

Assessment of fire intensity in the Mersin-Silifke (2025) forest fires using spectral indices and Sentinel-2 images¹

İlter Kutlu Hatipoğlu² 

² Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Samsun University, Samsun, Turkey.

ABSTRACT

Rapid and accurate assessment of forest fire impacts is essential for post-fire rehabilitation processes. This study examines the burn severity of the forest fires that occurred in Mersin-Silifke during the summer of 2025 using Sentinel-2 satellite data and a multispectral index approach (dNBR, RBR, dSAVI). Difference maps obtained by processing pre- and post-fire imagery were reclassified according to USGS standards, and spatial changes were calculated. The fire affected a total of 7,933.64 hectares, with severity concentrated mainly in the low and moderate-low classes. When index performances were compared, it was found that the dNBR and RBR indices produced similar results, but the soil-corrected dSAVI index demonstrated higher sensitivity to biomass loss. Indeed, while the RBR index could not detect the "Medium-High Intensity" class in the field at all, the soil-corrected dSAVI index identified an area of 658.39 hectares (8.3%) in this class at the same site. dSAVI modeled fire intensity more distinctly than dNBR and RBR, particularly in shrubland areas. In areas with sparse vegetation, rather than relying on a single index, it is recommended to use different indices—such as dSAVI—that also take ground cover into account.

KEYWORDS

Burning severity, SAVI, Maquis, Mediterranean, Mersin.

Mersin-Silifke (2025) orman yangınlarında yanma şiddetinin Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak spektral indeksler ile değerlendirilmesi²

ÖZET

Ormanları tehdit eden yangınların etkilerinin hızlı ve doğru tespiti, yangın sonrası rehabilitasyon süreçleri için hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 2025 yılı yazında Mersin-Silifke’de meydana gelen orman yangınlarının yanma şiddetleri Sentinel-2 uydu verileri ve çoklu spektral indeks yaklaşımı (dNBR, RBR, dSAVI) kullanılarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Yangın öncesi ve sonrası görüntülerin işlenmesiyle elde edilen fark haritaları, USGS standartlarına göre yeniden sınıflandırılmış ve alansal değişimler hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre toplam 7933,64 hektarlık alanın yangından etkilendiği ve yanma şiddetinin ağırlıklı olarak "Düşük Şiddet" ve "Orta-Düşük Şiddet" sınıflarında yoğunlaştığı belirlenmiştir. İndeks performansları karşılaştırıldığında dNBR ve RBR indekslerinin birbirine paralel sonuçlar ürettiği, ancak toprak düzeltmeli dSAVI indeksinin biyokütle kaybına karşı daha yüksek duyarlılık gösterdiği tespit edilmiştir. Nitekim RBR indeksi sahada "Orta-Yüksek Şiddet" sınıfını hiç tespit edemezken, toprak düzeltmeli dSAVI indeksi aynı sahada 658,39 hektarlık (%8,3) bir alanı bu sınıfta göstermiştir. dSAVI özellikle makilerin bulunduğu alanlarda dNBR ve RBR’ye kıyasla yanma şiddetini daha belirgin

¹ This paper is an enhanced and expanded version of the paper presented at the National Samsun Geography Symposium 2026 (USCS 2026) under the title "A Comparison of Index Performance in Mediterranean Forest Fires: The Case of Mersin-Silifke (2025)".

² Bu çalışma, "Akdeniz Orman Yangınlarında İndeks Performanslarının Karşılaştırılması: Mersin-Silifke (2025) Örneği" başlığıyla Ulusal Samsun Coğrafya Sempozyumu 2026 (USCS 2026)’da sunulan bildirinin geliştirilmiş ve genişletilmiş versiyonudur.

Cite: Hatipoğlu, İ., K. (2026). Assessment of fire intensity in the Mersin-Silifke (2025) forest fires using spectral indices and Sentinel-2 images. *Ordu University Institute of Social Sciences Journal of Social Sciences Research*, 16(2), Article Number 15. <https://doi.org/10.48146/odusobiad.1872507>

Corresponding Author: ilter.hatipoglu@samsun.edu.tr

bir şekilde modellemiştir. Seyrek bitki örtüsüne sahip sahalarda tek bir indekse bağlı kalmak yerine, dSAVI gibi toprak örtüsünü de işin içerisine katan farklı indekslerin de kullanımı önerilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER

Yanma şiddeti, SAVI, Maki, Akdeniz, Mersin.

Introduction

Forest fires are major disasters that threaten ecological balance. The frequency and intensity of forest fires are increasing, partly due to the effects of global climate change (Güler & Kalkan, 2022, p. 97; Yıldırım et al., 2023, p. 1468; Eyi & Buğdaycı, 2024, p. 348; Yaman & Tunç Görmüş, 2025, p. 316). These wildfires cause damage to natural ecosystems, destroy vegetation, and disrupt soil structure (Çallı & Özdemir, 2025, p. 24). Furthermore, this situation paves the way for secondary hazards such as erosion, landslides, and floods (Çiçekli, 2024, p. 503; Çallı & Özdemir, 2025, p. 24).

Damage assessment, planning, and rehabilitation efforts following forest fires are crucial for the rapid restoration of burned areas (Karaca & Güllü, 2019, p. 1062; Saylan & Çömert, 2019, p. 9; Yüksel, 2022, p. 161). In this regard, Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques are particularly preferred for their ability to provide accurate and reliable results (Karaca & Güllü, 2019, p. 1063). In particular, satellite-based observation systems stand out as an effective technique for identifying areas damaged by fires and measuring the characteristic features and intensity of fires (Karaca & Güllü, 2019, p. 1063). In determining fire damage, various spectral indices derived from satellite imagery are actively utilized (Chongo et al., 2007, p. 82; Smith et al., 2007, p. 96; Tonbul, 2015, p. 10; Sabuncu & Özener, 2019, p. 322; Polat & Kaya, 2021, p. 173; İban & Şahin, 2022, p. 488; Aksoy & Selim, 2024, p. 5).

Traditional ground-based damage assessment in burned areas is physically demanding, costly, and time-consuming (Saylan & Çömert, 2019, p. 9). Spectral indices, however, allow faster, more economical, and highly accurate assessments (Saylan & Çömert, 2019, p. 9; Karaca & Güllü, 2019, p. 1063). Spectral indices do more than delineate burned-area boundaries. These studies, which identify areas of varying severity within the burned land, also provide a foundational basis for determining areas susceptible to post-fire events such as erosion, landslides, and floods (Venkatesh et al., 2020, p. 1; Çelik, 2023, p. 289; Karadaş & Altınkaya, 2025, p. 500). Additionally, these analyses are crucial for understanding the forest ecosystem's recovery potential and for properly prioritizing regeneration strategies (Saulino et al., 2020, p. 2).

A review of the literature reveals that the Difference Normalized Burn Ratio (dNBR), derived from the Normalized Burn Ratio (NBR) (Key & Benson, 2006)—which typically focuses on biomass loss—is commonly used for assessing forest fire damage (Escuin et al., 2008; García-Llamas et al., 2019; Saulino et al., 2020; Veraverbeke & Hook, 2013). Additionally, since the dNBR is insufficient for assessing fires in areas with sparse vegetation, the Relative Burn Rate Index (RBR), which is also NBR-based (Parks et al., 2014), is preferred (Parks et al., 2018; Konkathi & Shetty, 2019; Viedma et al., 2020). The Difference Normalized Difference Vegetation Index (dNDVI), derived from the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse et al., 1973), which measures plant health, is also frequently used (Escuin et al., 2008; García-Llamas et al., 2019). These indices, which focus on biomass loss and plant health, generally perform well (Yılmaz et al., 2022, p. 84; Yüksel, 2022, p. 161; Kaynak, 2025, p. 177). However, in the Mediterranean basin, where the study area is located, the land cover is not composed solely of forests. These areas exhibit a patchy distribution, including forests, shrubs, bare soil, and rock surfaces (Atalay, 1994, p. 192). In maquis-dominated areas, it becomes important to distinguish how much of the spectral reflectance revealed after a fire is due to biomass loss and how much is due to soil effects. In this context, indices such as the Differential Soil-Adjusted Vegetation Index (dSAVI), derived from the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) (Huete, 1988) to minimize soil effects, have gained prominence (García-Llamas et al., 2019). However, studies on dSAVI

remain limited in the literature. Therefore, this study aims to simultaneously test the performance of the dSAVI index against dNBR and RBR specifically for the 2025 Silifke fires. This study contributes to filling a data gap in the local literature and provides a spectral index performance evaluation for Mediterranean basin lands with sparse vegetation.

The number of forest fires and the amount of land burned are increasing day by day, both in Turkey and specifically in Mersin Province as shown in Tables 1 and 2, (Şahin & Sipahioğlu, 2003; Ertuğrul, 2005, p. 47; Özşahin, 2013, p. 6; Çolak & Sunar, 2018, p. 311; Kahyaoğlu et al., 2021, p. 165; Abay et al., 2022, p. 4; Şahan & Kaya, 2022, p. 6; Usta, 2023, p. 18). According to data from the General Directorate of Forestry (OGM), a total of 80,896 fires occurred between 1988 and 2024, resulting in damage to 553,102 hectares of land. In 2021, burned area reached a historical peak both nationwide (139,503 ha) and in Mersin Province (9,661 ha).

Table 1 Forest fire statistics by year across Turkey (1988–2024).

Years	Number of Fires (Number)	Burned Area (Hectare)	Years	Number of Fires (Number)	Burned Area (Hectare)	Years	Number of Fires (Number)	Burned Area (Hectare)
1988	1 372	18 210	2001	2 631	7 394	2013	3 755	11 456
1989	1 633	13 099	2002	1 471	8 514	2014	2 149	3 117
1990	1 750	13 742	2003	2 177	6 644	2015	2 150	3 219
1991	1 481	8 081	2004	1 762	4 876	2016	3 188	9 156
1992	2 117	12 232	2005	1 530	2 821	2017	2 411	11 993
1993	2 545	15 393	2006	2 227	7 762	2018	2 167	5 644
1994	3 239	30 828	2007	2 829	11 664	2019	2 688	11 332
1995	1 770	7 676	2008	2 135	29 749	2020	3 399	20 971
1996	1 645	14 922	2009	1 793	4 679	2021	2 793	139 503
1997	1 339	6 317	2010	1 861	3 317	2022	2 160	12 799
1998	1 932	6 764	2011	1 954	3 612	2023	2 579	15 520
1999	2 075	5 804	2012	2 450	10 454	2024	3 797	27 485
2000	2 353	26 353	2013	3 755	11 456	Toplam	80896	553102

Source: OGM, 2026.

Table 2 Forest fires occurring in areas under the jurisdiction of the Mersin Regional Directorate (2004–2024).

Years	Number of Fires (Number)	Burned Area (Hectare)	Years	Number of Fires (Number)	Burned Area (Hectare)	Years	Number of Fires (Number)	Burned Area (Hectare)
2004	59	24	2012	75	505	2020	87	509
2005	48	14	2013	155	509	2021	89	9 661
2006	50	29	2014	91	79	2022	99	2 118
2007	128	1053	2015	80	282	2023	82	898
2008	93	5080	2016	107	198	2024	107	69
2009	60	80	2017	54	928	Toplam	1813	22686
2010	90	105	2018	71	70			
2011	98	114	2019	90	361			

Source: OGM, 2026.

The increase in forest fires, as evidenced by statistical data, poses a significant threat, particularly in the Mediterranean and Aegean regions during the summer months (Özşahin, 2013, p. 6; Karaca & Güllü, 2019, p. 1063; Abay et al., 2022, p. 4; Kolukırık et al., 2022, p. 560). Mersin province, located in the Mediterranean Region, is also affected by these fires (Table 2), (Duran, 2014, p. 38; Tonbul et al., 2016, p. 763; Avcı & Boz, 2017, p. 160; İban & Şahin, 2022, p. 487; Şahin, 2022, p. 120; Yüksel, 2022, p. 161; Çelik et al., 2023, p. 116; Olgun, 2024, p. 1). The fires that occurred in the vicinity of the study area, particularly in 2021, are the most concrete examples of this situation (Şahin, 2022; Çelik et al., 2023). Şahin (2022) reports that three large-scale fires occurred in 2021, one in Gülnar and two in Silifke. The forest fires that occurred in Silifke on July 26 and August 13, 2025—the focus of this study—are also adjacent to the fire areas in Silifke mentioned in Şahin's (2022) study. This indicates that the region is highly prone to fires. Drought and the accumulation of flammable material likely play significant roles.

The study area is located in Silifke District, Mersin Province, southern Turkey, near the Mediterranean Sea (Figure 1). The fire area covers approximately 7,933.64 hectares. To the east of the area lie the city of Silifke and the Göksu River Delta; to the west is Mount Elmalı; and to the southwest is Mount Hayvan. Encircled by Hisar Mountain and Gedik Mountain to the north, the study area is roughly situated south and east of Kirtıl Mountain. The region is subject to the influence of hot and dry summer seasons, a characteristic of the typical Mediterranean climate (Atalay, 1994, p. 142). Additionally, the site is characterized by widespread Turkish pine (*Pinus brutia*) forests and maquis (Atalay, 1994, p. 192). These climatic conditions and the dominant vegetation cover make the site highly susceptible to wildfires.

