şekil 3. Çalışmada izlenen metodoloji

2.3.1 Hasar Tespit Çalışması ve Değişim analizi

Hasar tespiti amacıyla çalışma alanına ait yangından sonraki 24.04.2020 tarihli Landsat 8 uydu görüntüsüne kontrollü sınıflandırma yöntemi olan Maximum Likelihood uygulanmıştır. Yüzey örtüsünün daha kolay belirlenmesi amacıyla Su alanı, Orman alanı, Yerleşim alanı, Yanmış alan ve Arazi olmak üzere 5 sınıf belirlenmiştir. Normalleştirilmiş Yanma Oranı İndeksi (NBR) ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Orman yangınlarının etkisini değerlendirmek ve yanmış alanları belirlemek için kullanılan bir indekstir. Bu indeks, bitki örtüsünün sağlığını ve yangın sonrası hasarın derecesini ölçmek için yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bantlarını kullanır (Key & Benson, 2006).

2.3.2 Eşik Değer Yöntemleri

Bu çalışmada Otsu, Kapur, Tsai, Kittler adında 4 farklı eşik değer yöntemi kullanılarak yangının Landsat 8 bantları üzerindeki etkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçları Tablo 2'de nicel olarak verilmiştir. Eşik değer yöntemlerinden en eski

bilinen Otsu, histogram tabanlı eşikleme yöntemlerindedir. Nesne ve arka plan pikselleri olmak üzere iki sınıfa ayırarak tek bir yoğunluk eşiğine döndürür (Otsu, 1979). Kapur Yöntemi, nesne ve arka planı piksellerin toplam entropisini en büyük yapacak eşik değerini optimum hale getirmektedir (Kapur vd., 1985; Sezgin, 2002).

Otsu yönteminde sınıflar arasındaki varyans dikkate alınırken, Kapur yönteminde ise sınıflar arasındaki entropi değerleri dikkate alınır (Demirci vd., 2014; Kılıçaslan, 2018). Tsai, nesne tabanlı bir yöntemdir. Orijinal görüntü ile ikili görüntü arasındaki özellik veya benzerlik ölçüsüne bakılarak eşik değeri bulunmaktadır (Tsai, 1985). Kittler Yöntemi histogram şekline dayalı bir yöntemdir. Histograma iki modlu bir Gauss dağılımı olarak yaklaşır ve bir kesme noktası bulur (Kittler vd. 1986).

Çalışmada yangın sonrası (21.04.2019) görüntü ile yangın öncesi (10.09.2019) görüntüsünün karşılıklı multispektral bantları seçilerek bu işlem gerçekleştirilmiştir. Otsu, Tsai, Kapur ve Kittler yöntemleri ile bu işlem her bir bant için yapılmıştır. Birden fazla yöntemin kullanılmasının sebebi analizin doğruluğunu arttırmak ve bu sayede yangının hangi multispektral bant üzerinde etkisinin olduğu daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. ENVI 5.2 programı toolbox içerisinde 'Image Change Workflow' ile bu çalışma yapılmıştır. 'Image Difference' sonrasında 'Difference of Input Band' seçeneği basılarak sırayla bantlar seçilmiştir. 'Auto-Thresholding Method' dört farklı seçenek ile değişim analizi yapılmıştır.

2.3.3 Kullanılan Spektral İndeksler

Bu çalışmada 17 farklı arazi, bitki, toprak ve mineral indeksleri kullanılmıştır. Bu indekslerin, orman yangınının bitkiler ve toprak üzerindeki tahribi ve zamansal etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bitkiler üzerinde birçok indekse bakılarak paralel sonuçlar elde edilip edilmediğine bakılmak istenmiştir. Bunlar kısaca aşağıda formülleri ile açıklanmıştır.

Yanmış alan indeksi (BAI) yangın sonrası görüntülerdeki korlanmış kömür sinyalini vurgulayıp, kırmızı ve yakın kızıl ötesi dalga boyundaki bantlar Tablo 2'deki formülle yanmış alanı ortaya çıkarır. BAI analizi kullanılarak, yangın sonrası süreçte zamansal olarak yanmış alanda azalma olup olmadığının değişimi incelenmek istenmiştir (Chuvieco vd., 2002).

Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), yakın kızılötesi (NIR) ve kırmızı bantlar (Red) arasındaki zıtlığı artırır ve iki banttaki bilgileri tek bantta toplayarak, bitki varlığının ve sağlığının incelemesinde kullanılmaktadır (Kayman, 2015). NDVI, (-1) ile (+1) arasında değişen aralıkta değer vermektedir. Bitki varlığı yoğun olduğu bölgelerde NDVI + 1'e yaklaşır, bitki örtüsünün azalmasıyla sıfıra yaklaşmaktadır. Bulut, su ve kar gibi nesnelere olduğu alanlarda NDVI indeks değerleri ise -1'e yakındır (Hatfield, 1985; Yıldız vd., 2012).

Normalleştirilmiş Fark Nem İndeksi (NDMI), bitki örtüsündeki nem seviyelerine duyarlı indekstir. NIR ve SWIR bantlarını kullanır ve değerler (-1) ile (+1) arasında değişir (Gao, 1996). Yeşil bitki örtüsü için ortak aralık -0,1 ile 0,4'tür. -1 ile 0, bitki örtüsü veya su içeriği olmayan parlak yüzey, +1 ise su içeriğini temsil eder. 0,3'ten az olan bölgeler susuz, 0,3 ve daha fazla değer de olan bölgeler ise su varlığı verir (EOS Data Analytics Inc, 2020).

Normalleştirilmiş Fark Yerleşim Alanı İndeksi (NDBI) yerleşim alanlarını analiz eder. SWIR ve NIR bantları kullanılır. Negatif değerler bitki varlığının olmadığı alanları vermektedir (Zha vd., 2003). NDBI uygulanmış görüntülerde (-1) ile (+1) arasında değer almaktadır (Zha vd., 2003; Pashaei & Aksoy, 2022).

Gelişmiş bitki örtüsü indeksi (EVI), bitki örtüsü ve sağlığı hakkında bilgi verir. Değer aralığı (-1) ile (+1) olan indekste eksi yöne doğru bitki varlığının ve sağlığının azaldığını, 1'e doğru gittikçe arttığını temsil eder (Huete vd., 2002).

LAI yaprak alanlarının belirlenmesini ölçmek için kullanılan en uygun indekstir. Bitki örtüsü, büyümesini ve verimi hakkında bilgi vermektedir. Yüksek LAI değerleri genellikle (0) ile (3,5) arasında olmaktadır (Boegh vd., 2002). Gelişmiş bitki örtüsü indeksi kullanılarak Tablo 2'de formülle sonuç elde edilir.

Toprak Ayrılmış Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI), düzeltme faktörü ile toprak parlaklığının etkisini azaltır. NIR ve Red bantları kullanılır. Bitki varlığının az olduğu alanlarda daha iyi sonuç vermektedir. SAVI indeksi (-1) ile (+1) arasındaki değerleri verir. 1 değerine doğru yaklaştıkça bitki ve sağlıklı bitki varlığını, -1'e doğru yaklaştıkça toprak varlığını temsil eder (Huete, 1988; Yüksel, 2022).

Çıplak Toprak İndeksi (BSI), yakın kızılötesi, kısa dalga kızılötesi, mavi ve kırmızı bantları kullanarak denklem 8'deki formülle elde edilir. SWIR ve Red bantları toprak minerallerini, Blue ve NIR bantları ise bitki örtüsünün varlığını ölçmek için kullanılır (Chen vd., 2004).

Özellikle kuru toprak parlaktır, ıslak toprak kuru topraktan daha karanlıktır, Toprağın Kırmızı banttaki yansımaları düşüktür. (-1) ile (+1) arasında değer almaktadır. -1'e doğru değer koyu renk iken 1'e doğru değeri parlak renk olarak yansımaktadır.

Arazi Yüze Sıcaklığı (LST) kullanılarak orman alanlarındaki öncesi ve sonrası yüze sıcaklığı hakkında bilgi edinebilmektedir. Bu çalışmada yüze sıcaklığının belirlenmesi için Yeryüzü Yüze Sıcaklığı algoritması Landsat 8 için yeniden uyarlanarak kullanılmıştır. Bu işlemler yapılırken öncelikle görüntülere 'radiometric calibration' üzerinden ToA parlaklığının (L_λ) ve ToA parlaklık sıcaklığının (TB) dönüşümünü ölçmek için gerekli radyometrik düzeltmeler yapılmıştır. Landsat-8 TIRS verilerinden Tablo 1'de gösterilen 10. ve 11. termal bantları kullanılmıştır. Ardından, doğru LST değerini elde etmek için arazi yüzeyi direncini, NDVI'yi maksimum ve minimum değeri ile hesaplanır. Ardından, P_v ve ε hesaplanmıştır.

LST ise Denklem 9 ile hesaplanır. T değeri parlaklık sıcaklığı değerleri (K), λ değeri yayılan ışınının merkez dalga boyu (μm), ρ değeri $h \cdot c / \sigma$ ($1.438 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$), ϵ değeri ise yeryüzü yayınlılık değerini temsil etmektedir (Dağlıyar vd., 2015). Çıkan değerlerden, son olarak Toprak Nem İndeksini (SMI) Denklem 10 ile hesaplanır (Khaneghah, 2016).

Toprak tuzluluğu indeksi (SSI) topraktaki tuzluluğun haritalanması için en uygun yöntemdir (Al-Khaier, 2003). (-1) ile (+1) arasında değerler almaktadır. -1 değerine doğru koyu renk, 1 değerine doğru ise açık parlak renk olarak görüntüye yansır. Parlak renk ve yüksek değer, yüksek tuz içeriğini, koyu renk ve düşük değer, düşük tuz içeriğini gösterir (Ghazali vd., 2019).

Mineraller toprağın fiziksel özelliklerinden nem, organik madde miktarı, ana materyalin cinsi yangınlarda büyük rol oynamaktadır (Bilgili, 2014). Kil minerallerinin tipi ve oranı, toprakların özellikleri açısından belirleyici olup, yangınların etkisi için de kritik rol oynamaktadır (Yılmaz, 1984; Aslan vd., 2016). Yüksek yoğunluklu orman yangınları, toprak yüzeyindeki kil minerallerinin miktarını azaltabilmektedir. Yangınlar, topraktaki kil minerallerinin yapısal bozulmasına yol açarak, su tutma kapasitesinde değişiklikler meydana getirebilmektedir. Bu bozulmalar, erozyonun artmasına ve bitki örtüsünün yeniden gelişmesinin zorlaşmasına sebep olabilmektedir (Reynard-Callanan vd., 2010). Kil miktarı, toprak için su tutma ve zenginlik açısından önemlidir (Yılmaz, 1984). Bu araştırmalar doğrultusunda kil mineralinin orman yangınlarında etkilendiği sonucuna varılmıştır.

Kil Mineralleri (CM) oranı yöntemi, iki kısa dalga kızılötesi (SWIR) bandı kullanarak kil ve alunit içeren mineral özelliklerini tanımlamaya yönelik bir jeolojik indekstir. CM, mineral kompozit haritalamada kullanılır. Kil mineraline bakıldığında azalma olması beklenmektedir. İndeks işleminde histogram değerleri 0 ile 5 arasında değer almaktadır. Parlak alanlar yüksek kil miktarını, koyu renkler ise düşük kil miktarını ifade eder (Dogan, 2009).

Demir Minerali (FM) Oranı, SWIR ve NIR bantlarını kullanarak bir miktar demir içeren mineral içeren kaya ve kum özelliklerini tanımlamak için jeolojik bir indekstir. FM, mineral kompozit haritalamada kullanılır (Segal, 1982). Orman yangınından sonra topraktaki minerallerin oranındaki değişim incelenmiştir. Yangından sonra koyu renk alanlar, parlak olarak yansımaya başlamıştır. Demirin azalmasıyla zamanla tekrar koyulaşmaya başlamıştır. Yani değer yükselip sonrasında tekrardan düşmeye başlamıştır.

Demir Oksit (Fe_2O_3) Oranı (IOR), kırmızı ve mavi dalga boyu arasında bantların oranlanması ile ortaya çıkmıştır (Segal, 1982). Demir oksitlerin oluşumunda birçok sayıda reaksiyonla meydana gelmektedir. Demir oksit bir kere oluşuktan sonra başka bir forma dönüşebilir. Bu durum çevre şartlarının değiştiği ya da ilk oluşan mineralin kararlı bir yapıya sahip olmadığı durumlarda görülür (Firo, 2012).

Topraktaki Fe^{2+} ve Fe^{3+} oranlarına bakıldığında yangın sonrası havalanmayan toprak olduğu için aşağıdaki denklem 1'e dayanarak bakılmıştır (Demir, 2009). Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılarak bu mineraller de ki değişim incelenmeye çalışılmıştır. Havalanmayan toprakta anaerob bakteriler Ferrik ile etkileşime girerek Ferröz'ü oluşturmaktadır. Fe^{2+} ve Fe^{3+} formülleri (Rowan & Mars, 2003) kullanılarak çıkan sonuçlar denklemi destekler niteliktedir. Bu denklem sonucunda pH artar, toprak profili boyunca Fe miktarı artar (Demir, 2009).



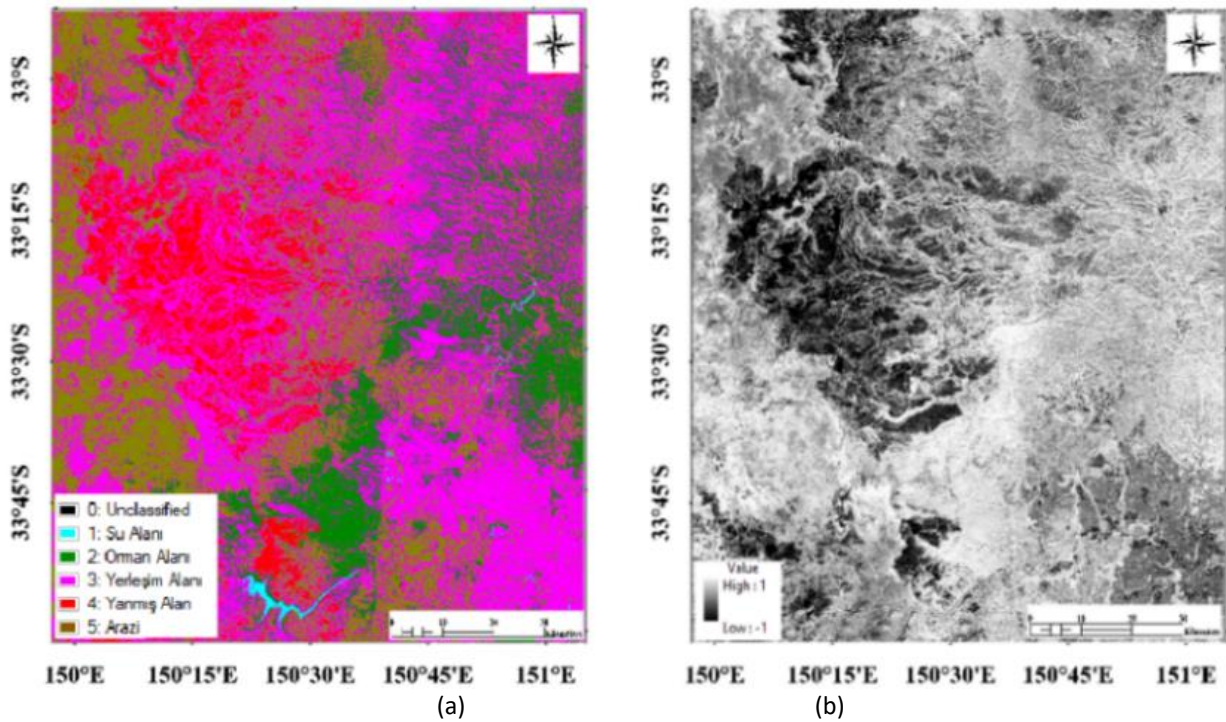
Tablo 2. Kullanılan spektral indeksler ve formülleri

Spektral İndeksler	Formül
Yanma Oranı İndeksi (Key ve Benson, 2006)	$\text{NBR} = (\text{NIR} + \text{SWIR}) / (\text{NIR} - \text{SWIR})$
Yanmış Alan İndeksi (Chuvieco vd., 2002)	$\text{BAI} = 1 / ((0.1 - \text{Red})^2 + (0.06 - \text{NIR})^2)$
Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Rouse vd., 1973)	$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$
Normalleştirilmiş Fark Nem İndeksi (Gao, 1996)	$\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$
Normalleştirilmiş Fark Yerleşim Alanı İndeksi (Zha vd., 2003)	$\text{NDBI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$
Gelişmiş Bitki Örtüsü İndeksi (Huete vd., 1997)	$\text{EVI} = 2.5 * ((\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + 6 * \text{Red} - 7.5 * \text{Blue} + 1))$
Yaprak Alan İndeksi (Boegh vd., 2002)	$\text{LAI} = (3.618 * \text{EVI} - 0.118)$
Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (Huete, 1988)	$\text{SAVI} = (1.5 * (\text{NIR} - \text{Red})) / (\text{NIR} + \text{Red} + 0.5)$
Çıplak Toprak İndeksi (Chen vd., 2004)	$\text{BSI} = [(\text{SWIR} + \text{Red}) - (\text{NIR} + \text{Blue})] / [(\text{SWIR} + \text{Red}) + (\text{NIR} + \text{Blue})]$
Arazi Yüzey Sıcaklığı (Weng vd., 2004)	$\text{LST} = T / (1 + ((\lambda * T) / \rho) * \ln(\epsilon))$
Toprak Nem İndeksi (Wang ve Qu, 2007)	$\text{SMI} = (\text{LST}_{\text{max}} - \text{LST}) / (\text{LST}_{\text{max}} - \text{LST}_{\text{min}})$
Toprak Tuzluluğu İndeksi (Al-Khaier, 2003)	$\text{SSI} = (\text{SWIR1} - \text{SWIR2}) / (\text{SWIR1} + \text{SWIR2})$
Kil Mineralleri Oranı (Hunt, 1977)	$\text{CM} = \text{SWIR1} / \text{SWIR2}$
Demir Minerali Oranı (Segal, 1982)	$\text{FM} = \text{SWIR} / \text{NIR}$
Demir Oksit Oranı (Segal, 1982)	$\text{IOR} = \text{Red} / \text{Blue}$
Fe^{2+} İndeksi (Rowan & Mars, 2003)	$\text{Fe}^{2+} = (\text{SWIR2} / \text{NIR}) + (\text{Green} / \text{Red})$
Fe^{3+} İndeksi (Rowan & Mars, 2003)	$\text{Fe}^{3+} = \text{Red} / \text{Green}$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Hasar Tespit ve Değişim Analizi Sonuçları

Yangının neden olduğu değişimi belirlemek için 24.04.2020 tarihli Landsat 8 uydu görüntüsüne Maximum Likelihood sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır. Su alanı, Orman alanı, Yerleşim alanı, Yanmış alan ve Arazi olmak üzere 5 sınıf belirlenmiş, sonucu Şekil 4(a)'da gösterilmiştir. Görüntüde kırmızı bölgeler yanmış alanı ifade etmektedir. Ayrıca Normalleştirilmiş Yanma Oranı İndeksi (NBR) Şekil 4(b)' de kullanılarak (Lopez vd. 1991) karşılaştırılmıştır. NBR indeksinde siyah alanlar yanmış alanı ifade etmektedir. Kontrollü sınıflandırma ile yakın benzerlik yanmış alanların doğruluğu kanıtlar niteliktedir. Kontrollü sınıflandırma doğruluk analizi için rastgele 300 nokta atılmış ve ENVI 5.2 Programı ile sınıflandırmaya ait hata matrisi, Kappa değeri raporlanmış ve bu rapor doğrultusunda sınıflandırma işlemimizin genel doğruluk %96,12 ve Kappa katsayısı 0,81 olarak hesaplanmıştır. En yüksek doğruluk su alanı sınıfında görülmüş olup, üretici doğruluğu %92,31 ve kullanıcı doğruluğu %90,57'dir. Yanmış alan sınıfı %89,47 üretici doğruluğu ve %92,39 kullanıcı doğruluğu ile yüksek bir performans göstermiştir. En düşük doğruluk ise arazi sınıfında tespit edilmiştir, üretici doğruluğu %62,96 ve kullanıcı doğruluğu %68,00 olmuştur. Hasarlı alan hesabı için yanmış alanın sınıflandırma tablosundaki histogram değeri ile Landsat 8 uydu görüntüsünün konumsal çözünürlük değerinin çarpılmasıyla elde edilmiştir. Konumsal çözünürlük, uydu görüntüsünün bir pikselinin yeryüzündeki alanını, histogram değeri ise o sınıfa ait piksel sayısını ifade etmektedir. Landsat 8 uydu görüntüsünün multispektral bantlarının konumsal çözünürlüğü 30m'dir. Sınıflandırmada yanmış alanı gösteren sınıfın histogram değeri 1.633.123 sonucunu vermiştir. Bu iki değer çarpılarak 146.981.1 ha (hektar) alanın yandığı belirlenmiştir. Orman Alanının büyük ölçüde azaldığı anlaşılmaktadır. Elde edilen bulgular, Demir ve Kıldıl'ın (2020) çalışmasını destekler nitelikte olup, yangın sonrası Maximum Likelihood sınıflandırma yöntemini kullanarak yangın alanlarının belirlenmesinde yüksek doğruluk oranları elde etmiş ve yanmış alanların tespitinde uzaktan algılama yöntemlerinin etkinliğini göstermiştir.



Şekil 4. Yangın sonrası görüntü (24/04/2020): a) kontrollü sınıflandırma sonucu, b) normalleştirilmiş yanma oranı indeksi (NBR) sonucu

3.1. Yangın Öncesi ve Sonrası Bantlardaki Değişim

Bu çalışmada değişim analizi, yangın sonrası görüntüden yangın öncesi görüntüsünün karşılıklı multispektral bantların piksellerinin çıkarma işlemiyle yapılmıştır. Yangının bantlar üzerinde etkisi artış ve azalış oranıyla incelenmek istenmiştir. Birden fazla yöntemin kullanılarak bantlardaki değişimin yöntem değişikçe değişip değişmediğine ve doğruluğuna bakılmıştır. Bu sayede yangının hangi multispektral bant üzerinde etkisi olduğu bulunmaktadır.