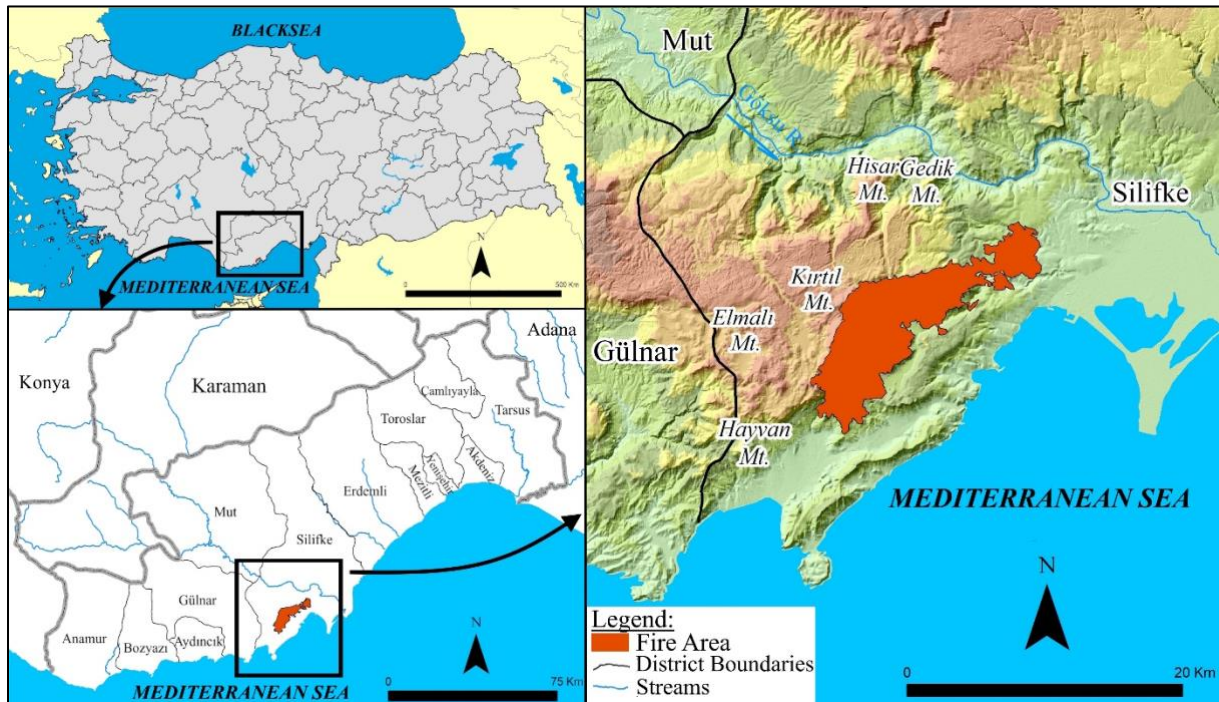


Figure 1 Map showing the location of the fire.

This study aimed to compare the performance of different spectral indices (dNBR, RBR, and dSAVI) in mapping the fire severity of the 2025 Mersin-Silifke forest fires. Although the analyses indicate that the fire generally fell into the “Low Intensity” and “Medium-Low Intensity” classes, significant differences in sensitivity were observed among the indices. While dNBR and RBR produced similar results, the soil-corrected dSAVI index was found to demonstrate higher sensitivity in detecting biomass loss, particularly in areas where maquis vegetation and sparse forest cover are prevalent. dSAVI classified a larger area as moderate-high severity than dNBR. This finding highlights that in Mediterranean ecosystems with sporadic sparse vegetation, fire damage assessment studies should not rely solely on a single index, and that complementary indices such as dSAVI enhance the accuracy of analysis.

Method

This study focuses on the 2025 Silifke forest fires and uses European Space Agency (ESA) Sentinel-2 MSI satellite images with less than 10% cloud cover to delineate the burned area. The analysis utilized Level-2A surface reflectance data with atmospheric corrections applied. Sentinel-2 images have different bands with spatial resolutions of 10 m and 20 m. To ensure the integrity of the analysis, these bands were resampled to 10 m spatial resolution using the “Nearest Neighbor” interpolation method.

In determining fire boundaries, expert-controlled visual interpretation and screen digitization were chosen to prevent “mixed pixel” and “false positive” errors that could arise from automatic

thresholding methods. This method aims to accurately distinguish topographic shadows and dark-colored rock surfaces whose spectral reflectance could be confused with fire traces. For this purpose, the 10-meter resolution bands of the Sentinel-2 MSI satellite and various composites (B8A-B11-B12 and B4-B3-B2) were cross-checked and digitized. Although the method carries the risk of subjectivity depending on the expert, it is considered more accurate than automatic classification algorithms in complex terrain (Karaca & Güllü, 2019).

Fire scars were highlighted on false-color images generated using post-fire (August 15, 2025) imagery and a combination of SWIR, NIR, and Red bands. Using these scars as a reference, a study area polygon covering 7,933.64 hectares was created through digitization. All spectral analyses were conducted within this mask.

In this study, a multi-index approach was adopted for mapping fire severity. First, dNBR was used as the primary index. dNBR is based on NBR, which is a standard in international fire severity analyses and shows a strong correlation with biomass loss (Key & Benson, 2006, p. 26). Additionally, considering that the study area's vegetation consists of dense forest areas, sparse forest areas, and shrublands, the RBR and dSAVI indices were also included in the analysis. It is known that RBR provides higher accuracy and better agreement with field data compared to dNBR, particularly in areas where pre-fire vegetation density is low (Parks et al., 2014, p. 1837). It was thus assumed that any loss of sensitivity in dNBR in sparse vegetation could be mitigated by using RBR. Finally, it was considered to include dNDVI, another spectral index frequently used to determine fire severity (Rouse et al., 1973). However, due to the sporadically sparse vegetation structure in the field, the dSAVI index—calculated based on the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) developed by Huete (1988) was included instead. SAVI was developed to minimize the misleading effect of bare soil surfaces on spectral reflectance and to monitor vegetation exclusively (Huete, 1988).

To determine the intensity of the fire, NBR and SAVI values derived from pre- and post-fire imagery were used in this study. Change difference maps were calculated for all indices, and comparisons were made using the resulting dNBR, RBR, and dSAVI data.

One of the spectral indices frequently used in fire studies is NBR (Karaca & Güllü, 2019; İban & Şahin, 2022; Kaynak, 2025; Yaman & Tunç Görmüş, 2025). NBR is calculated using a combination of the NIR and SWIR bands (Key & Benson, 2006, p. 26).

$$NBR = NIR - SWIR / NIR + SWIR$$

dNBR was developed by calculating the difference between pre-fire and post-fire NBR values to determine fire intensity. The dNBR has been used as a basis for determining the extent of change caused by fire in the ecosystem and for classifying fire intensity (Key & Benson, 2006, p. 26).

$$dNBR = NBR_{pre_fire} - NBR_{post_fire}$$

The RBR is an index based primarily on NBR and is derived using dNBR. The aim here is to account for sparse vegetation cover as well (Parks et al., 2014, p. 1832).

$$RBR = dNBR / NBR_{pre_fire} + 1,001$$

In this study, SAVI was used instead of NDVI and dNDVI because the terrain featured patchy, sparse vegetation. Although SAVI is calculated similarly to NDVI, a soil correction factor (L) is added to the formula. L takes values such as 0.25 for very dense, 0.5 for medium density, and 1 for bare land, depending on the density of the vegetation, and in this way, the reflection from the soil is attempted to be eliminated (Huete, 1988, p. 301). However, Huete (1988) recommends 0.5 for areas where density is unknown or for moderately dense areas. In this study, L was also set to 0.5.

$$SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + L)] \times (1 + L)$$

$$(L = 0.5)$$

Like dNBR, dSAVI was developed by calculating the difference between pre- and post-fire SAVI values in order to quantify the damage caused by the fire to the vegetation.

$$dSAVI = SAVI_{pre_fire} - SAVI_{post_fire}$$

The standard threshold values of the United States Geological Survey (USGS) (Key & Benson, 2006) were used to classify fire severity in the dNBR, RBR, and dSAVI images. Accordingly, the derived index values were classified as “Unburned” (<0.10), “Low Severity” (0.10–0.27), “Low-Moderate Intensity” (0.27–0.44), “Moderate-High Intensity” (0.44–0.66), and “High Intensity” (>0.66).

To ensure that the pre- and post-fire NBR and SAVI images were not affected by parameters such as water surfaces and deep shadows, a histogram stretching technique was applied to the images. This allowed for a clearer observation of biological changes in the area in both the pre- and post-fire images. In the final stage, the classified raster data were converted to vector format, the area covered by each severity class was calculated in hectares, and proportional distributions were analyzed.

An accuracy analysis was conducted to scientifically demonstrate the accuracy and field reliability of the generated dNBR, RBR, and dSAVI fire severity maps. For this purpose, 100 fixed points were generated through random sampling in a GIS environment. These same points are fixed for dNBR, RBR, and dSAVI. For each analysis, attributes (Unburned, Low Intensity, Medium-Low Intensity, Medium-High Intensity, and High Intensity) were defined based on the USGS standards (Key & Benson, 2006) corresponding to the random points. These defined attributes were individually examined and compared through expert interpretation of Sentinel-2 satellite images and post-fire color composites, and error matrices were generated. Index performance was evaluated using the obtained error matrices, and Overall Accuracy (Po) and the reliability measure adjusted for chance, the Kappa Coefficient (Cohen’s Kappa-K), were calculated. The calculated Kappa coefficients were interpreted according to the Landis and Koch (1977) scale.

Findings

A comparative analysis of pre- and post-fire images

Forest fires occurred in the study area on July 26, 2025, and August 13, 2025. To illustrate the effects of both fires, Sentinel-2 images dated July 23, 2025 (pre-fire) and August 15, 2025 (post-fire) were selected. The post-fire image was reprocessed in two ways: as a True Color original image and as a False Color image, and the fire area was delineated accordingly (Figures 2 and 3). In Figure 2, fire-damage boundaries are clearly visible. In this image, which utilizes the SWIR (Shortwave Infrared) band, healthy vegetation appears in bright green tones, while fire-affected areas can be observed in dark brown and red tones depending on the intensity of the fire. These areas, which also include patches of white, represent zones that were spared from burning due to the nature of the fire (quarries, buildings, bare rock surfaces, etc.). Variations from red to dark brown reflect differences in the site’s topographic structure, weather conditions at the time of the fire, and the density of vegetation on the ground.

To enable dNBR and RBR analyses of the study area, NBR was calculated for pre- and post-fire conditions (Figures 4 and 5). Values ranged from -0.2 to 0.6 across the study area. Yellow and green tones dominate before the fire (Figure 4). This indicates that the vegetation is healthy across the study area. In contrast, post-fire images show significant radiometric change (Figures 4 and 5). A comparison of the images reveals that biomass loss has occurred across most of the site. The southwest part of the site stands out as the area least affected by this situation (Figures 4 and 5).

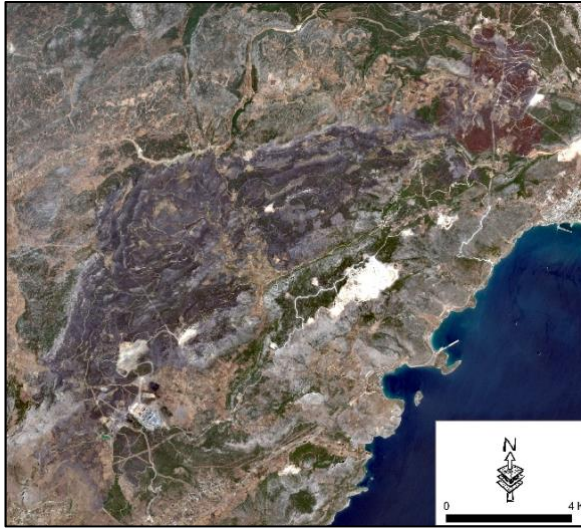


Figure 2 Post-fire (August 15, 2025) True Color image.

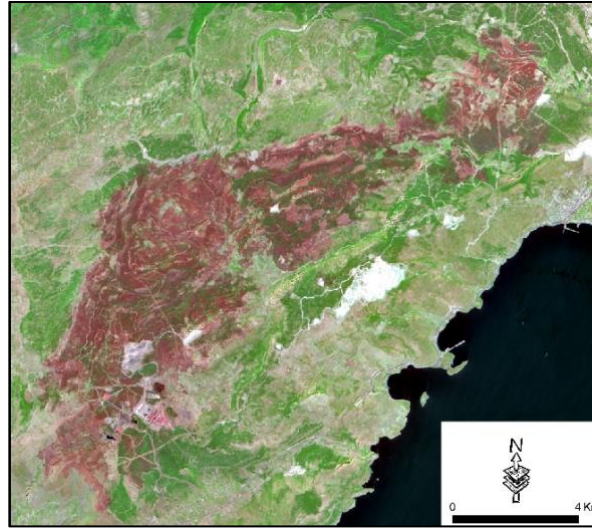


Figure 3 Post-fire (August 15, 2025) false-color image.

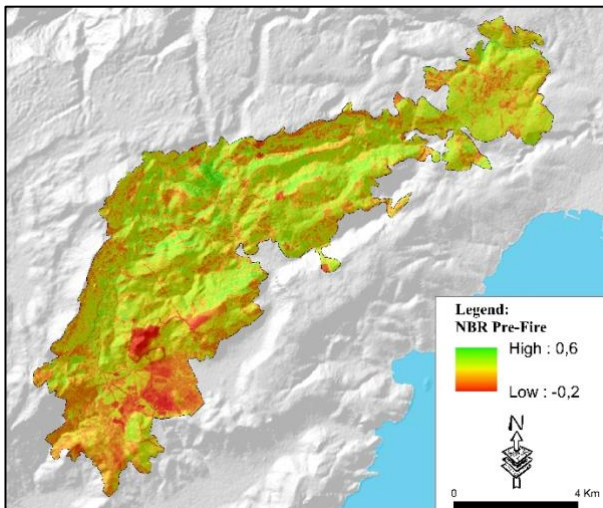


Figure 4 Results of the NBR analysis prior to the fire (July 23, 2025).

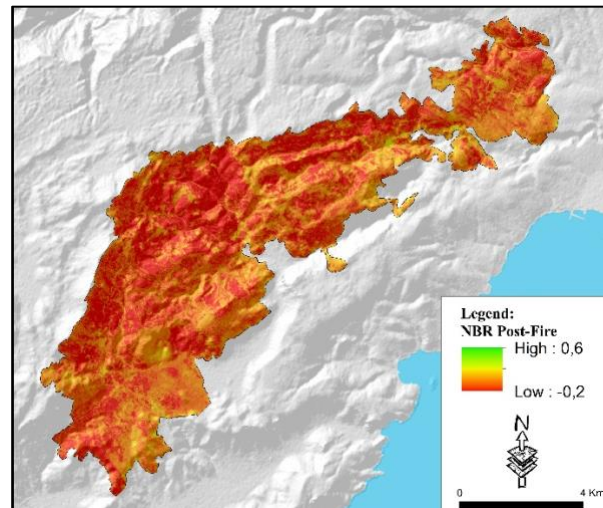


Figure 5 Results of the NBR analysis following the fire (August 15, 2025).

To perform a dSAVI analysis of the fire area, pre- and post-fire SAVI images of the site were obtained (Figures 6 and 7). Values ranged from 0 to 0.8. Overall, the results are consistent with those from the NBR analysis of the images. In these images, where the ground cover is being cleared, significant vegetation loss is observed, except for the southwestern part of the site (Figures 4 and 5). However, vegetation appears more vibrant in the pre-fire SAVI images than in the NBR images (Figures 4 and 6).