Tablo 3. Eşik değer yöntemleri tablosu

Eşik Değer Yöntemi	Bantlar	Büyük Artış (%)	Büyük Azalış (%)	Fark
Otsu's	Bant 1- Kıyı aerosolü	0.031	16.278	-16.247
	Bant 2- Mavi	0.019	13.344	-13.325
	Bant 3- Yeşil	0.015	13.712	-13.697
	Bant 4- Kırmızı	0.012	11.838	-11.826
	Bant 5- Yakın kızılötesi	1.385	26.733	-25.348
	Bant 6- Kısa dalga boylu kızılötesi	3.694	10.911	-7.217
	Bant 7- Kısa dalga boylu kızılötesi	8.513	10.395	-1.882
Tsai's	Bant 1- Kıyı aerosolü	0.044	4.218	-4.174
	Bant 2- Mavi	0.055	6.179	-6.124
	Bant 3- Yeşil	0.070	6.726	-6.656
	Bant 4- Kırmızı	0.109	11.838	-11.729
	Bant 5- Yakın kızılötesi	1.463	24.209	-22.746
	Bant 6- Kısa dalga boylu kızılötesi	0.375	13.235	-12.860
	Bant 7- Kısa dalga boylu kızılötesi	2.798	11.311	-8.522
Kapur's	Bant 1- Kıyı aerosolü	0.006	0.004	-0.002
	Bant 2- Mavi	0.007	0.003	-0.004
	Bant 3- Yeşil	0.006	0.003	-0.003
	Bant 4- Kırmızı	0.007	0.001	-0.006
	Bant 5- Yakın kızılötesi	0.004	0.016	-0.012
	Bant 6- Kısa dalga boylu kızılötesi	0.027	0.001	0.026
	Bant 7- Kısa dalga boylu kızılötesi	0.032	0.002	0.030
Kittler's	Bant 1- Kıyı aerosolü	0.531	16.278	-15.747
	Bant 2- Mavi	2.105	96.780	-94.675
	Bant 3- Yeşil	4.400	93.404	-89.004
	Bant 4- Kırmızı	9.648	86.059	-76.411
	Bant 5- Yakın kızılötesi	7.709	91.786	-84.077
	Bant 6- Kısa dalga boylu kızılötesi	11.238	86.923	-75.685
	Bant 7- Kısa dalga boylu kızılötesi	26.079	70.742	-44.663

Tablo 3'te Otsu's yönteminin sayısal verilerinden yola çıkarak en çok etkilenen bandın Bant-5 yani yakın kızılötesi olduğu anlaşılmıştır. Bitkilerin kızılötesi dalga boyu en çok etkisi bilindiği üzere burada da azalış gösterdiği ortaya çıkmıştır. En çok artış oranı ve en az fark ise 6. ve 7. bantta görülmektedir. SWIR (Kısa dalga Kızılötesi) bantları toprak ve bitki örtüsünde kullanılmaktadır. Bu artışın sebebinin yangının ormansızlaşmaya sebebiyet verdiği için ve ortaya çıplak toprak çıkması bu bantlarda etkilediği anlaşılmaktadır.

Tablo 3'te Tsai's eşik değer yöntemine bakıldığında en çok farkın Bant-5 de olduğu sayısal değerlerle anlaşılmaktadır. Aynı şekilde yangından sonra bitkilerin azalmasından dolayı bandın etkilendiği bu yöntemle de anlaşılmaktadır. Bant-7 de ise büyük artış oranının yüksek olması toprak örtüsünün ortaya çıkmasından dolayı SWIR bandını etkilemiştir.

Kapur's eşik değer yöntemine Tablo 3' te değerlerine bakıldığında Bant-6 ve Bant-7'de artış olduğu görülmektedir. Diğer yöntemler olduğu gibi bu yöntemde de en fazla azalış Bant-5'te olmuştur.

Kittler's eşik değer yönteminde nerdeyse tüm bantlarda Tablo 3' te büyük azalış oranında yüksek sonuçlar çıkmıştır. Bu yöntemde de göze çarpan durumlar bant 6 ve 7 de diğerlerinden farklı olarak büyük artış oranında en yüksektir. Bunun sebebi diğer yöntemlerde de ortaya çıktığı gibi yangın sonrasındaki çıplak toprak görüntüsü olduğundanır.

En büyük azalışta ise Bant-5, Bant-3 ve Bant-2 göze çarpmaktadır. Kızıl ötesi bant dışında bu yöntemde diğer bantlarında yüksek değerler vermesi yeşil alanlardaki azalma ve su oranındaki azalma mavi ve yeşil bantları da etkilemiştir.

Yanan alan ve yanma şiddeti tespiti çalışmalarında, elektromanyetik spektrumun kırmızı (0.63 - 0.69 μm) bölgesinden kısa dalga kızılötesi (2.08 - 2.35 μm) dalga boyuna kadar etkilediği Tonbul (2015) tarafından söylenmiştir. Ayrıca yakın kızılötesi bant ve kısa dalga kızılötesi bandın, yanan alan tespiti ve haritalanmasında en iyi spektral aralığa sahip olduğu ifade edilmiştir. Yakın kızılötesi bant yansıtımı, vejetasyonda meydana gelen azalmaya bağlı olarak yangın sonrası süreçte büyük oranda azalmaktadır (Tonbul, 2015).

3.2. Spektral İndekslerin Uygulanması

Bu çalışmada 7 tane farklı indeks sırasıyla Yanmış Alan İndeksi (BAI), Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalleştirilmiş Fark Nem İndeksi (NDMI), Normalleştirilmiş Fark Yerleşim Alanı İndeksi (NDBI), Gelişmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) ve Yaprak Alan İndeksi (LAI), Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI) arazi bitki örtüsündeki değişimi, 9 tane farklı indeksler sırasıyla Çıplak Toprak İndeksi (BSI), Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST), Toprak Nem indeksi (SMI) ve Toprak Tuzluluğu İndeksi (SSI), Kil Minerali (CM), Demir Minerali (FM), Ferröz (Fe^{+2}), Ferrik (Fe^{+3}) ve Demir Oksit (Fe_2O_3) Oranı (IOR) toprak örtüsündeki değişimi için kullanılmıştır ve sonuçlar aşağıda nitel ve nicel olarak incelenmiştir. 5 farklı tarihlerden alınmış Landsat 8 uydu görüntülerinden yangın öncesi için 10.09.2019, yangın sonrası için 21.04.2020, 27.08.2020, 14.10.2020, 24.04.2021 verileri kullanılmıştır.

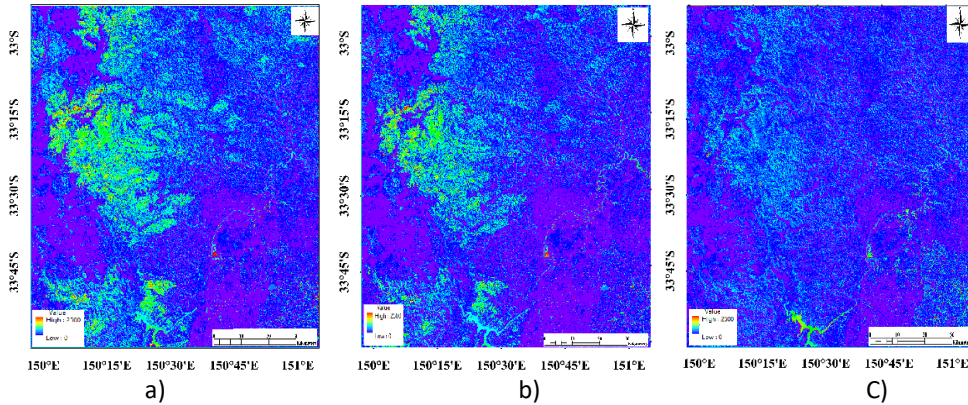
3.3.1 Arazi Bitki Örtüsünün Spektral İndekslerle İncelenmesi

Bu çalışmada, yangın sonrası süreçte yanmış alanlardaki değişimi incelemek amacıyla Yanmış Alan İndeksi (BAI) kullanılmıştır. Yangın sonrası iyileşme sürecini değerlendirmek için 21.04.2020, 27.08.2020, 14.10.2020 ve 24.04.2021 tarihli uydu görüntüleri analiz edilmiştir.

Tablo 4'teki sayısal değerlere göre, zamanla Yanmış Alan İndeksinde belirgin bir azalma olduğu gözlemlenmiş, doğanın kendini 12 ay içinde yenilemeye çalıştığı anlaşılmıştır. Şekil 5'teki BAI uygulanmış görüntüler incelendiğinde, sayısal verilerle uyumlu olarak yeşil ve kırmızı alanların yanmış bölgeleri temsil ettiği görülmektedir. Gibbons vd. (2020) araştırmasına göre, bitki örtüsünün iyileşme süresi bölgeye bağlı olarak değişmekte olup, bazı alanlarda 5 yıl içinde gerçekleşirken bazı yerlerde çok daha uzun sürebilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, yangın sonrası tamamen eski haline dönmese de belirli bir iyileşmenin gerçekleştiğini ve bunun zaman gerektirdiğini göstermektedir.

Tablo 4. Yanmış alanı indeksi (BAI) işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
BAI	Yangın Sonrası (21.04.2020)	1.203	2398.639	68.645	258.732
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	0.880	1789.036	61.757	230.009
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	0.594	1678.490	51.307	198.728
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	1.222	1006.876	50.595	180.691

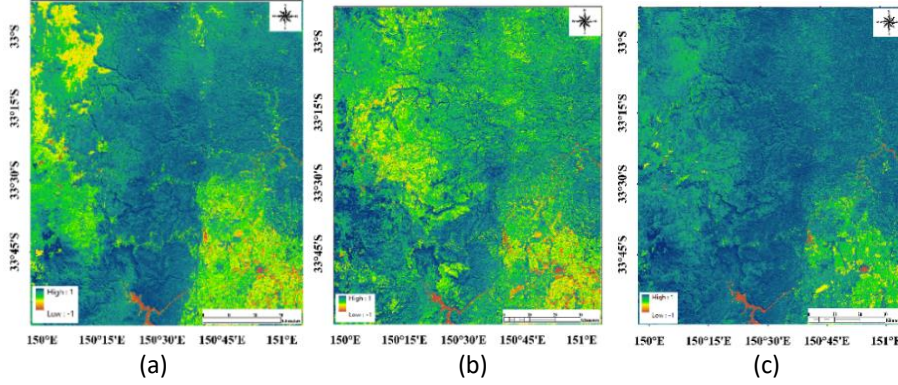


Şekil 5. Yangın sonrası BAI işlemi görüntüleri a) 21.04.2020 b) 27.08.2020 c) 24.04.2021

Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) değer aralığına Tablo 5'te bakıldığında, yangın sonrası yanan bölgelerde NDVI değerlerinin düştüğü ve bitki örtüsünün azaldığı görülmektedir. Normalde yangın öncesi ve sonrası değerler arasındaki farkın daha belirgin olması beklenirken, mevsim değişimi bu durumu etkilemiştir. Şekil 6'daki görüntülerde NDVI değerleri -1 ile 1 arasında olup, renk skalası kırmızıdan maviye doğru değişmektedir. Yangın öncesinde koyu mavi görülen ormanlık alanlar, yangın sonrası sarı, yeşil ve kırmızı tonlarına dönüşmüştür. Bu da bitki örtüsünün yangından zarar gördüğünü göstermektedir. Zamanla sağlıklı bitkilerin azaldığı ve ekosistemin toparlandığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, 2021 yılında Mersin'in Silifke ilçesinde yapılan bir çalışmada da yangın sonrası NDVI değerlerinin düştüğü ve bitki örtüsünde belirgin bir azalma olduğu tespit edilmiştir (Çelik vd., 2023). Bu durum, yangın sonrası bitki örtüsündeki hasarın benzer yöntemlerle izlenebildiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 5. Normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) işlemi değerleri