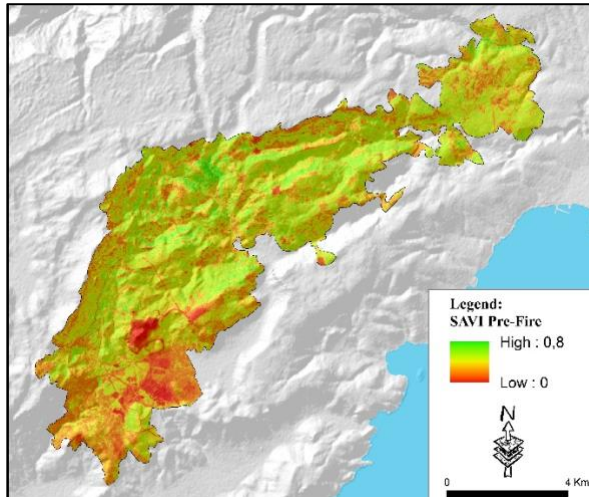


Figure 6 SAVI analysis results prior to the fire (July 23, 2025).

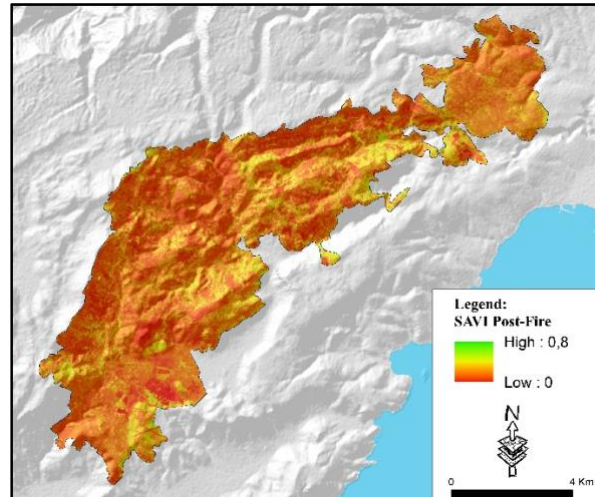


Figure 7 Results of the SAVI analysis following the fire (August 15, 2025).

Based on the evaluations conducted, vegetation loss can be clearly distinguished both in changes observed in raw satellite imagery and in analyses of the NBR and SAVI indices. This indicates not only the spatial disappearance of vegetation but also fundamental changes in the wavelengths reflected to the satellite's sensors. Indeed, the high reflectance exhibited by healthy vegetation in the NIR band has shown a sudden drop following the fire due to changes in chlorophyll. Conversely, the reflectance of the burned trunks, ash, and exposed bare soil in the SWIR band has reached maximum levels. These index analyses lead to two important conclusions. First, this sharp visual distinction caused by vegetation loss minimized the margin of error in the subsequent expert-controlled visual interpretation and digitization process, ensuring the fire boundary was delineated with high accuracy. Additionally, the difference in spectral sensitivity between NBR and SAVI resulted in the dSAVI index producing a higher Overall Accuracy (87%) and Kappa value (0.801) compared to RBR and dNBR in the accuracy analysis. This is because the SAVI-based analysis clearly distinguish how much of the spectral reflectance was due to actual vegetation loss and how much was due to the ground-backscatter effect from the maquis understory.

Spatial distribution and statistical analysis of fire severity classes

Pre-fire and post-fire satellite images of the study area were used to generate dNBR, RBR, and dSAVI images (Figures 8, 9, and 10). The dNBR data, created by subtracting the pre-fire NBR image from the post-fire NBR image, was reclassified according to USGS standards (Key & Benson, 2006). The analysis revealed that four of the classes obtainable according to these standards were present in the study area (Figure 8). In Figure 8, the "Low Intensity" class is prevalent across most of the study area. The extensive green areas covering the southwestern part of the site represent "Unburned" areas. These areas, scattered throughout the site, are particularly located within the fire scar boundaries shown in Figure 3. However, according to the dNBR analysis results, these areas are thought to represent zones that were bypassed by the fire—where the fire could not progress—due to factors such as quarries, buildings, and bare rock surfaces. In contrast, some areas show significant biomass loss. These are the areas represented by "Medium-Low Intensity" and "Medium-High Intensity" on the site. It is observed that the areas represented by "Moderate-Low Intensity" and colored orange are concentrated primarily on valley slopes and in the northern sections where topographic slope increases. The red-colored areas representing the "Moderate-High Intensity" class, however, cover a very limited area. These areas are distributed across a narrow zone, particularly in the northwestern part of the site (Figure 8).

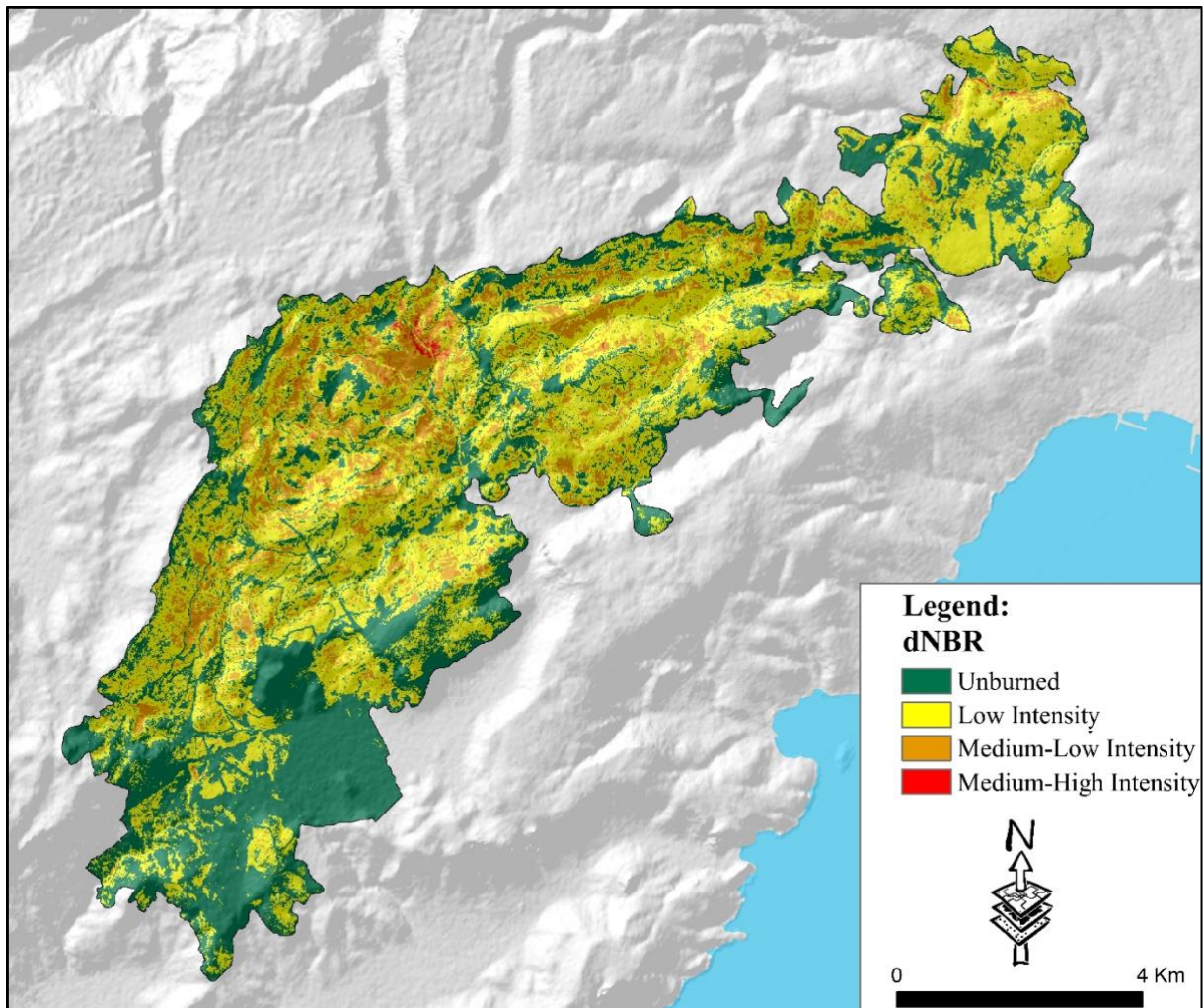


Figure 8 Results of the dNBR analysis of the fire site.

It is observed that the results of RBR, which takes vegetation density in dNBR into account more carefully, largely align with dNBR in the field (Figure 9). However, there are three classes here according to USGS standards. In Figure 9, the “Medium–High Intensity” class is not present. The RBR analysis did not identify this class. According to Figure 9, the classes covering the largest areas in the field are “Unburned” and “Low Intensity.” While “Unburned” areas show parallels with the dNBR map, areas with “Medium-Low Intensity” indicate regions where the impact of the fire has increased to some extent. These areas are also concentrated in the northwestern part of the site (Figure 9).

Despite the sensitivity demonstrated by dNBR and RBR in detecting fire damage in the region, the dSAVI analysis—which attempts to eliminate soil effects—yields very different result (Figure 10). Upon examining the dSAVI results map, it is observed that the “Moderate-High Intensity” category, which occupies a limited area in dNBR and is not detected at all in RBR, covers a much larger area. Additionally, dSAVI has captured “High Severity” areas that were not detected in other analyses. While the “Moderate-High Severity” burned areas are distributed primarily in the northern and northwestern parts of the site, the “High Severity” burned areas are concentrated in a narrow zone in the northwestern part of the terrain. These areas indicate that high fire intensity, particularly in regions where valley systems with increasing slope gradients are concentrated. Areas represented by “Moderate-High Intensity” and “High Intensity” generally concentrate in areas where the topography becomes rugged (Figure 10).

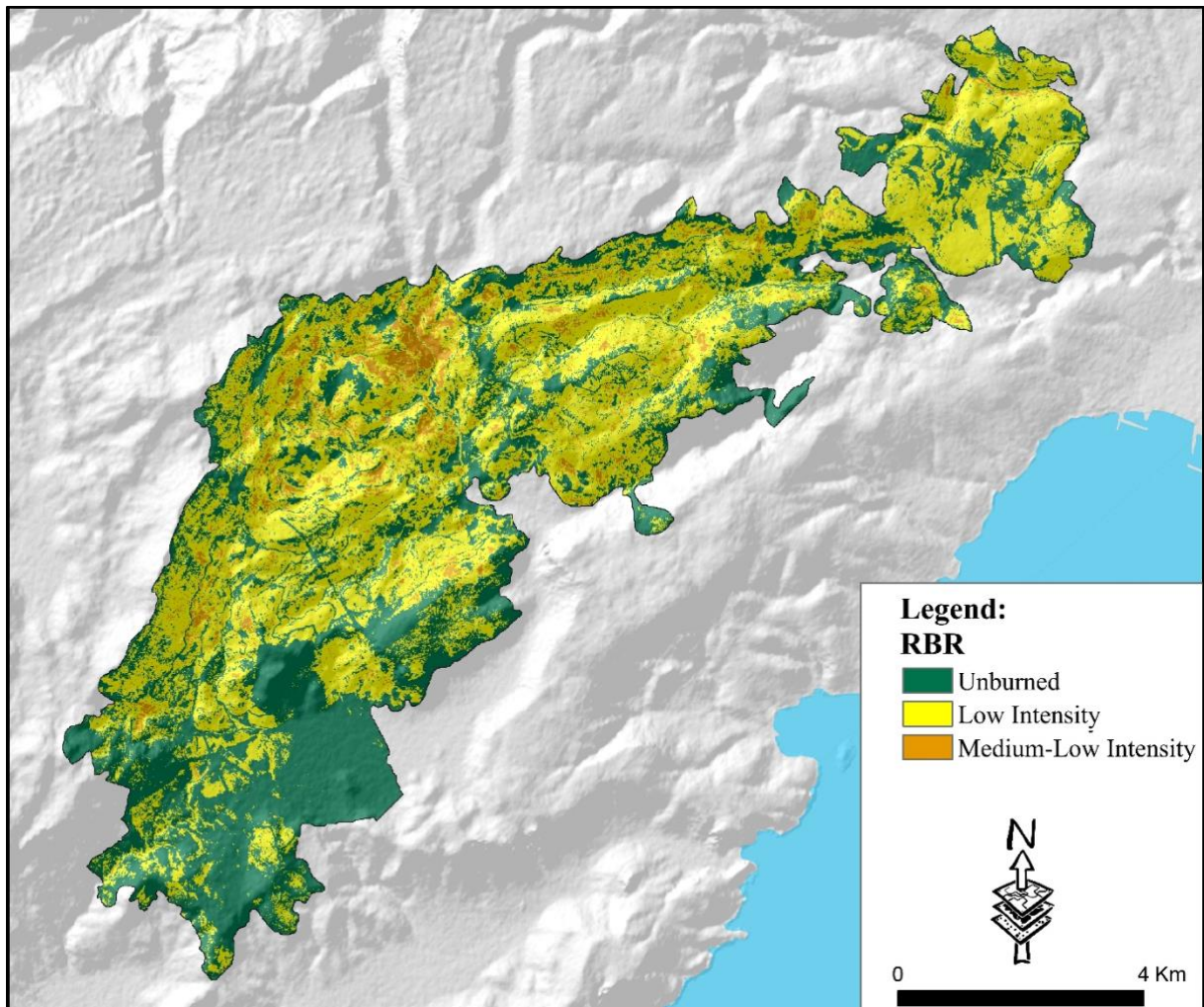


Figure 9 Results of the RBR analysis of the fire area.

The dSAVI result map shows higher values for fire intensity compared to dNBR and RBR. Since dSAVI attempts to minimize ground reflectance, it is believed to better represent the maquis and sparse forest areas within the study area.

A total area of 7,933.64 hectares was affected by fires (Table 3). An examination of the results from the dNBR, RBR, and dSAVI analyses reveals that the largest area affected by fires was concentrated in the “Low Intensity” class. According to dNBR, 49.9% of the area falls into this class, 52.7% according to RBR, and 40.3% according to the dSAVI index. This suggests that although the fires spread over a wide area, its intensity was low. However, upon closer examination of the indices, it is observed that in the “Medium-High Intensity” class, the dNBR covers only 17.34 ha (0.2%), and this class is entirely absent in RBR. In contrast, the same class covers 658.39 ha (8.3%) in the dSAVI analysis. Furthermore, although it does not cover a very large area in the field, the dSAVI analysis reveals that 17.32 ha (0.2%) falls within the “High Intensity” class. Overall, dNBR and RBR are influenced by reflections from the ground cover in areas covered by maquis and sparse forests. This actually gives the impression that areas with higher intensity are included within the “Low Intensity” and “Unburned” categories by these indices. In contrast, the soil correction factor included in the dSAVI index—set at “0.5” in this study—resolves this issue. Consequently, “Unburned” areas have the lowest dSAVI value (27.5%) (Table 3).