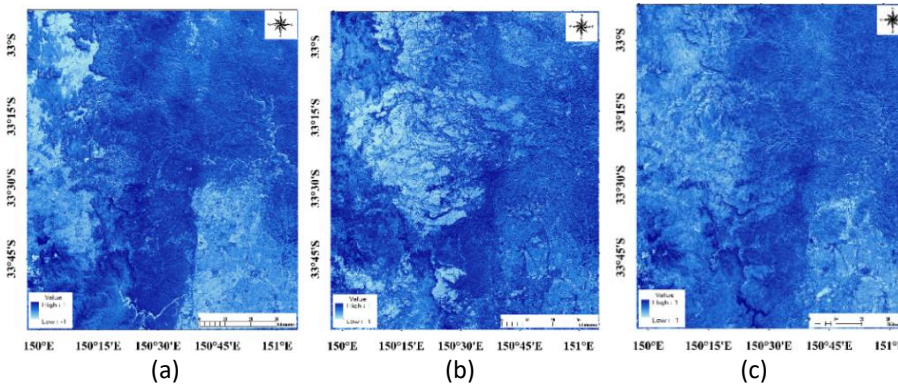
	Tarih	Min	Maks	Ortama	StdSap
NDVI	Yangın Öncesi (10.09.2019)	-1.000	1.000	0.687	0.205
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	-1.000	1.000	0.674	0.187
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	-1.000	1.000	0.646	0.194
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	-1.000	1.000	0.613	0.207
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	-1.000	1.000	0.674	0.188

**Şekil 6.** NDVI işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019 b) yangın sonrası 21.04.2020 c) yangın sonrası 24.04.2021

Normalleştirilmiş Nem Farkı İndeksi (NDMI) değerlerine Tablo 6'da incelendiğinde, yangın öncesi NDMI değerinin 0.3'ten düşük olması, çalışma alanının geniş tutulması ve yerleşim alanlarını da içermesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 7'de yangın sonrası değişimler net bir şekilde görülmektedir. Yangın öncesinde ormanlık alanlarda NDMI değeri daha yüksekken, yangın sonrası etkilenen bölgelerde belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Zamanla bu azalmanın düzelmeye başladığı ve Şekil 7'de belirginleştiği görülmektedir. Koyu mavi renk su ve bitki örtüsünü, açık mavi ve beyaz renkler ise susuz bölgeleri ifade ederek yangının neden olduğu su kaybını görsel olarak ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Serra-Burriel vd. (2021) tarafından yapılan çalışmayla uyumlu olup, yangınların bitki örtüsü ve su kaynakları üzerinde önemli etkiler yarattığını ve zamanla bu etkilerin düzelmeye başladığını göstermektedir. Ayrıca yangın sonrası su azalışı ve bitki örtüsündeki gerileme, iyileşme sürecine girdiği gözlemlenmiştir.

Tablo 6. NDMI işlemi değerleri

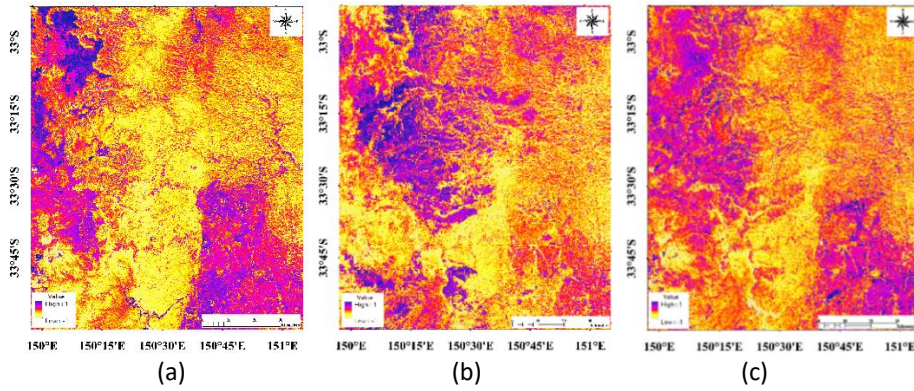
	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
NDMI	Yangın Öncesi (10.09.2019)	-1.000	1.000	0.212	0.188
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	-1.000	1.000	0.174	0.201
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	-1.000	1.000	0.166	0.188
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	-1.000	1.000	0.161	0.178
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	-1.000	1.000	0.273	0.161

**Şekil 7.** NDMI işlem görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019 b) yangın sonrası 21.04.2020 c) yangın sonrası 24.04.2021

Normalleştirilmiş Fark Yerleşim Alanı İndeksi (NDBI) Tablo 7’de yangın sonrası ortalama değerde bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu pozitif artış, yanmış alanlardaki bitki tahribatının başlangıçta negatif değeri göstermesinin ardından, zamanla pozitif değere dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 8’deki görüntülere bakıldığında, sarıdan mora doğru bir geçiş görülmektedir; ormanlık alanın azalmasıyla birlikte yerleşim alanı bölgesi artmaktadır. Yangından önce sarı renkte olan alanlar bitki varlığını ifade ederken, yangın sonrası bölgede belirgin bir şekilde mor renge dönüşmüştür. Zamanla NDBI değerinin negatif değere düşmesi, tahribatın doğanın kendini yenilemesiyle birlikte bitkilerin yeniden türediğini göstermektedir. Sonuçlar, diğer spektral indekslerle ve çalışmalarla uyumlu bir şekilde çıkmıştır.

Tablo 7. NDBI işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
NDBI	Yangın Öncesi (10.09.2019)	-1.000	1.000	-0.212	0.188
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	-1.000	1.000	-0.174	0.201
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	-1.000	1.000	-0.166	0.188
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	-1.000	1.000	-0.161	0.178
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	-1.000	1.000	-0.273	0.161

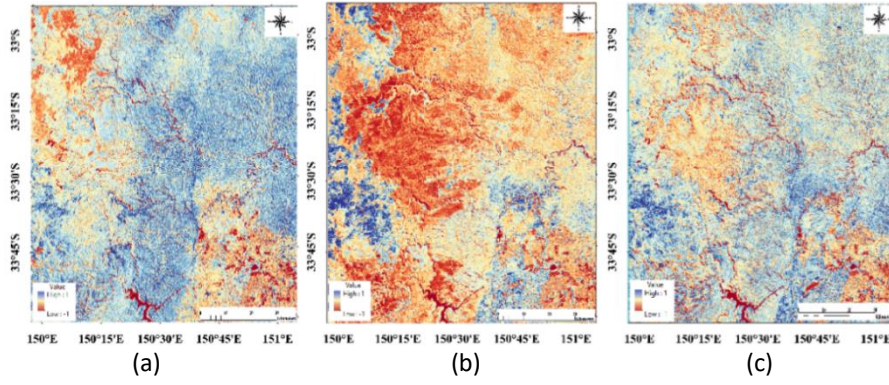


Şekil 8. NDBI işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019 b) yangın sonrası 21.04.2020 c) yangın sonrası 24.04.2021

Gelişmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) değerleri, yangın sonrası minimum ve maksimum seviyelerde düşüş göstermiş, bu azalma ortalama değerlere de yansımıştır. Çalışma alanı geniş ve çeşitli arazi örtülerine sahip olsa da yangının etkisi belirgindir. Zamanla ortalama değer artsa da tahribatın hızla düzelmediği görülmektedir. Şekil 9’da kırmızıdan maviye geçiş, bitki örtüsünün toparlanma sürecini yansıtmaktadır. Yangın öncesi mavi tonlar hakimken, yangın sonrası alanlar keskin şekilde kırmızıya dönüşmüştür. Zamanla bu bölgelerde kırmızı tonların azalması ve sarı-maviye dönüşmesi, iyileşme sürecini göstermektedir. Bir yıl sonraki görüntülerde belirgin bir toparlanma olsa da ekosistemin tamamen eski haline dönmesi uzun zaman aldığı anlaşılmaktadır. Fernandes ve Botelho (2003)’e göre de orman yangınından sonra iyileşme süreci zaman alabilmektedir. Ormanın alt tabakasındaki bitki örtüsü ve çalılıkların eski haline gelmesi birkaç yıl sürebilirken, yapraklar ve dallar gibi üst düzey bitki yapılarının iyileşmesi genellikle 2-5 yıl arasında bir süre almaktadır.

Tablo 8. EVI işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
EVI	Yangın Öncesi (10.09.2019)	-0.692	1.000	0.378	0.132
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	-0.211	0.935	0.285	0.136
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	-0.337	0.984	0.298	0.129
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	-1.000	1.000	0.290	0.110
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	-0.269	0.842	0.296	0.102

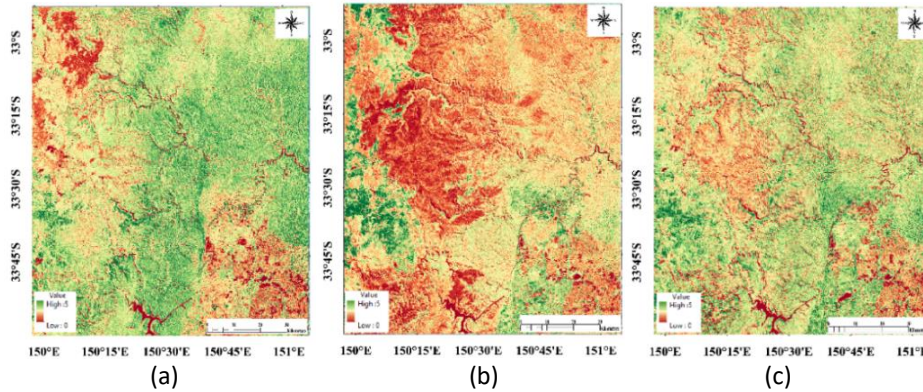


Şekil 9. EVI işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019 b) yangın sonrası 21.04.2020 c) yangın sonrası 24.04.2021

Tablo 9'daki Yaprak Alanı İndeksi (LAI) değerleri incelendiğinde, yangın öncesi (10.09.2019) maksimum ve ortalama değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Yangın sonrası (21.04.2020) bu değerlerdeki düşüş, yangının ormana verdiği zararı yansıtmaktadır. Ancak, zamanla bu değerler yeniden yükselmiş ve doğanın kendini yenilediği gözlemlenmiştir. Şekil 10'da yangın öncesi ve sonrası LAI değerleri karşılaştırılmıştır. Kırmızı alanlar bitki örtüsünün azaldığını, yeşile doğru geçiş ise yaprak alanının arttığını göstermektedir. Yangın sonrası belirgin bir bitki kaybı yaşanmış, ancak zamanla iyileşme gözlemlenmiştir. Mevsim faktörü bazı renk değişimlerine neden olsa da sonuçlar, Gelişmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) ile paralel sonuçlar çıkararak destekler niteliktedir.