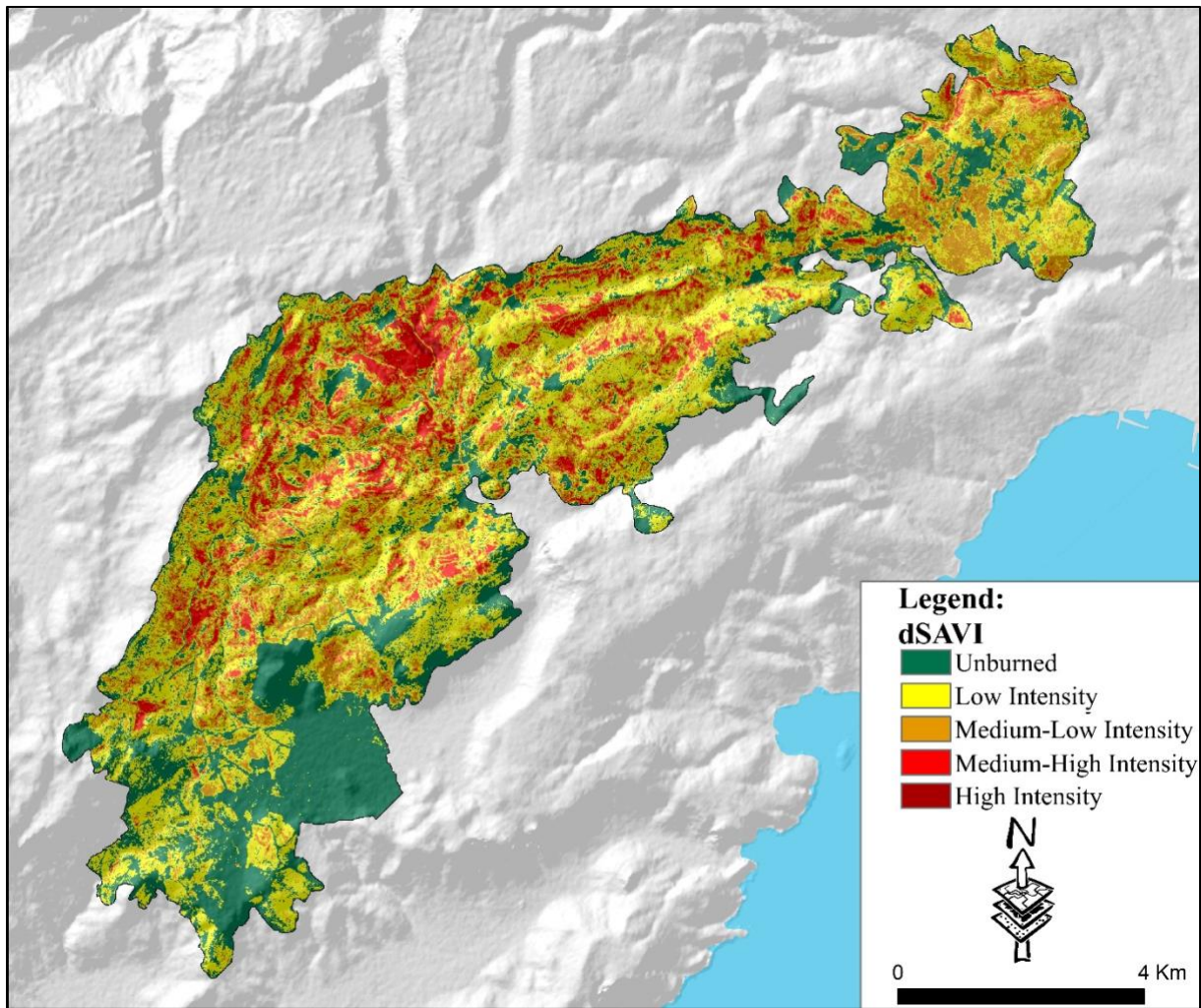


Figure 10 Results of the dSAVI analysis of the fire area.

Table 3 Spatial distributions of the fire area based on dNBR, RBR, and dSAVI analyses.

Fire Intensity Class	dNBR (ha)	dNBR (%)	RBR (ha)	RBR (%)	dSAVI (ha)	dSAVI (%)
Unburned (<0,10)	3047,33	38,4	3396,36	42,8	2179,75	27,5
Low Intensity (0,10-0,27)	3955,18	49,9	4177,27	52,7	3201,18	40,3
Moderate-Low Intensity (0,27-0,44)	913,79	11,5	360,01	4,5	1877	23,7
Moderate to High Intensity (0,44-0,66)	17,34	0,2	(Yok)	0	658,39	8,3
High Intensity (>0,66)	(Yok)	0	(Yok)	0	17,32	0,2
Total Burned Area (ha)	7933,64	100	7933,64	100	7933,64	100

Overall, dNBR and RBR indices were insufficient for resolving the variable vegetation structure in the study area and, consequently, underestimated the extent of damage. In contrast, dSAVI identifies the “Moderate-High Severity” class—which RBR fails to detect at all—over a significant area of 658.39 ha. In the Mediterranean region’s terrain conditions, where vegetation density varies, eliminating soil effects has a critical impact on the accuracy of the analysis.

The data and statistical results obtained also reveal the ecological and socio-economic impacts of the fire in the region. The analysis found that a large portion of the fire-affected area burned at “Low Intensity” and “Medium-Low Intensity” levels, indicating that the maquis and Turkish pine communities were not completely destroyed. Accordingly, it would be more appropriate for OGM teams to allow the ecosystem to regenerate on its own in low-damage areas rather than undertaking costly reforestation and regeneration efforts in the field. This approach ensures the efficient use of public resources and enables the prediction of where and within what timeframe

forest-dependent activities, such as beekeeping, can be revived by the local population. Additionally, the methodological and statistical outputs obtained in this study will serve as a reference for future research. In particular, the high success of the soil-corrected dSAVI index in severity classification suggests that it may be preferred in future studies.

Statistical performance of fire severity indices

Analyses at checkpoints were used to calculate and compare the overall accuracy and Kappa coefficients of dNBR, RBR, and dSAVI (Table 4).

Table 4 Results of the accuracy analysis of combustion intensity data.

Index	Overall Accuracy (%)	Kappa Coefficient(K)	Level of Adaptation (Landis & Koch, 1977)
dNBR	82	0,678	Substantial
RBR	84	0,706	Substantial
dSAVI	87	0,801	Almost Perfect

dNBR achieved an overall accuracy of 82% and a Kappa coefficient of 0.678, indicating a level of agreement classified as “Substantial Agreement” according to the Landis and Koch (1977) reliability scale. Accordingly, the Kappa value is slightly lower than overall accuracy. This is believed to be directly related to the spectral weakness the index exhibits in sparse maquis areas. The dNBR algorithm was negatively affected by the bare soil reflectance exposed after the fire and classified many maquis pixels that had actually sustained low-intensity damage as “Unburned.”

In the relative RBR index, which accounts for pre-fire vegetation density, the overall accuracy increased to 84% and the Kappa value rose to 0.706. The RBR showed only limited improvement compared to dNBR. Nevertheless, the index performance did not reach the level of “Substantial Agreement” (Landis and Koch, 1977, p. 165). However, the RBR correctly classified some pixels that the dNBR had mistakenly identified as ‘Unburned’ into the “Low Intensity” class.

The most robust index in the study was dSAVI. In addition to achieving an overall accuracy of 87%, dSAVI reached the “Almost Perfect” threshold (Landis and Koch, 1977, p. 165) with a Kappa coefficient of 0.801. This superiority of dSAVI stems from its ability to account for the noise generated by areas with sparse vegetation cover in Mediterranean ecosystems. The realistic distribution among classes ensured that the Kappa coefficient reached its highest and most reliable level.

In conclusion, dNBR and RBR tend to underestimate fire intensity in fire-affected areas of the Mediterranean basin, while the dSAVI index achieves the highest classification quality and land cover accuracy.

Conclusions and recommendations

This study comparatively analyzed burn intensities of the forest fires in Mersin-Silifke on July 26 and August 13, 2025, were analyzed comparatively using Sentinel-2 MSI satellite data and various spectral indices, including dNBR, RBR, and dSAVI. The findings reveal that the selection of indices has a critical impact on the accuracy of fire damage assessment studies in the Mediterranean basin.

Pre- and post-fire NBR and SAVI analyses were conducted, dNBR, RBR, and dSAVI analyses were conducted, and the results were reclassified according to USGS standards (Key & Benson, 2006). A total of 7,933.64 hectares was affected by the fire. Although the “Low Intensity” class predominates across the study area, the differences between the indices are notable. dNBR and RBR applied to the site yield similar results. However, fire intensity was underestimated, particularly in areas with maquis and sparse forest cover. Across all indices, the areas most affected by the fire are concentrated in the “Low Intensity” class. In the study area, 49.9% of the

area falls into this class in dNBR, 52.7% in RBR, and 40.3% in dSAVI. Areas classified as “Moderate-High Intensity” according to dNBR and RBR are quite limited in the study area. In contrast, dSAVI—which aims to eliminate soil reflectance—identified a 658.39-hectare (“Medium-High Intensity”) area and a 17.32 ha (“High Intensity”) area in regions classified as “Low Intensity” or “Unburned” by the other indices. The changes in rugged valley areas where topographic slope increases are particularly noteworthy.

The overall accuracy percentages and Kappa coefficients for the dNBR, RBR, and dSAVI indices were calculated. Accordingly, dNBR achieved 82% overall accuracy and a Kappa of 0.678, RBR 84% and 0.706, and dSAVI 87% and 0.801. This demonstrates that dSAVI performs better in areas with sparse vegetation.

In wildfires across the Mediterranean basin, the use of indices such as dNBR and RBR—which focus solely on chlorophyll loss—can lead to misleading results due to varying vegetation density and terrain conditions. Therefore, to improve the accuracy of damage assessment studies and to plan rehabilitation processes more effectively, it is important to include indices such as dSAVI, which account for soil effects, in these studies.

The findings of these analyses yield strategies that are directly applicable to forest fire management, planning, and emergency rehabilitation efforts. Mapping the vast majority of the fire-affected area as having low or moderate-to-low damage intensity using a high-accuracy index such as dSAVI provides OGM teams with a decision-support mechanism. These data suggest that, rather than relying on costly and artificial interventions like reforestation, priority should be given to natural regeneration methods by trusting the area’s ecological memory. This approach will not only reduce planting costs and prevent the waste of public resources but also allow for the spatial planning of where and at what pace vital forestry activities—such as beekeeping—can be revived by local communities.

Declaration of conflict of interest

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Financing

This research received no external funding.

Author contributions

İlter Kutlu HATİPOĞLU: Conceptualization; Methodology; Validation; Verification; Writing—review and editing; Research/Analysis; Data organization; Formal analysis; Draft writing; Visualization.

All authors have read and approved the final published version of the article.

Data accessibility

Data are available from the corresponding author upon reasonable request.

Ethics committee approval and participant consent

No ethics committee approval was required.

The use of artificial intelligence (AI) tools

The authors provide the following statement regarding the use of AI-powered tools in the preparation of this article: no language editing or writing/formatting support was used. AI tools were not used to generate or alter empirical data, produce analysis results, or shape the study’s key findings and conclusions. AI outputs were reviewed and verified by the authors; full responsibility for the integrity, originality, and accuracy of the content rests solely with the authors.

TÜRKÇE SÜRÜM

Giriş

Orman yangınları dünyanın doğal dengesini tehdit eden önemli afetlerdir. Günümüzde orman yangınlarının sıklığı ve şiddeti küresel iklim değişikliğinin de etkisiyle giderek artmaktadır (Güler & Kalkan, 2022, s. 97; Yıldırım vd., 2023, s. 1468; Eyi & Buğdaycı, 2024, s. 348; Yaman & Tunç Görmüş, 2025, s. 316). Artan bu yangınlar doğal ekosistemlerde tahribata yol açmakta, bitki örtüsünü yok etmekte ve toprak yapısını bozmaktadır (Çallı & Özdemir, 2025, s. 24). Ayrıca bu durum erozyon, heyelan ve taşkın gibi başka önemli afetlere de zemin hazırlamaktadır (Çiçekli, 2024, s. 503; Çallı & Özdemir, 2025, s. 24).

Orman yangınlarından sonra yapılan hasar tespiti, yeniden planlama ve rehabilitasyon çalışmaları yanan arazilerin hızlıca geri kazandırılması adına oldukça önemlidir (Karaca & Güllü, 2019, s. 1062; Saylan & Çömert, 2019, s. 9; Yüksel, 2022, s. 161). Bu konuda özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri hassas ve güvenilir sonuçlar vermesi açısından tercih edilmektedir (Karaca & Güllü, 2019, s. 1063). Özellikle uydu tabanlı gözlem sistemleri ile yangın sonrası hasar gören alanların tespiti, yangınların karakteristik özellikleri ve şiddetinin ölçülmesinde etkili bir teknik olarak öne çıkmaktadır (Karaca & Güllü, 2019, s. 1063). Yangın hasarının belirlenmesinde, uydu görüntülerinden türetilen çeşitli spektral indeksler aktif olarak kullanılmaktadır (Chongo vd., 2007, s. 82; Smith vd., 2007, s. 96; Tonbul, 2015, s. 10; Sabuncu & Özener, 2019, s. 322; Polat & Kaya, 2021, s. 173; İban & Şahin, 2022, s. 488; Aksoy & Selim, 2024, s. 5).