Tablo 9. LAI işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
LAI	Yangın Öncesi (10.09.2019)	0.000	4.373	1.2532	0.4200
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	0.000	3.236	0.9174	0.4881
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	0.000	3.652	0.9652	0.4587
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	0.000	3.845	0.9764	0.4532
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	0.000	3.972	0.9585	0.3598



Şekil 10. LAI işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019 b) yangın sonrası 21.04.2020 c) yangın sonrası 24.04.2021

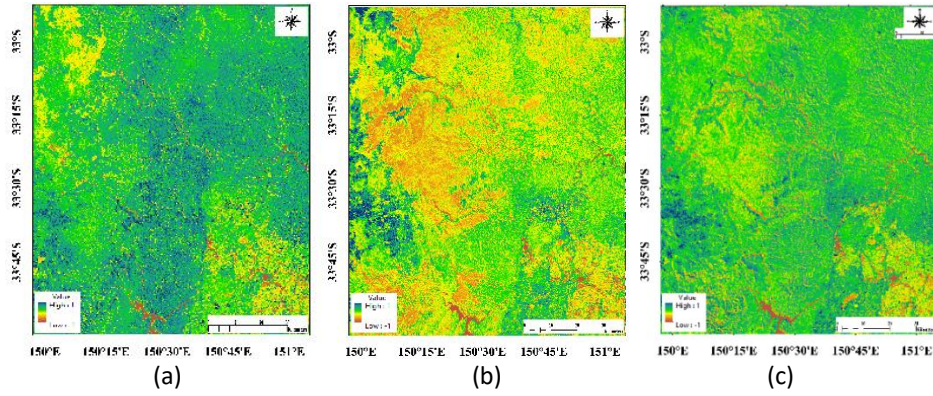
Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI), 1'e yaklaştıkça bitki örtüsünün yoğunluğunu, -1'e yaklaştıkça ise toprak varlığını göstermektedir. Tablo 10'da yangın sonrası minimum ve maksimum değerlerin genel olarak düştüğü, ortalama değerlerdeki azalışın ise toprak örtüsünün açığa çıktığını ve bitki örtüsünün azaldığını gösterdiği görülmektedir. Şekil 11'de, -1 değeri kırmızıdan başlayarak 1'e doğru koyu maviye renklendirilmiştir. Mavi ve yeşil alanlar bitki varlığını, sarı ve kırmızı alanlar ise yanmış bölgelerde toprak yüzeyinin ortaya çıktığını göstermektedir. Yangından hemen sonraki görüntü tahribatı net bir şekilde ortaya koyarken, zamanla çıplak toprak alanlarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Sannigrahi vd. (2020), yangın öncesi (2014) ve sonrası (2016) yıllara ait MODIS verileriyle bitki örtüsü ve yanma alanı indekslerinin mekânsal ve zamansal değişimlerini incelemiş ve SAVI'nin orman yangınlarının ekosistem üretkenliği üzerindeki etkilerini değerlendirmede etkili bir araç olduğunu bulmuştur. Benzer şekilde, bu çalışmada da yangın sonrası bitki örtüsündeki değişiklikler ve iyileşme süreci SAVI indeksleriyle izlenmiş, tahribatın sayısal olarak doğrulandığı ve

iyileşmenin zamanla ilerlediği gözlemlenmiştir. Sannıgrahi vd. (2020)'in bulguları doğrultusunda, yangın sonrası çıplak toprak alanlarının azaldığı ve bitki örtüsünün arttığı tespit edilmiştir.

Tablo 10. SAVI işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
SAVI	Yangın Öncesi (10.09.2019)	-0.563	0.898	0.371	0.103
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	-0.448	0.910	0.302	0.129
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	-0.516	0.885	0.309	0.119
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	-0.654	1.000	0.422	0.174
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	-0.440	0.761	0.318	0.101



Şekil 11. SAVI işlem görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019 b) yangın sonrası 21.04.2020 c) yangın sonrası 24.04.2021

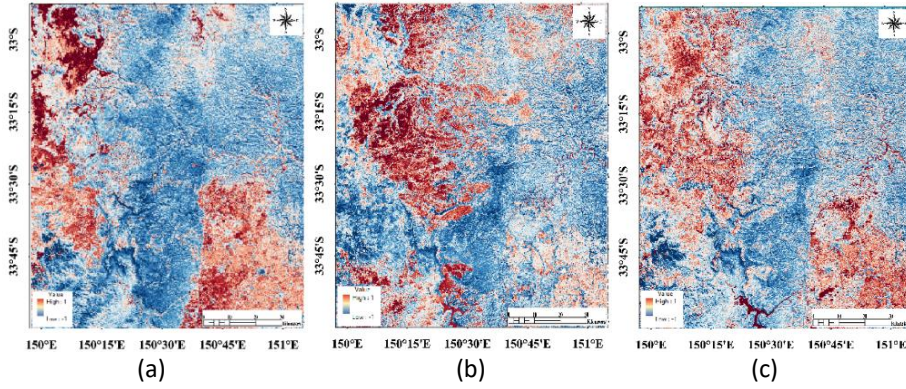
3.3.2 Toprak Örtüsünün Spektral İndeksler ile İncelenmesi

Bu çalışmada toprak örtüsündeki değişimleri multispektral bantlarla birlikte spektral indeksler kullanılarak incelenmiştir. Landsat 8 uydu görüntülerinin toprak üzerinde inceleme için yeterli olup olmayacağı hakkında bilgi vermesi için de bu çalışma yapılmıştır.

Çıplak Toprak İndeksi (BSI) değerlerine Tablo 11'de bakıldığında, ortalama değer arttıkça bitki örtüsünde kayıp olduğu ve çıplak toprak varlığının arttığı anlaşılmaktadır. Görüntülere uygulanan BSI işlemi sonrasında elde edilen histogram değerleri, bitki varlığının azaldığını ve zamanla doğanın kendini yenilemesiyle orman tahribatının azaldığını göstermektedir. Şekil 12'ye bakıldığında, -1 ile 1 arasında yapılan histogram sınıflandırmasında mavi alanlar bitki örtüsünü, kırmızı alanlar ise çıplak toprağı temsil etmektedir. Orman yangınının etkisiyle çıplak toprak alanlarının arttığı net bir şekilde gözlemlenmiş ve zamanla bu alanların yangın öncesi haline yöneldiği nitel olarak izlenmiştir.

Tablo 11. BSI işlemi değerleri

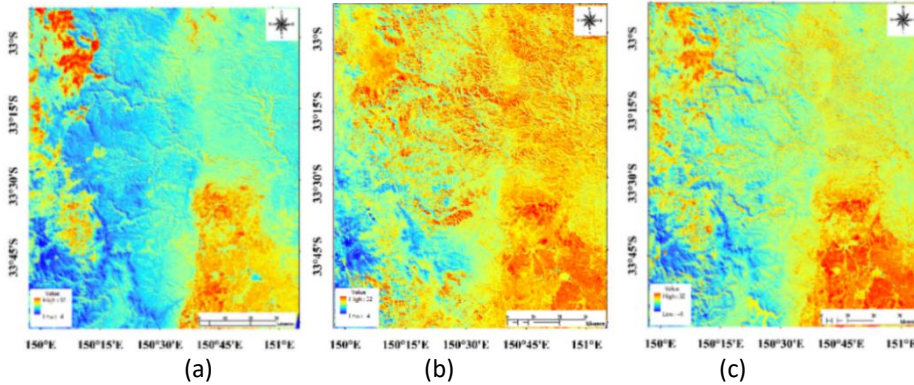
	TARİH	Min	Maks	Ortalama	StdSap
BSI	Yangın Öncesi (10.09.2019)	-1.000	1.000	-0.156	0.178
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	-1.000	1.000	-0.099	0.198
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	-1.000	1.000	-0.097	0.180
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	-1.000	1.000	-0.141	0.157
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	-1.000	1.000	-0.190	0.165



Şekil 12. BSI işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019 b) yangın sonrası 21.04.2020 c) yangın sonrası 24.04.2021

Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) Tablo 12’de orman yangınından sonraki görüntülerde artış göstermiştir. Bunun sebebi ağaçların güneş ışığını direk yüzeye inmesi engellediği için ve toprakta bulunan yanmış kül tabakası verdiği etkisiyle sıcaklık ortalama değerde olduğu gibi artmıştır. Zamanla yangının vermiş olduğu tahribatın azalması ve doğanın yenilenmesi ile bu değer azalışa geçmiştir. Şekil 13’te, yangın sonrası alanlarda yüksek sıcaklık farkları açıkça görülmektedir. Soğuk alanlar mavi renkle, sıcak alanlar ise sarı ve kırmızı renklerle gösterilmiştir. Zamanla, yangının etkili olduğu bölgelerde sıcaklıkların düşerek soğuma sürecinin başladığı gözlemlenmektedir.

Sannigrahi vd. (2020), MODIS verileri kullanarak yangın öncesi ve sonrası yıllara ait LST hesaplamaları yapmış ve yangın günlerinde LST’nin 6°C ila 9°C arasında arttığını gözlemlemiştir. Bu artış, yangınların ekosistem üzerindeki etkilerini ve yangın riskini değerlendirmede LST’nin önemini vurgulamaktadır. Benzer şekilde, bu çalışmada da yangın sonrası LST değerlerinde gözlemlenen artış, yangının ekosistem üzerindeki tahribatını göstermekte ve zamanla sıcaklık değerlerinin azaldığı, doğanın iyileşme sürecine girdiği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 13. LST işlem görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019 b) yangın sonrası 21.04.2020 c) yangın sonrası 24.04.2021

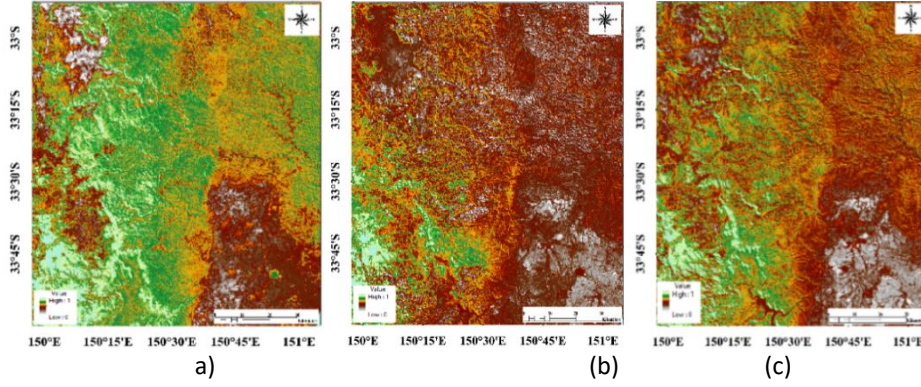
Tablo 12. LST işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
LST	Yangın Öncesi (10.09.2019)	1.584	30.963	15.852	4.376
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	-3.211	27.896	18.401	3.452
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	1.423	25.851	13.913	4.281
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	4.500	24.653	14.707	4.101

Toprak Nem İndeksi (SMI) değeri, LST ile ilişkilidir ve topraktaki nem oranını yansıtmaktadır. 0 ile 1 arasındaki değerler, topraktaki nemin azaldığını ve sonra tekrar arttığını Tablo 13’te göstermektedir. LST değerindeki azalışla birlikte topraktaki nem artmış ve bu da SMI değerinde yükselmeye neden olmuştur. Şekil 14’te, 0 ile 1 arasında yapılan renklendirmede, 1 değeri yeşil renkle fazla nemi, 0 değeri ise kahverengi tonlarıyla kuru toprağı ve düşük nem oranını ifade etmektedir. Yangın öncesi (10.09.2020) nem oranı yüksekken, yangın sonrası (21.04.2020) bu oran düşmüştür. Zamanla, yangının etkilerinin azalması ve sıcaklığın düşmesiyle nem oranında artış gözlemlenmiştir. LST ve SMI arasındaki ilişki, sıcaklık düştükçe toprak neminin arttığını göstermektedir.