Yanmış alanlarda hasar tespiti için geleneksel yöntemlerle yersel ölçümler yapmak fiziksel açıdan zor, maliyetli ve zaman alıcıdır (Saylan & Çömert, 2019, s. 9). Spektral indekslerin kullanılması ise çok daha hızlı, ekonomik ve yüksek doğrulukta veri üretimini mümkün kılmaktadır (Saylan & Çömert, 2019, s. 9; Karaca & Güllü, 2019, s. 1063). Spektral indekslerle elde edilen sonuçlar yalnızca yanan alanın sınırlarının çizilmesinden ibaret değildir. Yanan arazideki farklı şiddet alanlarının tespit edildiği bu çalışmalar, sahada yangın sonrası yaşanabilecek erozyon, heyelan ve taşkın gibi olaylara hassas alanların belirlenmesi için de temel altlık oluşturmaktadır (Venkatesh vd., 2020, s. 1; Çelik, 2023, s.289; Karadağ & Altınkaya, 2025, s. 500). Ayrıca bu analizler, orman ekosisteminin kendini toparlama potansiyelinin anlaşılması ve gençleştirme stratejilerinin doğru önceliklendirilmesi için de önemlidir (Saulino vd., 2020, s. 2).

Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde orman yangınlarının hasar tespitinde genellikle biyokütle kaybına odaklanan Normalize Edilmiş Yanma Oranı İndeksi'nden (NBR) (Key & Benson, 2006) üretilen Fark Normalize Edilmiş Yanma Oranı (dNBR) kullanıldığı görülür (Escuin vd., 2008; García-Llomas vd., 2019; Saulino vd., 2020; Veraverbeke & Hook, 2013). Ayrıca dNBR'nin yeterli olmadığı, seyrek bitki örtüsünün yaygın olduğu sahalardaki yangınları değerlendirmek için yine NBR tabanlı Göreceli Yanma Oranı İndeksi (RBR) (Parks vd., 2014) de tercih edilmektedir (Parks vd., 2018; Konkathi & Shetty, 2019; Viedma vd., 2020). Bitki sağlığını ölçen Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi'nden (NDVI) (Rouse vd., 1973) üretilen Fark Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (dNDVI) de sıkça kullanılmaktadır (Escuin vd., 2008; García-Llomas vd., 2019). Biyokütle kaybına ve bitki sağlığına odaklanan bu indeksler genel olarak iyi performans vermektedirler (Yılmaz vd., 2022, s. 84; Yüksel, 2022, s. 161; Kaynak, 2025, s. 177). Ancak çalışma sahasının da içinde yer aldığı Akdeniz havzası arazilerinde yüzey örtüsü yalnızca ormanlardan oluşmamaktadır. Bu araziler ormanlar, çalılar, çıplak toprak ve kaya yüzeylerinin de yer aldığı yer yer seyrekleşen bir özellik göstermektedir (Atalay, 1994, s. 192). Bu noktada özellikle makilerin baskın olduğu sahalarda, yanma sonrası açığa çıkan spektral yansımanın ne kadarının biyokütle kaybindan ne kadarının ise zemin etkisinden kaynaklandığının ayrıştırılması önemli hale gelmektedir. Bu noktada zemin etkisini minimize eden Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi'nden (SAVI) (Huete, 1988) üretilen Fark Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (dSAVI) gibi indekslerin öne çıktığı

görülmektedir (García-Llamas vd., 2019). Ancak dSAVI ile ilgili çalışmaların literatürde sınırlı sayıda olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple bu çalışmada 2025 Silifke yangınları özelinde dSAVI indeksinin performansının dNBR ve RBR ile eş zamanlı test edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ile hem yerel literatürdeki veri boşluğunun doldurulmasına katkı sağlanmış hem de seyrek bitki örtüsüne sahip Akdeniz havzası arazileri için bir spektral indeks performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Hem Türkiye’de hem de Mersin ili özelinde yaşanan orman yangınlarının sayısı ve yanan alan miktarı gün geçtikçe artmaktadır (Tablo 1 ve 2), (Şahin & Sipahioğlu, 2003; Ertuğrul, 2005, s. 47; Özşahin, 2013, s. 6; Çolak & Sunar, 2018, s. 311; Kahyaoğlu vd., 2021, s. 165; Abay vd., 2022, s. 4; Şahan & Kaya, 2022, s. 6; Usta, 2023, s. 18). Orman Genel Müdürlüğü (OGM) verilerine göre, 1988-2024 yılları arasında toplam 80.896 adet yangın meydana gelmiş ve bu yangınlarda 553.102 hektar alan zarar görmüştür. Özellikle 2021 yılı hem Türkiye genelinde (139.503 ha) hem de Mersin ilinde (9.661 ha) yanan alan miktarı açısından tarihsel bir zirveyi temsil etmektedir.

Tablo 1 Türkiye genelinde yıllara göre orman yangını istatistikleri (1988-2024)

Yıllar	Yangın Sayısı (Adet)	Yanan Alan (Hektar)	Yıllar	Yangın Sayısı (Adet)	Yanan Alan (Hektar)	Yıllar	Yangın Sayısı (Adet)	Yanan Alan (Hektar)
1988	1 372	18 210	2001	2 631	7 394	2013	3 755	11 456
1989	1 633	13 099	2002	1 471	8 514	2014	2 149	3 117
1990	1 750	13 742	2003	2 177	6 644	2015	2 150	3 219
1991	1 481	8 081	2004	1 762	4 876	2016	3 188	9 156
1992	2 117	12 232	2005	1 530	2 821	2017	2 411	11 993
1993	2 545	15 393	2006	2 227	7 762	2018	2 167	5 644
1994	3 239	30 828	2007	2 829	11 664	2019	2 688	11 332
1995	1 770	7 676	2008	2 135	29 749	2020	3 399	20 971
1996	1 645	14 922	2009	1 793	4 679	2021	2 793	139 503
1997	1 339	6 317	2010	1 861	3 317	2022	2 160	12 799
1998	1 932	6 764	2011	1 954	3 612	2023	2 579	15 520
1999	2 075	5 804	2012	2 450	10 454	2024	3 797	27 485
2000	2 353	26 353	2013	3 755	11 456	Toplam	80896	553102

Kaynak: OGM, 2026.

Tablo 2 Mersin Bölge Müdürlüğü’ne tabi alanlarda meydana gelen orman yangınları (2004-2024)

Yıllar	Yangın Sayısı (Adet)	Yanan Alan (Hektar)	Yıllar	Yangın Sayısı (Adet)	Yanan Alan (Hektar)	Yıllar	Yangın Sayısı (Adet)	Yanan Alan (Hektar)
2004	59	24	2012	75	505	2020	87	509
2005	48	14	2013	155	509	2021	89	9 661
2006	50	29	2014	91	79	2022	99	2 118
2007	128	1053	2015	80	282	2023	82	898
2008	93	5080	2016	107	198	2024	107	69
2009	60	80	2017	54	928	Toplam	1813	22686
2010	90	105	2018	71	70			
2011	98	114	2019	90	361			

Kaynak: OGM, 2026.

İstatistiksel verilerin de ortaya koyduğu orman yangınlarındaki artış, yaz aylarında özellikle Akdeniz ve Ege bölgeleri için büyük tehlike oluşturmaktadır (Özşahin, 2013, s. 6; Karaca & Güllü, 2019, s. 1063; Abay vd., 2022, s. 4; Kolukırık vd., 2022, s. 560). Akdeniz Bölgesi’nde yer alan Mersin ili de bu yangınlardan payına düşeni almaktadır (Tablo 2), (Duran, 2014, s. 38; Tonbul vd., 2016, s. 763; Avcı & Boz, 2017, s. 160; İban & Şahin, 2022, s. 487; Şahin, 2022, s. 120; Yüksel, 2022, s. 161; Çelik vd., 2023, s. 116; Olgun, 2024, s.1). Özellikle 2021 yılında saha çevresinde meydana gelen yangınlar bu durumun en somut örneğidir (Şahin, 2022; Çelik vd., 2023). Şahin (2022), 2021 yılında biri Gülnar’da ve ikisi Silifke’de olmak üzere üç afet boyutunda yangın meydana geldiğini bildirmektedir. Bu çalışmaya konu olan 26 Temmuz ve 13 Ağustos 2025 tarihlerinde Silifke’de meydana gelen orman yangınları da Şahin’in (2022) çalışmasında belirtilen Silifke’deki yangın alanlarına komşudur. Bu durum yörenin yangınlara oldukça müsait bir alan

olduğunu göstermektedir. Bunda sahadaki kuraklık ve birikmiş yanıcı madde yükünün etkili olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanı, Türkiye'nin güneyinde, Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Mersin ilinin Silifke ilçesi sınırları içerisinde Akdeniz'e yakın bir sahada yer almaktadır (Görsel 1). Yangınların yaşandığı bu saha yapılan hesaplamalara göre yaklaşık 7933,64 ha'dır. Sahanın doğusunda Silifke şehri ve Göksu Nehri Deltası, batısında Elmalı Dağı, güneybatısında ise Hayvan Dağı yer almaktadır. Kuzeyden Hisar Dağı ve Gedik Dağı ile çevrelenmiş çalışma alanı kabaca Kırtıl Dağı'nın güney ve doğusunda konumlanmıştır. Bölge, tipik Akdeniz ikliminin karakteristiği olan sıcak ve kurak yaz mevsimlerinin etkisi altındadır (Atalay, 1994, s. 142). Ayrıca sahada Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları ve makiler yaygındır (Atalay, 1994, s. 192). Bu klimatolojik koşullar ve hâkim vejetasyon örtüsü sahayı yangınlara karşı oldukça hassas hale getirmektedir.



Görsel 1 Yangın alanının lokasyon haritası.

Bu çalışma ile 2025 Mersin-Silifke orman yangınlarının yangın şiddeti haritalamasında farklı spektral indekslerin (dNBR, RBR ve dSAVI) performansları karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler yangının genel olarak “Düşük Şiddet” ve “Orta-Düşük Şiddet” sınıflarında seyrettiğini gösterse de indeksler arasında belirgin duyarlılık farkları tespit edilmiştir. dNBR ve RBR indeksleri birbirine paralel sonuçlar üretirken, toprak düzeltmeli dSAVI indeksinin özellikle maki formasyonunun ve seyrek orman örtüsünün yayılış gösterdiği alanlarda biyokütle kaybını tespit etmede daha yüksek hassasiyet gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca dSAVI'nin dNBR'ye göre daha geniş bir alanı “Orta-Yüksek Şiddet” sınıfında modellediği görülmüştür. Bu bulgu yer yer seyrek bitki örtüsüne sahip olan Akdeniz ekosistemlerinde, yangın hasar tespit çalışmalarında tek bir indekse bağlı kalınmaması gerektiğini ve dSAVI gibi tamamlayıcı indekslerin analiz doğruluğunu artırdığını ortaya koymaktadır.

Yöntem

2025 yılında Silifke’de art arda meydana gelen orman yangınlarını konu alan bu çalışmada yanan alanın tespiti için yangın öncesini temsilen 23 Temmuz 2025 ve yangın sonrası temsilen 15 Ağustos 2025 tarihli, bulutluluk oranı %10’un altında olan Avrupa Uzay Ajansı’na (ESA) ait Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Analizlerde, atmosferik düzeltmesi yapılmış Seviye-2A (Level-2A) yüzey yansımaları verileri kullanılmıştır. Sentinel-2 görüntülerinin 10 m ve 20

m mekânsal çözünürlüğe sahip farklı bantları bulunmaktadır. Analiz bütünlüğünü sağlamak amacıyla "Nearest Neighbor" enterpolasyon yöntemi kullanılarak bu bantlar 10 m mekânsal çözünürlükte yeniden örneklenmiştir.

Yangın sınırlarının belirlenmesinde, otomatik eşik değerlendirme yöntemlerinin yaratabileceği "karışık piksel" (mixed pixel) ve "yanlış pozitif" (false positive) hatalarını önlemek amacıyla uzman kontrollü görsel yorumlama ve ekrandan sayısallaştırma yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemle spektral yansımaları yangın izleriyle karıştırılabilecek olan topografik gölgeler, koyu renkli kayalar yüzeylerinin doğru ayırt edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Sentinel-2 MSI uydusunun 10 m çözünürlüklü bantları ve farklı kompozitler (B8A-B11-B12 ve B4-B3-B2) kullanılarak çapraz kontrole tabi tutulmuş ve sayısallaştırılmıştır. Her ne kadar yöntem uzmana bağlı subjektiflik riski taşısa da karmaşık arazi dokusunda otomatik sınıflama algoritmalarına göre daha yüksek bir doğruluk verdiği düşünülmektedir (Karaca & Güllü, 2019).

Bu amaçla yangın sonrası (15 Ağustos 2025) görüntüler ile SWIR-NIR-Red bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan False Color görüntüler üzerinde yangın izi belirginleştirilmiştir. Bu izler referans alınarak sayısallaştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve toplam 7933,64 hektarlık çalışma alanı poligonu üretilmiştir. Tüm spektral analizler bu maske sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada yangın şiddetinin haritalanmasında çoklu indeks yaklaşımı benimsenmiştir. İlk olarak uluslararası literatürde yanma şiddeti analizlerinde standart kabul edilen ve biyokütle kaybı ile güçlü korelasyon gösteren (Key & Benson, 2006, s. 26) NBR temel alınarak hesaplanan dNBR temel indeks olarak kullanılmıştır. Ayrıca çalışma sahasındaki bitki örtüsünün yoğun orman alanları, seyrek orman alanları ve makilerden oluştuğu dikkate alınarak RBR ve dSAVI indeksleri de analize dahil edilmiştir. RBR indeksinin özellikle yangın öncesi bitki örtüsü yoğunluğunun düşük olduğu alanlarda dNBR'ye göre daha yüksek doğruluk ve saha verileriyle daha yüksek uyum sağladığını bilinmektedir (Parks vd., 2014, s. 1837). Bu şekilde seyrek vejetasyonda dNBR'de oluşabilecek hassasiyet kaybının RBR ile giderileceği varsayılmıştır. Son olarak çalışmaya yanma şiddetini tespit etmede sıklıkla kullanılan bir diğer spektral indeks olan NDVI (Rouse vd., 1973) temelli dNDVI'nin eklenmesi düşünülmüştür. Ancak sahadaki yer yer seyrekleşen bitki örtüsü yapısı sebebi ile Huete (1988) tarafından geliştirilen Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi (SAVI) temel alınarak hesaplanan dSAVI indeksi eklenmiştir. SAVI çıplak toprak yüzeyinin spektral yansıma üzerindeki yanıltıcı etkisini minimize etmek ve sadece vejetasyonu izleyebilmek için geliştirilmiştir (Huete, 1988).