Tablo 13. SMI işlemi değerleri

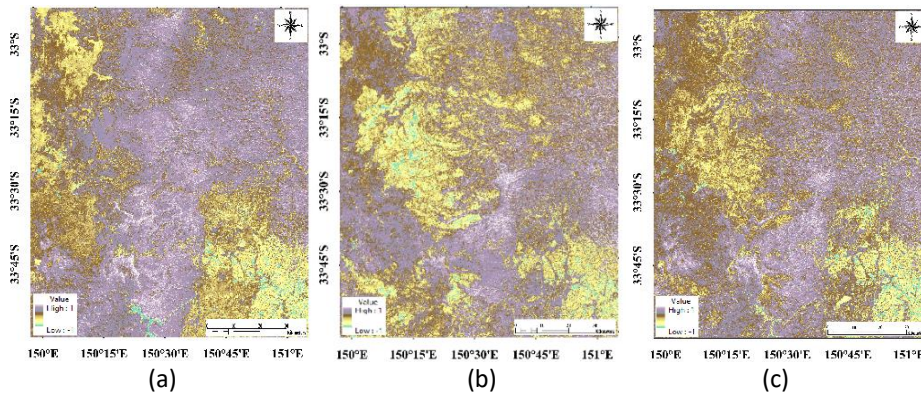
	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
SMI	Yangın Öncesi (10.09.2019)	0.020	1.000	0.114	0.027
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	0.009	1.000	0.069	0.022
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	0.022	1.000	0.094	0.027
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	0.013	1.000	0.070	0.027

**Şekil 14.** SMI değişim görüntüleri a) Yangın öncesi 10.09.2019 b) Yangın sonrası 21.04.2020 c) Yangın sonrası 24.04.2021

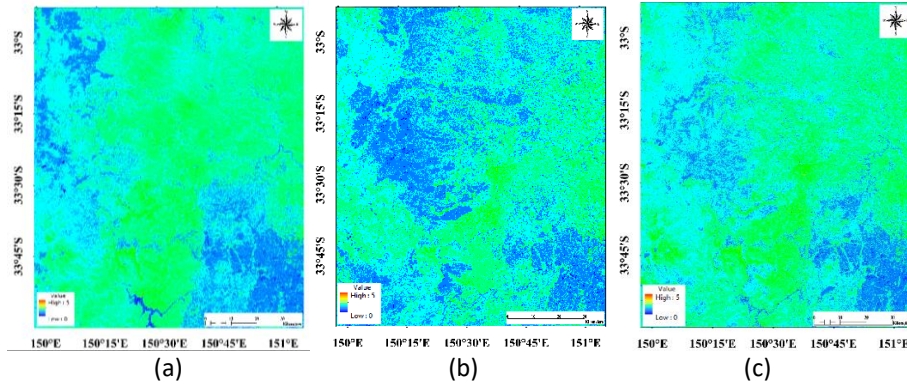
Toprak Tuzluluğu İndeksi (SSI) değerleri Tablo 13'te incelendiğinde, yangın öncesi ortalama değerin yangın sonrası düştüğü görülmüştür. Yangının hem bitki örtüsüne hem de toprağa etkisi sayısal olarak yansımıştır. Zamanla bu değerdeki artış, doğanın kendini yenileyebildiğini göstermektedir. Şekil 15'te, yangın öncesinde yüksek olan tuzluluk seviyesinin, yangın sonrası keskin bir renk değişimi ile azaldığı gözlemlenmiştir. Zamanla, yangın alanındaki ekosistem iyileşmeye başlamış ve son görüntülerde bu toparlanma net bir şekilde görülmüştür. Orman yangınları, toprağın kimyasal yapısını bozarak su geçirmez hâle getirdiği için toprağın su tutma kapasitesini ve mineral dengesini etkileyerek tuzluluk seviyelerinde değişikliklere yol açabildiği düşünülmektedir.

Tablo 14. SSI işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
SSI	Yangın Öncesi (10.09.2019)	-1.000	1.000	0.306	0.097
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	-1.000	1.000	0.267	0.102
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	-1.000	1.000	0.271	0.098
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	-1.000	1.000	0.281	0.096
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	-1.000	1.000	0.311	0.092

**Şekil 15.** SSI işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019 b) yangın sonrası 21.04.2020 c) yangın sonrası 24.04.2021

Tablo 15 incelendiğinde, yangın sonrası kil mineralinde azalma görülmektedir. Zamanla bu oran pek değişmese de bir yıl sonra eski değerine yaklaşmıştır. Şekil 16'da düşük kil miktarı mavi, yüksek miktarlar ise yeşil ve sonrası renklerle gösterilmiştir. Yangın öncesinde kil miktarı yüksekken, yangın sonrasında belirgin bir düşüş yaşanmıştır. Reynard-Callanan vd. (2010), yangınların topraktaki kil minerallerini azaltarak su tutma kapasitesini olumsuz etkileyebileceğini belirtmiştir. Bu çalışma da benzer sonuçlar göstermiştir. Ayrıca, topraktaki nem artışı SMI değerine yansımış ve bu iki değişken arasındaki ilişkiyi desteklemiştir. Diğer spektral indeksler arasında da bir uyum olması çalışmayı doğrular niteliktedir.



Şekil 16. Kil minerali indeksi işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019, b) yangın sonrası 21.04.2020, c) yangın sonrası 24.04.2021

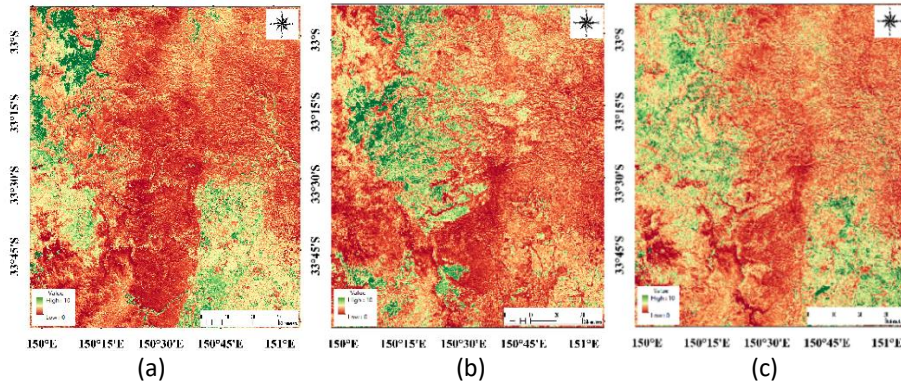
Tablo 15. Kil minerali indeksi işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
Kil Minerali (CM)	Yangın Öncesi (10.09.2019)	0.000	5.000	1.935	0.392
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	0.000	5.000	1.782	0.385
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	0.000	5.000	1.717	0.367
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	0.000	5.000	1.789	0.358
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	0.000	5.000	1.951	0.386

Tablo 16 incelendiğinde, maksimum değerler açısından Demir Mineralinin yangın sonrası sistematik bir ilerleyiş göstermediği görülmektedir. Ancak, ortalama değerlere bakıldığında, yangın sonrası belirgin bir artış olup bir yıl sonra azalma yaşanmıştır. Şekil 17'de, kırmızıdan yeşile doğru gidildikçe demir mineralinin arttığı gözlemlenmiştir. Yangın alanında geniş bir yeşil yayılımın oluşması, değerlerin yükseldiğini; zamanla ise bu değerlerin düştüğünü göstermektedir. Sayısal veriler değişimi net olarak yansıtmasa da görüntüler bu durumu desteklemektedir. Demir mineralindeki bu sonuçlar Demir Oksit (Fe_2O_3) Oranı (IOR), Ferröz (Fe^{+2}) ve Ferrik (Fe^{+3}) Oranı ile orantılı şekilde çıkmıştır.

Tablo 16. Demir minerali indeksi işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
Demir Minerali (FM)	Yangın Öncesi (10.09.2019)	0.000	8.411	0.696	0.437
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	0.000	8.871	0.763	0.359
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	0.000	3.945	0.766	0.333
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	0.000	7.253	0.765	0.766
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	0.000	4.394	0.598	0.242

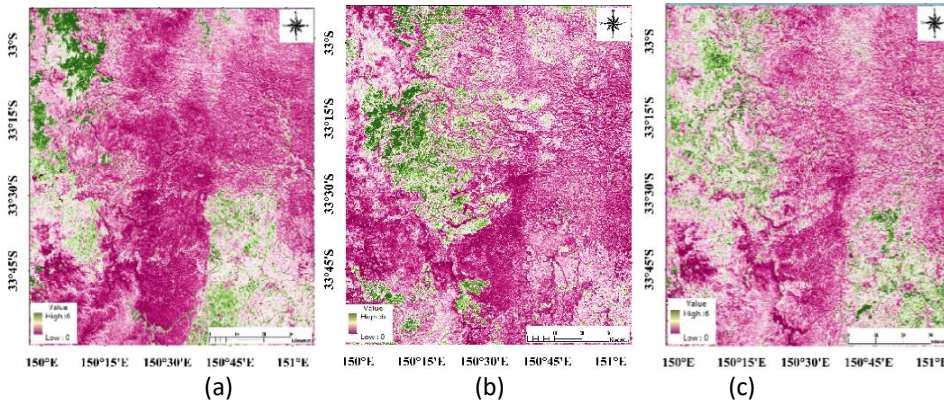


Şekil 17. Demir minerali indeks işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019, b) yangın sonrası 21.04.2020, c) yangın sonrası 24.04.2021

Demir Oksit (Fe_2O_3) Oranı (IOR) değerlerine Tablo 17’de bakıldığında yangın sonrası artış göstermiş, bir yıl sonra ise düşüş yaşanmıştır. Bu durum, demir mineralindeki yükselişle ilişkilidir. Demir minerali ile Demir Oksit arasındaki değerlendirmeler, demir artışının her iki parametreyle doğrulandığını göstermektedir. Şekil 18’de, yanmış alanlarda demir oksit değeri mor renkten yeşil tonlara dönüşerek artışı ortaya koymaktadır. Yangın sonrası bu yükseliş belirgin bir şekilde gözlemlenirken, zamanla değer düşüğe geçerek eski haline dönmeye başlamıştır.

Tablo 17. Demir Oksit İndeks İşlemi Değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
Demir Oksit Oranı (IOR)	Yangın Öncesi (10.09.2019)	0.000	5.737	0.696	0.437
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	0.000	3.079	0.763	0.359
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	0.000	2.724	0.766	0.333
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	0.000	4.126	0.765	0.766
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	0.000	2.031	0.598	0.242

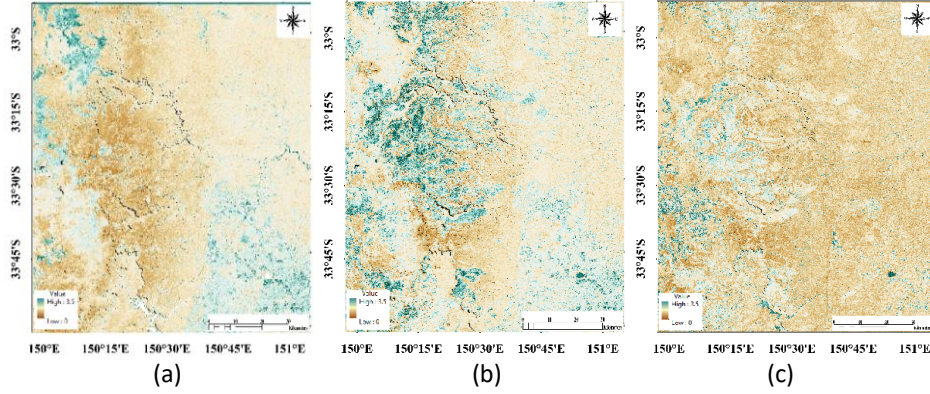


Şekil 18. Demir oksit indeks işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019, b) yangın sonrası 21.04.2020, c) yangın sonrası 24.04.2021

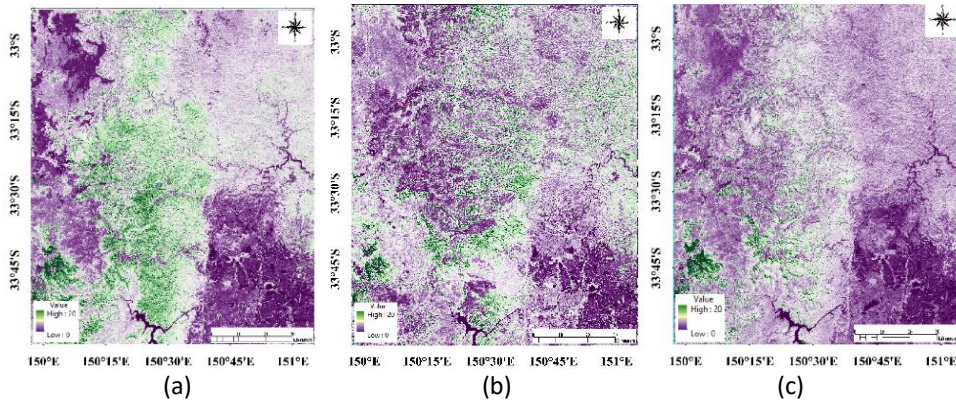
Ferröz (Fe^{2+}) ve Ferrik (Fe^{3+}) oranları Tablo 18 ve Tablo 19’da incelendiğinde, yangın sonrası ortalama değerlerin arttığı, ancak zamanla azaldığı görülmektedir. Bu değişimin, havalanmayan topraklarda gerçekleşen Denklem 1’deki tepkimeyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu tepkimede Fe^{3+} miktarında düşüş, Fe^{2+} miktarında ise artış gözlemlenmiştir. Tablo 2’de kullanılan spektral indeksler, bu süreci destekler niteliktedir. Şekil 19’da yangın sonrası Fe^{2+} mineralinde belirgin bir artış gözlemlenmiş, koyu yeşil renk yoğun şekilde baskın hale gelmiştir. Zamanla bu değer düşüş göstermiş ve kahverengi tonlara dönüşmüştür. Fe^{3+} mineralinin istatistik sonuçlarında, yangın sonrası maksimum değerinde azalma gözlenmiş, ancak zamanla tekrar artış meydana gelmiştir. Ortalama değerler ise görüntülerle tam olarak uyumlu bir sonuç vermemiştir. Ancak, Şekil 20 incelendiğinde, yangın öncesinde ormanlık alanlarda yeşil tonların baskın olduğu, yani Fe^{3+} değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Yangın sonrasında ise bu değer düşüş göstermiştir.

Tablo 18. Ferröz (Fe^{+2}) indeks işlemi değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
Ferröz (Fe^{+2})	Yangın Öncesi (10.09.2019)	0.071	2.704	1.381	0.450
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	0.021	2.669	1.448	0.300
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	0.069	2.680	1.405	0.288
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	0.831	3.226	1.713	0.932
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	0.070	2.693	1.259	0.260

**Şekil 19.** Fe^{+2} indeks işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019, b) yangın sonrası 21.04.2020, c) yangın sonrası 24.04.2021**Tablo 19.** Ferrik (Fe^{+3}) indeks işlemi Değerleri

	Tarih	Min	Maks	Ortalama	StdSap
Ferrik (Fe^{+3})	Yangın Öncesi (10.09.2019)	0.000	272.725	6.865	6.161
	Yangın Sonrası (21.04.2020)	0.000	217.236	7.104	7.336
	Yangın Sonrası (27.08.2020)	0.000	230.478	6.794	7.112
	Yangın Sonrası (14.10.2020)	0.000	248.763	4.267	2.010
	Yangın Sonrası (24.04.2021)	0.000	308.456	9.300	15.177

**Şekil 20.** Fe^{+3} indeks işlemi görüntüleri: a) yangın öncesi 10.09.2019, b) yangın sonrası 21.04.2020, c) yangın sonrası 24.04.2021

Yangın sonrası toprak koşulları incelendiğinde, havalanmayan (anaerob) toprak yapısının oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu durum, Demir (2009) tarafından belirtilen Denklem 1'e dayanarak değerlendirilmiştir. Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak yapılan analizlerde, Fe^{2+} ve Fe^{3+} minerallerindeki değişim izlenmiş ve elde edilen sonuçların bu denklemi destekler nitelikte olduğu görülmüştür. Yangın sonrası toprakta anaerob bakterilerin Ferrik (Fe^{3+}) ile etkileşime girerek Ferröz (Fe^{2+}) oluşturduğu, Rowan ve Mars (2003) tarafından sunulan formüllerle de doğrulanmaktadır.

Bu süreç sonucunda toprak pH'ında artış meydana gelmiş ve toprak profili boyunca Fe miktarında belirgin bir yükseliş gözlemlenmiştir. Yapılan analizler, yangın sonrası Fe^{2+} ve Fe^{3+} değişimlerinin bu kimyasal süreçle tutarlı olduğunu ve ekosistem dinamikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

Diğer spektral indekslerle bir bütün olarak incelendiğinde, sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu görülmekte ve bu çakışma, yapılan analizlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini pekiştirmektedir. Ayrıca, farklı indekslerin birbirini destekleyen sonuçlar üretmesi, inceleme yapılan alanların durumunun daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilmesini sağlamaktadır. Bu tür bir yaklaşım, literatürde benzer bir çalışmanın bulunmaması nedeniyle, alanındaki özgün ve yenilikçi bir katkı sağlamaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Orman yangınlarının sayısındaki artış, iklim değişikliğinin etkisiyle birlikte, orman ekosistemleri ve diğer doğal alanlarda yangın ekolojisi açısından ciddi zararlar yaratmaktadır. Bu zararların önüne geçebilmek için özellikle uydu görüntüleri ile arazi ve toprak örtüsündeki değişimin incelenmesi, keşif ekibi ve laboratuvar sonuçları gereksiz bu işlemlerin yapılabilmesi önemli bir gelişme sağlamıştır. Ayrıca yangının orman ekolojisindeki etkisini ve zamanla doğanın kendini yenilemesi hakkında bu çalışma fikir vermiştir. 2019-2020 arasında gerçekleşen orman yangınları Sidney şehrinde ciddi zarara sebebiyet vermiş ve bu zararı Uzaktan Algılama teknolojisi ile son yıllarda uydu teknolojilerinde yaşanan önemli gelişmeler sayesinde incelenmesine aracı olmuştur.

Öncelikle Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılarak kontrollü sınıflandırma yöntemi ile hasar tespit çalışmasında 146.981.1 ha (hektar) alanın yandığı hesaplanmış, yangının ciddi boyutta hasara sebebiyet verdiği anlaşılmaktadır. Eşik değer yöntemleri (Otsu, Tsai, Kapur ve Kittler) ile yangında en çok etkilenen multispektral bantların NIR VE SWIR olduğu sonuçlarla değerlendirilmiştir. Yanan Alanı İndeksi (BAI) ile yanan alanlardaki bir senelik süreçte hızlı bir düzelme olduğu saptanmıştır. Arazi bitki örtüsündeki değişim için NDVI, EVI, LAI, NDMI, NDBI ve SAVI indekslerine bakılmıştır. Yangın öncesi ve sonrası büyük bir değişim olduğu hem nicel hem de nitel olarak sonuçlar sunulmuştur. Toprak örtüsündeki değişim için BSI, LST, SMI, SSI indekslerine bakılmıştır. Yangından sonra çıplak toprak görüntüsünün ortaya çıktığı bu sebeple arazi yüzey sıcaklığının arttığı ve buna bağlı olarak nem oranının da düştüğü belirlenmiştir. Bu düşüş topraktaki tuzluluğun azalmasına da sebebiyet vermiştir. Toprak içerisinde bulunan mineraller için Kil, Demir, Demir Oksit, Ferröz (Fe^{+2}) ve Ferrik (Fe^{+3}) değerlerine bakılmıştır. Sonuçlarda kil ve ferrik miktarında azalma olduğu ve demir, demir oksit ve ferröz da artış olduğu gözlenmiştir. Demirdeki artışın Denklem 1'de ki tepkimenin sonucundan dolayı olduğu ve diğer mineral ve oranların sonucuna bakılarak da anlaşılmaktadır. Bu döngünün oluşmasında, yangından sonraki süreçte kül tabakasının havalanmayan toprak meydana getirdiği ve bu sebeple Fe^{+3} ile anaerobik canlılarının etkileşime girerek ferrikte azalışa ve çıkan tepkimededen ferröz oluşmasıyla demirde artışa neden olmuştur. Böylece bitkilerin yeniden canlanmasında, büyümesinde ve fotosentez yapmasında önemli olan demirin yangından sonraki süreçte açığa çıkması ormanların yeniden kazanılmasında bilgi vermiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, yangının ciddi zarar verdiğini, bitki örtüsünün kaybolmasıyla çıplak toprağın açığa çıktığını ve yüzey sıcaklığının arttığını göstermektedir. Bunun sonucunda, toprak neminde ve tuzluluğunda azalma meydana gelmiş, ancak yangın sonrası demir seviyesindeki artış, bitkilerin yeniden canlanması açısından önemli bir etken olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, yangının bitkiler ve toprak üzerinde olumsuz etkiler bıraktığını, bir yıl sonra iyileşme sürecinin başladığını ancak eski haline dönmesi için daha uzun bir süre gerektiğini, diğer çalışmalarda belirtilen bulgularla tutarlı şekilde ortaya koymuştur. Yangının topraktaki birçok etkisini inceleyebilmek için Multispektral bantlar yerine hiperspektral bantların kullanılması daha fazla analiz yapılabilmesi ve daha sağlıklı sonuç vereceği de düşünülmektedir.

Uzaktan Algılamanın orman yangınları üzerinde kullanılması, bilgi edilebilirliği açısından önemli olduğu ve hem zaman hem de maddi anlamda kolaylık sağlayabileceği bu çalışma sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca ekosistemin kaybettiği arazi örtüsünün ne kadar sürede geri kazandığını belirlemek, değişimleri analiz etmek ve yangın sonrasında bu sürecin nasıl değerlendirilmesiyle gerektiğine katkı sağlamaktadır. Uzaktan algılama ile orman yangınlarında hasar alan bölgelerin keşfi ve tekrar doğaya kazandırılması, yangından sonra toprak örtüsünün nasıl değiştiği, yangını engellemek için yangına dayanıklı bitkilerin ekilmesinde karar vericilere yardımcı olacaktır.