Yanma şiddetinin tespiti için çalışma kapsamında yangın öncesi ve sonrası görüntülerden elde edilen NBR ve SAVI değerleri kullanılmıştır. Tüm indeksler için değişim fark haritaları hesaplanmış ve sonuçta dNBR, RBR ve dSAVI verilerine ulaşılarak karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yangın çalışmalarında sıklıkla kullanılan spektral indekslerden biri NBR'dir (Karaca & Güllü, 2019; İban & Şahin, 2022; Kaynak, 2025; Yaman & Tunç Görmüş, 2025). NBR, NIR ve SWIR bantlarının kombinasyonu ile hesaplanmaktadır (Key & Benson, 2006, s. 26).

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Yangın şiddetini belirlemek için yangın öncesi ve sonrası NBR değerlerinin farkı alınarak dNBR indeksi oluşturulmuştur. dNBR, yangının ekosistemde yarattığı değişimin derecesini belirlemede ve yanma şiddetini sınıflandırmada temel alınmıştır (Key & Benson, 2006, s. 26).

$$dNBR = NBR_{\text{yangın_öncesi}} - NBR_{\text{yangın_sonrası}}$$

RBR, temel olarak NBR üzerine kurulmuş bir indekstir ve dNBR kullanılarak üretilmektedir. Burada amaç seyrek vejetasyon örtüsünü de hesaba katabilmektir (Parks vd., 2014, s. 1832).

$$RBR = dNBR / NBR_{\text{yangın_öncesi}} + 1,001$$

Çalışmada NDVI ve dNDVI yerine arazinin yer yer seyrek bitki örtüsüne sahne olması sebebi ile SAVI indeksi kullanılmıştır. SAVI, NDVI'ya benzer şekilde hesaplanmakla birlikte formüle bir toprak düzeltme faktörü (L) eklenmektedir. L bitki örtüsünün yoğunluğuna göre 0,25 çok yoğun,

0,5 orta yoğun ve 1 çıplak arazi gibi değerler alır ve bu şekilde topraktan gelen yansıma ortadan kaldırılmaya çalışılır (Huete, 1988, s. 301). Ancak Huete (1988) yoğunluğun tam bilinmediği veya orta derecede yoğun alanlar için 0,5 kullanılmasını önerir. Bu çalışmada da $L=0,5$ olarak alınmıştır.

$$SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + L)] \times (1 + L)$$

(Burada $L = 0,5$ alınmıştır)

dNBR indeksinde olduğu gibi, yangının bitki örtüsü üzerindeki tahribatını netleştirmek amacıyla yangın öncesi ve sonrası SAVI değerleri arasındaki fark hesaplanarak dSAVI indeksi oluşturulmuştur.

$$dSAVI = SAVI_{yangın_öncesi} - SAVI_{yangın_sonrası}$$

Elde edilen dNBR, RBR ve dSAVI görüntülerinin yanma şiddet sınıflarının belirlenmesinde, United States Geological Survey'in (USGS) standart eşik değerleri (Key & Benson, 2006) kullanılmıştır. Buna göre elde edilen indeks verileri "Yanmamış" (<0.10), "Düşük Şiddet" ($0.10-0.27$), "Orta-Düşük Şiddet" ($0.27-0.44$), "Orta-Yüksek Şiddet" ($0.44-0.66$) ve "Yüksek Şiddet" (>0.66) olmak üzere 5 şiddet sınıfına ayrılmıştır.

Yangın öncesi ve sonrası NBR ve SAVI görüntülerinin su yüzeyleri ve derin gölgeler gibi parametrelerden etkilenmemesini sağlamak amacıyla görüntülere histogram germe (stretching) tekniği uygulanmıştır. Böylece öncesi ve sonrası görüntülerde sahadaki biyolojik değişiklik daha net izlenebilmiştir. Son aşamada sınıflandırılan raster veriler vektör formatına dönüştürülmüş, her bir şiddet sınıfının kapladığı alan hektar cinsinden hesaplanmış ve oransal dağılımları analiz edilmiştir.

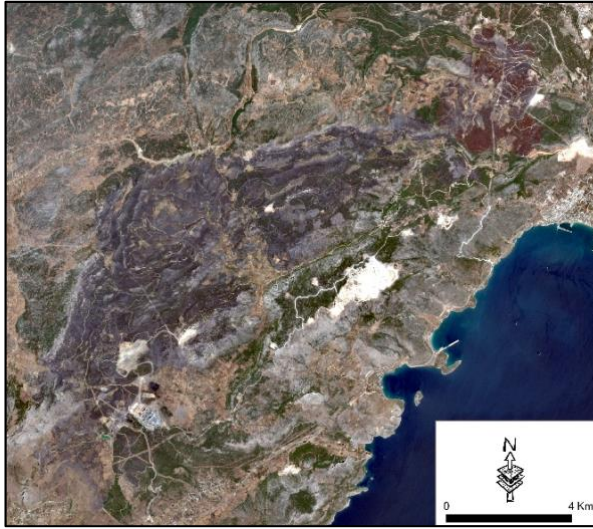
Üretilen dNBR, RBR ve dSAVI yanma şiddeti haritalarının doğruluğunu ve sahadaki güvenilirliğini bilimsel olarak ortaya koyabilmek amacıyla bir doğruluk analizi yapılmıştır. Bu amaçla CBS ortamında rasgele örnekleme yapılarak 100 adet sabit nokta üretilmiştir. Bu noktalar dNBR, RBR ve dSAVI için sabittir. Her bir analiz için rasgele noktalara karşılık gelen USGS standartları (Key & Benson, 2006) baz alınarak üretilen öznitelikler (Yanmamış, Düşük Şiddet, Orta-Düşük Şiddet, Orta-Yüksek Şiddet ve Yüksek Şiddet) tanımlanmıştır. Tanımlanan bu öznitelikler Sentinel-2 uydu görüntüleri ve yangın sonrası renk kompozitleri üzerinden uzman yorumuyla tek tek incelenerek karşılaştırılmış ve hata matrisleri üretilmiştir. Elde edilen hata matrisleri üzerinden indekslerin performansları değerlendirilmiş ve Genel Doğruluk (Overall Accuracy- Po) ve şans faktöründen arındırılmış güvenilirlik ölçütü olan Kappa Katsayısı (Cohen's Kappa- K) hesaplanmıştır. Hesaplanan Kappa katsayılarının istatistiksel anlamlılığı ise Landis ve Koch (1977) skalasına göre yorumlanmıştır.

Bulgular

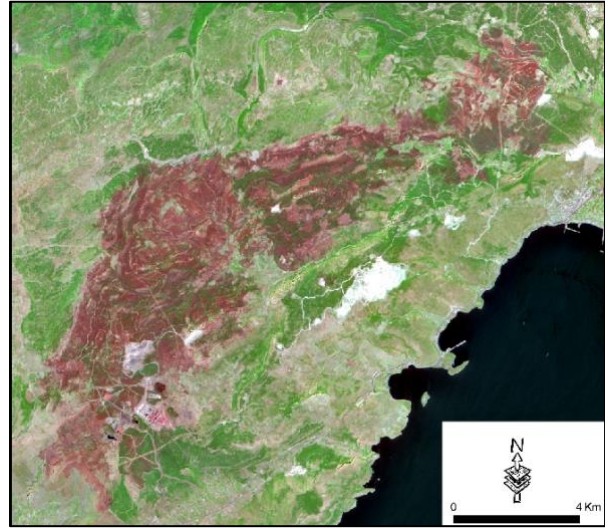
Yangın Öncesi ve Sonrası Görüntülerin Karşılaştırmalı Analizi

Çalışma alanında 26 Temmuz 2025 ve 13 Ağustos 2025 tarihlerinde art arda orman yangınları meydana gelmiştir. İki yangının da sonuçlarını net bir şekilde göstermesi adına yangın öncesini temsilen 23 Temmuz 2025 ve yangın sonrasını temsilen de 15 Ağustos 2025 tarihli Sentinel-2 görüntüleri tercih edilmiştir. Eldeki yangın sonrası görüntü Doğal Renkli (True Color) orijinal görüntü ve Yanlış Renkli (False Color) görüntü olmak üzere iki şekilde yeniden düzenlenmiş ve yangın alanı buna göre sınırlandırılmıştır (Görsel 2 ve 3). Özellikle Görsel 2 incelendiğinde yangının meydana getirdiği tahribatın sınırları net olarak ayırt edilebilmektedir. SWIR (Kısa Dalga Kızılötesi) bandın kullanıldığı bu görüntüde sağlıklı bitki örtüsü parlak yeşil tonlarda izlenirken, yangından etkilenen alanlar yangının şiddetine göre koyu kahverengi ve kırmızı tonlarda izlenebilmektedir. Yer yer beyaz alanların da aralarında bulunduğu bu alanlar yangının doğası gereği yanmadan atlanan sahaları (taş ocakları, binalar, çıplak kaya yüzeyleri vs.) temsil etmektedir. Ayrıca kırmızıdan koyu kahverengiye değişen tonlar da sahadaki topografik yapının,

yangın anındaki hava olaylarının ve sahadaki bitki örtüsü yoğunluğunun farklılaşması ile ilişkilendirilebilir.

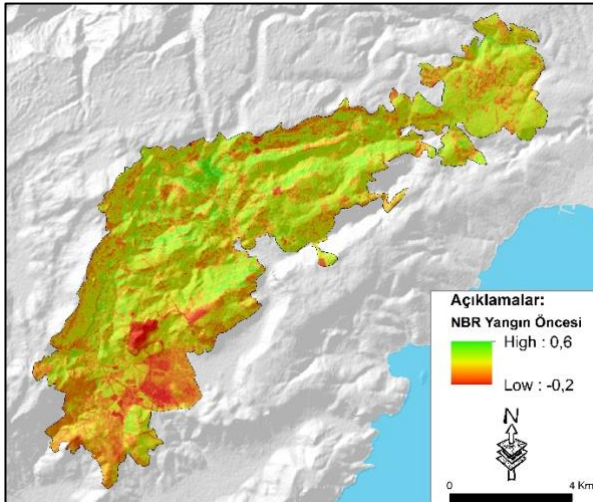


Görsel 2 Yangın sonrası (15 Ağustos 2025) True Color görüntü.

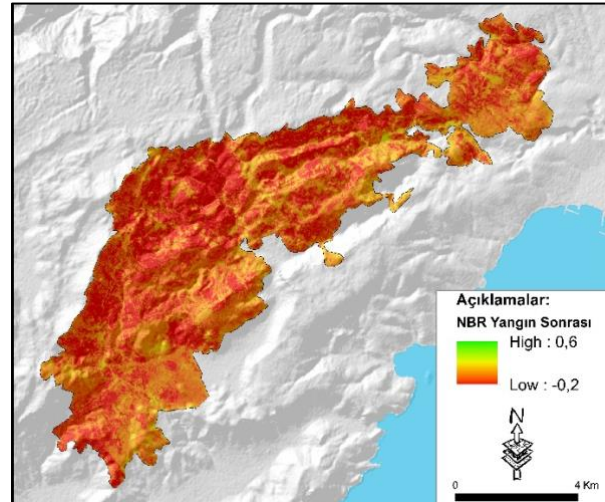


Görsel 3 Yangın sonrası (15 Ağustos 2025) False Color görüntü.

Çalışma alanına ait dNBR ve RBR analizlerinin yapılabilmesi için sahanın yangın öncesi ve sonrası NBR analizleri yapılmıştır (Görsel 4 ve 5). Analiz sonucunda sahada -0,2 ile 0,6 aralığında değerlere ulaşıldığı gözlenmektedir. Buna göre yangın öncesinde sarı ve yeşil tonlar baskın görünmektedir (Görsel 4). Bu durum çalışma sahasının genelinde vejetasyonun sağlıklı olduğunu göstermektedir. Buna karşın yangın sonrası görüntülerle karşılaştırıldığında sahada önemli bir radyometrik değişim olduğu gözlenmektedir (Görsel 4 ve 5). Görüntüler karşılaştırıldığında sahanın hemen genelinde biyokütle kaybının yaşandığı göze çarpar. Sahanın güneybatısı bu durumdan en az etkilenen alan olarak öne çıkmaktadır (Görsel 4 ve 5).



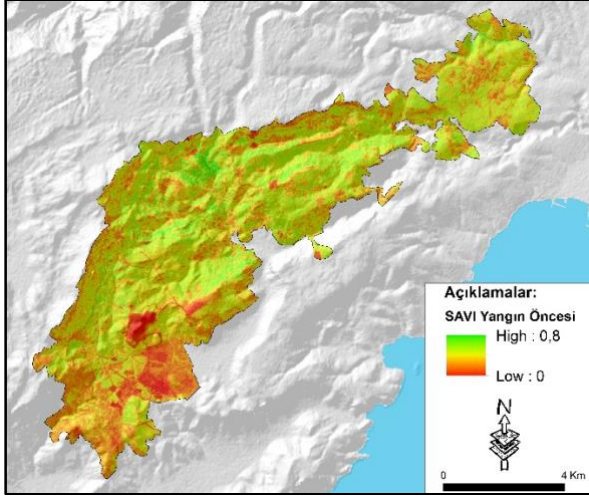
Görsel 4 Yangın öncesi (23 Temmuz 2025) NBR analizi sonucu.



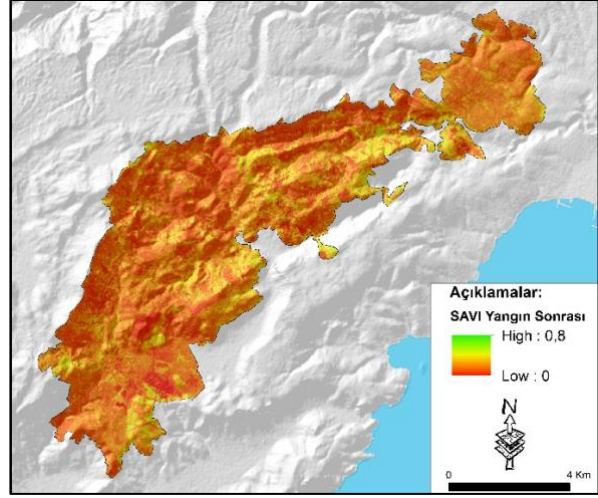
Görsel 5 Yangın sonrası (15 Ağustos 2025) NBR analizi sonucu.

Yangın alanının dSAVI analizinin yapılabilmesi için sahanın yangın öncesi ve sonrası SAVI görüntüleri elde edilmiştir (Görsel 6 ve 7). Analiz sonucunda sahada 0 ile 0,8 aralığında değerler elde edilmiştir. Genel olarak görüntülerin NBR analizlerindeki ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Toprak örtüsünün bertaraf edilmeye çalışıldığı bu görüntülerde de sahanın güneybatısı bir kenara bırakılırsa büyük bir bitki örtüsü kaybı olduğu gözlenir (Görsel 4 ve 5).

Ancak burada yangın öncesi görüntülerde bitki örtüsünün NBR'a oranla daha canlı olduğu da dikkati çekmektedir (Görsel 4 ve 6).



Görsel 6 Yangın öncesi (23 Temmuz 2025) SAVI analizi sonucu.

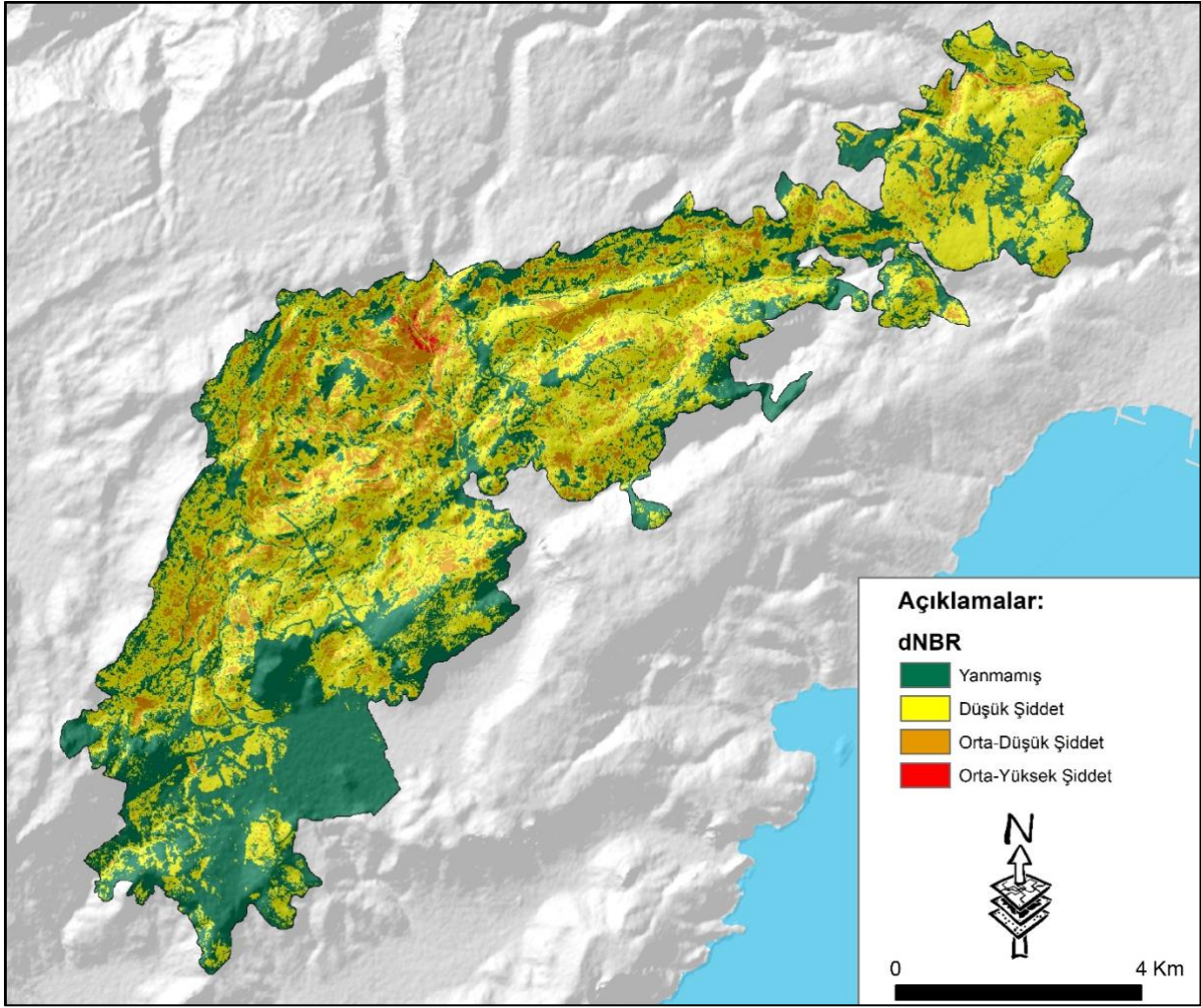


Görsel 7 Yangın sonrası (15 Ağustos 2025) SAVI analizi sonucu.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda gerek ham uydu görüntülerindeki değişimlerde gerekse NBR ve SAVI indekslerinin analizlerinde, vejetasyon kaybı net bir şekilde ayırt edilebilmektedir. Bu durum, sadece alansal bir bitki yok oluşunu değil, uydunun algılayıcılarına yansıyan dalga boylarındaki köklü değişiklikleri göstermektedir. Nitekim sağlıklı bitki örtüsünün NIR bandında gösterdiği yüksek yansıma, yangın sonrasında klorofil değişikliği ile ani bir düşüş göstermiştir. Tam aksi olarak yanan gövde, kül ve açığa çıkan çıplak toprağın SWIR bandındaki yansıması maksimum seviyeye ulaşmıştır. İndeks analizlerindeki bu net tablo, çalışmayı iki önemli sonuca götürmektedir. Öncelikle vejetasyon kaybının yarattığı bu keskin görüntü, sonraki aşamada gerçekleştirilen uzman kontrollü görsel yorumlama ve sayısallaştırma işlemi hata payını minimize ederek yangın sınırının yüksek doğrulukta çizilmesini sağlamıştır. Bunun yanı sıra NBR ve SAVI'deki spektral duyarlılık farkı, doğruluk analizi aşamasında dSAVI indeksinin RBR ve dNBR'ye göre daha yüksek bir Genel Doğruluk (%87) ve Kappa değeri (0,801) üretmesini sağlamıştır. Zira SAVI tabanlı analiz, spektral yansımanın ne kadarının gerçek vejetasyon kaybindan ne kadarının ise maki altından parlayan zemin etkisinden kaynaklandığını net olarak ayırtılabilmektedir.

Yanma Şiddeti Sınıflarının Alansal Dağılımı ve İstatistiksel Değerlendirme

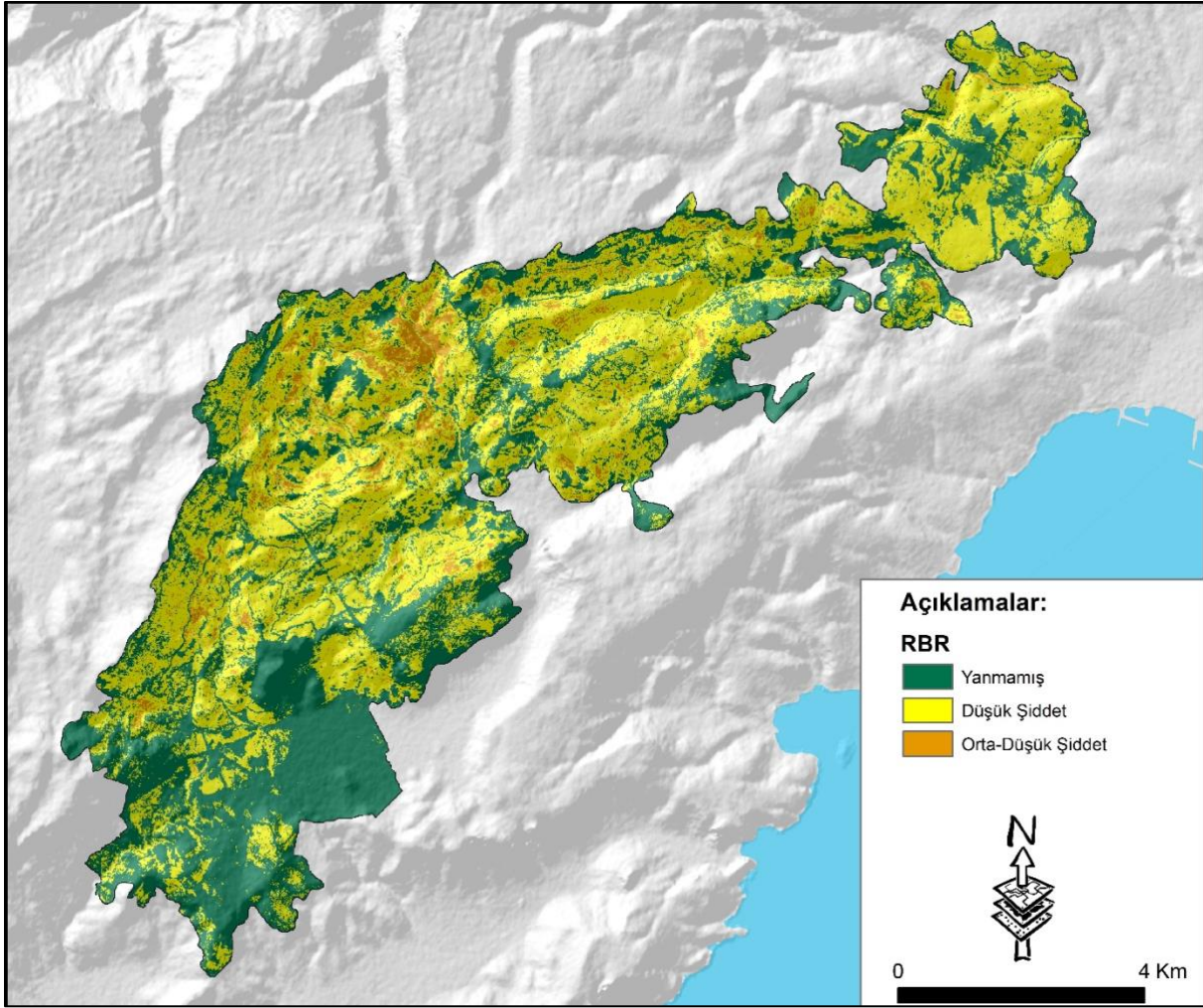
Çalışma alanına ait yangın öncesi ve yangın sonrası uydu görüntüleri kullanılarak dNBR, RBR ve dSAVI görüntülerine ulaşılmıştır (Görsel 8, 9 ve 10). Yangın öncesi NBR ve yangın sonrası NBR görüntülerinin farkı alınarak oluşturulan dNBR verisi USGS standartlarına (Key & Benson, 2006) göre yeniden sınıflandırılmıştır. Analiz sonucunda bu standartlara göre elde edilmesi mümkün olan sınıflardan 4'üne çalışma alanında karşılık bulunmuştur (Görsel 8). Görsel 8 incelendiğinde çalışma alanının büyük bir bölümünde "Düşük Şiddet" sınıfının yayılış gösterdiği görülür. Sahanın güneybatısında geniş alan kaplayan yeşil alanlar ise "Yanmamış" alanları temsil etmektedir. Yer yer sahanın hemen her yerine yayılmış olan bu araziler özellikle Görsel 3'te yangın izi sınırları içinde kalmaktadırlar. Ancak dNBR analiz sonuçlarına göre buralar taş ocakları, binalar, çıplak kaya yüzeyleri vs. sebebi ile yangın sırasında atlanan, yangının ilerleyemediği alanları temsil ettiği düşünülmektedir. Buna karşın sahada biyokütle kaybının önemli miktarlara ulaştığı alanlar da yer almaktadır. Bunlar sahadaki "Orta-Düşük Şiddet" ve "Orta-Yüksek Şiddet" ile temsil edilen alanlardır. "Orta-Düşük Şiddet"le temsil edilen ve turuncu renk ile temsil edilen sahaların daha çok vadi yamaçlarında ve topografik eğimin arttığı kuzey kesimlerde yoğunlaştığı görülür. "Orta-Yüksek Şiddet" sınıfı temsil eden kırmızı renkli sahalar ise oldukça sınırlı bir alana sahiptir. Bu araziler sahanın özellikle kuzeybatısındaki dar bir alanda yayılış göstermektedir (Görsel 8).



Görsel 8 Yangın alanının dNBR analizi sonucu.

dNBR'deki vejetasyon yoğunluğunun daha dikkatle ele alındığı RBR indeksinin sonuçlarının da sahada büyük ölçüde dNBR ile örtüştüğü gözlenmektedir (Görsel 9). Ancak burada USGS standartlarına göre 3 sınıf yer almaktadır. Görsel 9 dikkatli incelendiğinde "Orta-Yüksek Şiddet" sınıfının bu haritada yer almadığı görülür. RBR analizi bu sınıfı tespit etmemiştir. Görsel 9'a göre sahada en geniş alan kaplayan sınıflar "Yanmamış" ve "Düşük Şiddet" sınıflarıdır. "Yanmamış" alanlar dNBR haritası ile paralellik gösterirken, "Orta-Düşük Şiddet"e sahip alanlar yangın etkisinin kısmen arttığı bölgeleri işaret etmektedir. Bu alanlar da sahada kuzeybatı kesimde yoğunlaşmaktadır (Görsel 9).