Kaynaklar

- Anadolu Ajansı. (2023). *Dünyada son 10 yılda yaklaşık 82 milyon hektar ormanlık alan yandı*. <https://www.aa.com.tr/tr/dunya/dunyada-son-10-yilda-yaklasik-82-milyon-hektar-ormanlik-alan-yandi/2954614>
- Alganci, U., Sertel, E., & Örmeci, C. (2010, May 31–June 4). *Forest fire damage estimation using remote sensing and GIS* [Symposium presentation]. 30th EARSeL Symposium - Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage, Paris, France.
- Al-Khaier, F. (2003). *Soil salinity detection using satellite remote sensing* [Master's thesis, University of Twente]. ITC Publications. <https://essay.utwente.nl/104064/>

- Aslan, E., Yılmaz, K., & Demir, Ö. F. (2016). Bitlis yöresi topraklarının kil minerali ve toprak özellikleri ilişkileri. *Çukurova Tarım Gıda Bilişimi Dergisi*, 31(3), 201–206.
- Aydın, M., Uğış, A., Akkuzu, E., & Ünal, S. (2017). Orman yangınlarının su kaynakları üzerindeki etkileri. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(4), 554–564. <https://doi.org/10.17475/kastorman.369008>
- Bilgili, E. (2014). *Orman yangınlarının orman ekosistemleri üzerindeki etkileri*. 25 Nisan 2021’de https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormankoruma_213b0.pdf adresinden alındı.
- Boegh, E., Soegaard, H., Broge, N., Hasager, C., Jensen, N., Schelde, K., & Thomsen, A. (2002). Airborne multi-spectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81(2–3), 179–193.
- Canlı, K. (2010). Küresel ısınmanın orman ekosistemine etkisi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 86–96.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: A review. *International Journal of Wildland Fire*, 14(3), 429–442. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8>
- Chandler, C. C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., & Williams, D. (1983). *Fire in forestry. Volume 1: Forest fire behavior and effects*. John Wiley & Sons.
- Chen, W., Liu, L., Zhang, C., Wang, J., & Pan, Y. (2004, September 20–24). *Monitoring the seasonal bare soil areas in Beijing using multitemporal TM images* [Symposium presentation]. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Anchorage, AK, USA.
- Chuvieco, E., Martin, 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.
- Çepel, N. (1975). Orman yangınlarının mikroklima ve toprak özellikleri üzerine yaptığı etkiler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 25(1), 71–93.
- Çelik, M. Ö., Fidan, D., Ulvi, A., & Yakar, M. (2023). Akdeniz Bölgesi’ndeki orman yangınlarının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi: Mersin ili Silifke ilçesi örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 116–125.
- Demir, T. (2009). *Ankara Üniversitesi açık ders notları malzemeleri: Demir minerali*. 12 Nisan 2021’de https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/205632/mod_resource/content/0/11.HAFTA.pdf adresinden alındı.
- Demirci, R., Güvenç, U., & Kahraman, H. T. (2014). Görüntülerin renk uzayı yardımıyla ayrıştırılması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(1), 1–8.
- Demir, Z., & Kızıllı, F. (2020). *Orman yangın alanlarının uzaktan algılama yöntemleriyle tespiti* [Bitirme çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği]. Trabzon.
- De Santis, A., & Chuvieco, E. (2007). Burn severity estimation from remotely sensed data: Performance of simulation versus empirical models. *Remote Sensing of Environment*, 108, 422–435. <https://doi.org/10.1071/WF05097>
- Dogan, H. (2009). Mineral composite assessment of Kelkit River Basin in Turkey by means of remote sensing. *Journal of Earth System Science*, 118, 701–710.
- EOS Data Analytics Inc. (2020). *NDMI (Normalleştirilmiş Fark Nem İndeksi)*. 11 Mayıs 2021’de <https://eos.com/make-an-analysis/ndmi/> adresinden alındı.
- Fernandes, P. M., & Botelho, H. S. (2003). Fire behavior and severity in Mediterranean-type ecosystems: Implications for fire management. *Fire Ecology Journal*, 25(2), 55–65.
- Firo. (2012, 26 Ocak). *Topraktaki Demir Mineralleri*. 21 Mart 2021’de <https://www.firochromis.com/?p=944> adresinden alındı.
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266.
- Ghazali, M. F., Wikantika, K., & Harto, A. B. (2019). Generating soil salinity, soil moisture, soil pH from satellite imagery and its analysis. *Information Processing in Agriculture*, 7(2), 264–306. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.08.003>
- Gibbons, P., Lindenmayer, D. B., & Soderquist, T. (2020). Ecological impacts of fire in Australian forests: A review. *Forest Ecology and Management*, 307, 23–37.
- Hatfield, J. L., Kanemasu, E. T., Asrar, G., Jackson, R. D., Pinter, P. J. Jr., Reginato, R. J., & Idso, S. B. (1985). Leaf area estimates from spectral measurements over various planting dates of wheat. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 167–175.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.
- Huete, A. R., Liu, H., Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440–451.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, 195–213.
- Hunt, G. (1977). Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, 42(2), 401–413.

- Kapur, J. N., Sahoo, P. K., & Wong, A. K. C. (1985). A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. *Graphical Models and Image Processing*, 29, 273–285.
- Kayman, Ö. (2015). *Spektral indekslerin arazi örtüsü/kullanımı sınıflandırmasına etkisi: İstanbul, Beylikdüzü ilçesi arazi kullanımı değişimi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment (LA): Sampling and analysis methods. In D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti, C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, & L. J. Gangi (Eds.), *Firemon: Fire Effects Monitoring and Inventory System* (pp. LA1–LA51). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Khaneghah, A. R. N. (2016). *Estimating land surface temperature (LST) using ENVI5.3: Landsat8*. <https://www.youtube.com/watch?v=GG2b74vkEfl>
- Kılıçaslan, M., Tanyeri, U., & Demirci, R. (2018). Renkli görüntüleri için tek boyutlu histogram. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 1094–1107.
- Kittler, J., & Illingworth, J. (1986). Minimum error thresholding. *Pattern Recognition*, 19, 41–47.
- Lopez Garcia, M., & Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data. *Geocarto International*, 6, 31–37.
- Neary, D. G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F., & Ffolliott, P. F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: A review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122, 51–71.
- NİK Sistem. (2020). *Landsat-8 teknik özellikler*. https://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=49
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray level histogram. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, SMC-9(1), 62–66.
- Partheepan, S., Sanati, F., & Hassan, J. (2024). *Bushfire severity modelling and future trend prediction across Australia: Integrating remote sensing and machine learning*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.02963>
- Pashaei, H. M., & Aksoy, T. (2022). Arazi örtüsünün mekânsal ve zamansal olarak değişiminin yer yüzey sıcaklığına olan etkisinin uzaktan algılama yöntemi ile belirlenmesi, İstanbul Pendik ilçesi örnekleme. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST)*, 5(2), 1–22.
- Reynard-Callanan, J., Pope, G., Gorring, M., & Feng, H. (2010). Effects of high-intensity forest fires on soil clay mineralogy. *Physical Geography*, 31(5), 407–422. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.31.5.407>
- Robichaud, P. R. (2000). Fire effects on soil properties and processes. *Fire Ecology Journal*, 5(1), 23–36.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973, December 10–14). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite)* [Symposium presentation]. 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Washington, D.C.
- Rowan, L. C., & Mars, J. C. (2003). Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment*, 84, 350–366.
- Rulli, M. C., & Rosso, R. (2007). Soil erosion and water retention following forest fires in Mediterranean ecosystems. *Environmental Management*, 40(2), 189–203.
- Sabuncu, A., & Özener, H. (2019). Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 317–326. <https://doi.org/10.21324/dacd.511688>
- Sannigrahi, S., Pilla, F., Basu, B., Basu, A. S., Sarkar, K., Chakraborti, S., Joshi, P. K., Zhang, Q., Wang, Y., Bhatt, S., Bhatt, A., Jha, S., Keesstra, S., & Roy, P. S. (2020). Examining the effects of forest fire on terrestrial carbon emission and ecosystem production in India using remote sensing approaches. *Science of The Total Environment*, 725, Article 138331. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138331>
- Segal, D. (1982, December 6). *Theoretical basis for differentiation of ferric-iron bearing minerals using Landsat MSS data* [Conference presentation]. International Symposium for Remote Sensing of Environment, 2nd Thematic Conference on Remote Sensing for Exploratory Geology, Fort Worth, TX, USA.
- Serra-Burriel, F., Delicado, P., Prata, A. T., & Cucchiatti, F. M. (2021). Estimating heterogeneous wildfire effects using synthetic controls and satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 265, Article 112649. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112649>
- Sezgin, M. (2002). *İmge eşikleme yöntemlerinin başarımlarını değerlendirme ve tahribatsız muayenede kullanımı* [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Singh, S., Singh, H., Sharma, V., Shrivastava, V., Kumar, P., Kanga, S., Sahu, N., Meraj, G., Farooq, M., & Singh, S. K. (2021). Impact of forest fires on air quality in Wolgan Valley, New South Wales, Australia—A mapping and monitoring study using Google Earth Engine. *Forests*, 13(1), Article 4. <https://doi.org/10.3390/f13010004>
- Tsai, W. H. (1985). Moment-preserving thresholding: A new approach. *Graphical Models and Image Processing*, 19, 377–393.
- Tonbul, H. (2015). *Uydu görüntü verileri kullanılarak orman yangını şiddeti ve yangın sonrası son durumun zamansal olarak incelenmesi: Akdeniz örneği* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>

- Wang, J., & Qu, J. J. (2007). A method for estimating soil moisture with thermal infrared remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 108(4), 477–484. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.008>
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483.
- Xu, H., Chen, J., He, G., Lin, Z., Bai, Y., Ren, M., Zhang, H., Yin, H., & Liu, F. (2024). Immediate assessment of forest fire using a novel vegetation index and machine learning based on multi-platform, high temporal resolution remote sensing images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 134, Article 104210. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104210>
- Yıldız, D., & Özgüler, H. (2021). Kuraklık, orman yangınları ve ekosistem dengesi. 30 Mart 2021’de <https://www.hidropolitikakademi.org/uploads/editor/images/Kurakl%C4%B1k%20Orman%20Yang%C4%B1nlar%C4%B1%20ve%20Ekosistem%20Dengesi%20.pdf> adresinden alındı.
- Yıldız, H., Mermer, A., Ünal, E., & Akbaş, F. (2012). Türkiye bitki örtüsünün NDVI verileri ile zamansal ve mekansal analizi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 50–56.
- Yılmaz, B., Demirel, M., & Bektaş Balçık, F. (2022). Yanmış alanların Sentinel-2 MSI ve Landsat-8 OLI ile tespiti ve analizi: Çanakkale/Gelibolu orman yangını. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1), 76–86.
- Yılmaz, K. (1984). *Adana, Seyhan, Berdan ve Gks ovalarında yaygın olarak bulunan bazı toprak serilerindeki kil minerallerinin X-ışınları difraksiyonu yöntemi ile kantitatif analizi* [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Yüksel, K. (2022). Evaluation of different remote sensing indices in detection of forest burned area: A case study of 2022 Mersin (Gülnar) wildfire. *ArtGrid—Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 4(2), 160–171.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>