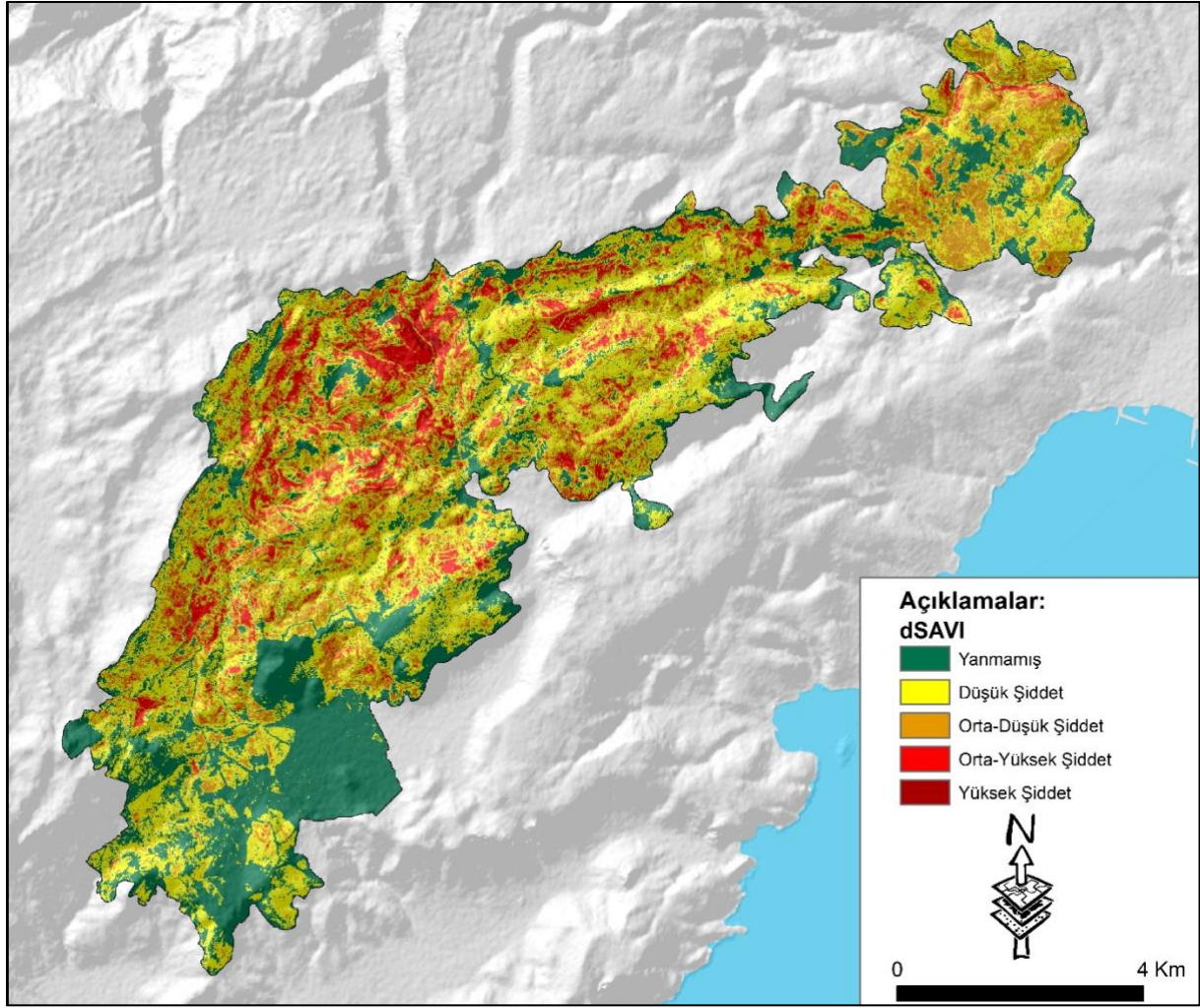
dNBR ve RBR indekslerinin bölgede yangın hasarını tespit etmede gösterdikleri hassasiyete karşın toprak etkisinin ortadan kaldırılmaya çalışıldığı dSAVI analizinde çok farklı bir sonuç ortaya çıkmaktadır (Görsel 10). dSAVI sonuç haritası incelendiğinde dNBR'de sınırlı yer kaplayan ve RBR'de ise hiç tespit edilemeyen "Orta -Yüksek Şiddet" in daha geniş yer kapladığı gözlenmektedir. Ayrıca dSAVI diğer analizlerde tespit edilemeyen "Yüksek Şiddet" alanlarını da yakalamıştır. "Orta-Yüksek Şiddet" ile yanan alanlar sahanın özellikle kuzey ve kuzeybatı kesimlerinde yayılış gösterirken "Yüksek Şiddet" yanmaya uğrayan sahalarda arazinin kuzeybatı kesiminde dar bir alanda dikkati çeker. Bu araziler yanma şiddetinin özellikle eğim değerleri artan vadi sistemlerinin yoğunlaştığı alanlarda yüksek değerlere ulaştığını göstermektedir. "Orta-Yüksek Şiddet" ve "Yüksek Şiddet" ile temsil edilen alanlar genel olarak topografyanın arızalı bir hal aldığı alanlarda yoğunlaşmaktadır (Görsel 10).



Görsel 9 Yangın alanının RBR analizi sonucu.

dSAVI sonuç haritası dNBR ve RBR'ye göre yanma şiddetlerini daha yüksek değerlerle ortaya koymaktadır. Toprakтан yansımanın engellenmeye çalışıldığı dSAVI'de çalışma sahasındaki maki ve seyrek orman alanlarının daha iyi temsil edildiği düşünülmektedir.

Analiz sonuçlarına göre toplam 7933,64 hektarlık alanın yangınlara sahne olduğu gözlenmektedir (Tablo 3). dNBR, RBR ve dSAVI analizlerine ait sonuçlar incelendiğinde yangınlarda en geniş etki alanının "Düşük Şiddet" sınıfında yoğunlaştığı görülür. dNBR indeksine göre sahanın %49,9'u, RBR indeksine göre %52,7'si ve dSAVI indeksine göre ise %40,3'ü bu sınıfta yer almaktadır. Buna göre yangınlar sahada geniş bir alana yayılmasına rağmen şiddetin düşük olduğunu düşündürmektedir. Ancak indeksler daha detaylı incelendiğinde özellikle "Orta-Yüksek Şiddet" sınıfında dNBR'nin sadece 17,34 ha (%0,2) kapladığı, RBR indeksinde ise sınıfın hiç bulunmadığı görülmektedir. Aynı sınıf dSAVI'de 658,39 ha (%8,3) alan kapladığı gözlenmektedir. Dahası sahada çok geniş yer kaplamasa da dSAVI analizinde 17,32 ha (%0,2) alanın "Yüksek Şiddet" sınıfında yer aldığı gözlenmektedir. Tüm bu veriler bir arada değerlendirildiğinde dNBR ve RBR indekslerinin maki ve seyrek ormanla kaplı alanlarda toprak örtüsünden gelen yansımadan etkilendikleri gözlenmektedir. Bu da aslında şiddeti daha yüksek sahaların bu indekslerce "Düşük Şiddet" ve "Yanmamış" alanlar içerisinde dahil edildiği izlenimini vermektedir. Buna karşın dSAVI indeksinde yer alan ve bu çalışmada "0,5" olarak alınan toprak düzeltme faktörünün bu problemi ortadan kaldırdığı düşünülmektedir. Buna bağlı olarak "Yanmamış" arazilerin dSAVI'de en düşük (%27,5) çıktığı gözlenir (Tablo 3).



Görsel 10 Yangın alanının dSAVI analizi sonucu.

Tablo 3 Yangın alanının dNBR, RBR ve dSAVI analizlerine göre alansal dağılımları.

Yanma Şiddet Sınıfı	dNBR (ha)	dNBR (%)	RBR (ha)	RBR (%)	dSAVI (ha)	dSAVI (%)
Yanmamış (<0,10)	3047,33	38,4	3396,36	42,8	2179,75	27,5
Düşük Şiddet (0,10-0,27)	3955,18	49,9	4177,27	52,7	3201,18	40,3
Orta-Düşük Şiddet (0,27-0,44)	913,79	11,5	360,01	4,5	1877	23,7
Orta-Yüksek Şiddet (0,44-0,66)	17,34	0,2	(Yok)	0	658,39	8,3
Yüksek Şiddet (>0,66)	(Yok)	0	(Yok)	0	17,32	0,2
Toplam Yanan Alan (ha)	7933,64	100	7933,64	100	7933,64	100

Tüm istatistiksel veriler ve mekânsal analizler bir arada yorumlandığında dNBR ve RBR indekslerinin çalışma sahasındaki yoğunluğu değişken vejetasyon yapısını çözmekte yetersiz kaldığı ve buna bağlı olarak hasarı olduğundan düşük tahmin ettiği gözlenmiştir. Buna karşın dSAVI özellikle RBR'nin hiç tespit edemediği "Orta-Yüksek Şiddet" sınıfını 658,39 ha gibi önemli bir büyüklükte ortaya çıkarmaktadır. Akdeniz'in vejetasyon yoğunluğu değişken olan arazi şartlarında toprak etkisini elimine etmenin analiz doğruluğu üzerinde kritik etkisi bulunmaktadır.

Elde edilen veriler ve istatistiksel sonuçlar yangının bölgedeki ekolojik ve sosyo-ekonomik etkilerini de ortaya koymaktadır. Analizlerde yangından etkilenen sahanın büyük bölümünün 'Düşük Şiddet' ve 'Orta-Düşük Şiddet' şiddette yandığının tespit edilmesi maki ve kızılçam topluluklarının tamamen yok olmadıklarını göstermektedir. Buna göre OGM ekiplerinin sahada maliyetli olan yeniden dikim ile gençleştirme yerine, düşük hasarlı alanlarda ekosistemin kendi kendini yenilemesini beklemesi daha doğru olacaktır. Bu durum hem kamu kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamakta, hem de bölge halkının arıcılık gibi ormana bağımlı faaliyetlerinin hangi lokasyonlarda ve ne kadar sürede tekrar canlandırılabilceğinin öngörülebilmesini

sağlamaktadır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen metodolojik ve istatistiksel çıktılar, gelecek araştırmalar açısından referans olacaktır. Özellikle toprak düzeltmeli dSAVI indeksinin sınıfsal ayırmada gösterdiği yüksek başarı, gelecek çalışmalarda yöntem olarak tercih edilebileceğini göstermektedir.

Yanma şiddeti indekslerinin istatistiksel performanslarının değerlendirilmesi

Kontrol noktaları üzerinden gerçekleştirilen sorgulamalar sonucunda, dNBR, RBR ve dSAVI indekslerinin genel doğruluk yüzdeleri ve Kappa katsayıları hesaplanarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4 Yanma şiddeti verilerinin doğruluk analizi sonuçları.

İndeks	Genel Doğruluk (%)	Kappa Katsayısı (K)	Uyum Düzeyi (Landis & Koch, 1977)
dNBR	82	0,678	Önemli Derecede Uyum (Substantial)
RBR	84	0,706	Önemli Derecede Uyum (Substantial)
dSAVI	87	0,801	Mükemmel Uyum (Almost Perfect)

Elde edilen bulgulara göre, dNBR indeksi %82 genel doğruluk ve 0,678 Kappa katsayısı ile Landis ve Koch (1977) güvenilirlik skalasına göre "Önemli Derecede Uyum" olarak kabul edilen uyum düzeyine girdiği görülür. Buna göre Kappa değeri genel doğruluğa oranla biraz düşüktür. Bu durumun indeksin seyrek maki alanlarında gösterdiği spektral zafiyetle doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir. dNBR algoritması yangın sonrası açığa çıkan çıplak toprak yansımalarından olumsuz etkilenmiş ve aslında düşük şiddette hasar görmüş birçok maki pikselini "Yanmamış" olarak sınıflandırmıştır.

Yangın öncesi vejetasyon gürlüğünü hesaba katan göreceli RBR indeksinde ise genel doğruluk %84'e ve Kappa değeri ise 0,706'ya yükselmiştir. RBR, dNBR'a kıyasla sınırlı bir iyileşme göstermiştir. Buna rağmen indeks performansı "Önemli Derecede Uyum" (Landis ve Koch, 1977, s. 165) üzerine çıkamamıştır. Ancak RBR, dNBR'ın "Yanmamış" sanarak kaçırıldığı bazı pikselleri "Düşük Şiddet" sınıfına doğru şekilde dahil etmiştir.

Çalışmanın en kararlı indeksi dSAVI olmuştur. dSAVI, %87 genel doğruluk değerine ulaşmasının yanı sıra, 0,801 Kappa katsayısı ile "Mükemmel Uyum" (Almost Perfect) sınırını (Landis ve Koch, 1977, s. 165) yakalamıştır. dSAVI'nin elde ettiği bu üstünlük, Akdeniz ekosistemlerindeki seyrek bitki örtüsüne sahip alanların yarattığı gürültüyü dikkate almasından kaynaklanmıştır. Sınıflar arasındaki gerçeğe yakın dağılım Kappa katsayısının en yüksek ve güvenilir seviyeye ulaşmasını sağlamıştır.

Sonuç olarak, Akdeniz havzasındaki yangın sahalarında dNBR ve RBR indekslerinin yanma şiddetini eksik tahmin etme eğiliminde olduğu, en yüksek sınıflandırma kalitesini ve arazi uyumunu ise dSAVI indeksinin yakaladığı görülmüştür.

Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada 26 Temmuz ve 13 Ağustos 2025 tarihlerinde Mersin-Silifke'de yan yana meydana gelen orman yangınlarının yanma şiddetleri Sentinel-2 MSI uydu verileri ve farklı spektral indeksler olan dNBR, RBR ve dSAVI karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular Akdeniz havzasında yangın hasar tespit çalışmalarında indeks seçiminin doğruluk üzerinde kritik etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Çalışma alanının yangın öncesi ve sonrası NBR ve SAVI analizleri değerlendirilerek, dNBR, RBR ve dSAVI analizleri yapılmış ve sonuç verileri USGS standartlarına (Key & Benson, 2006) göre yeniden sınıflandırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre toplam 7933,64 hektarlık alanın yangından etkilendiği belirlenmiştir. Çalışma sahasının genelinde "Düşük Şiddet" sınıfının baskın olduğu görülse de indeksler arasındaki farklar dikkat çekicidir. Sahaya uygulanan dNBR ve RBR indeksleri birbirine yakın sonuçlara sahiptir. Ancak bu analizlere göre özellikle maki ve seyrek orman örtüsüne sahip alanlarda yanma şiddeti olduğundan daha düşük tahmin edilmiştir. Tüm

indekslerde yangından en fazla etkilenen alanların "Düşük Şiddet" sınıfında yoğunlaştığı görülmektedir. Sahanın dNBR'de %49,9'u, RBR'de %52,7'si ve dSAVI'de ise %40,3'ü bu sınıfa dahil edilmiştir. Sahada dNBR ve RBR'ye göre "Orta-Yüksek Şiddet" sınıfa sahip alanlar oldukça sınırlıdır. Buna karşın toprak yansımaları ortadan kaldırmayı amaçlayan dSAVI diğer indekslerin "Düşük Şiddet" veya "Yanmamış" olarak sınıflandırdığı alanlarda 658,39 hektarlık (%8,3) bir "Orta-Yüksek Şiddet" ve 17,32 hektarlık (%0,2) bir "Yüksek Şiddet" alanı tespit etmiştir. Özellikle topografik eğimin arttığı arızalı vadi alanlarındaki değişim dikkat çekicidir.

dNBR, RBR ve dSAVI indekslerinin genel doğruluk yüzdeleri ve Kappa katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre dNBR indeksi %82 genel doğruluk ve 0,678 Kappa katsayısı, RBR indeksi %84 genel doğruluk ve 0,706 Kappa değeri ve dSAVI ise %87 genel doğruluk ve 0,801 Kappa katsayısına ulaşmıştır. Bu durum dSAVI'nin seyrek bitki örtüsüne sahip alanlarda daha iyi performans verdiğini kanıtlamaktadır.

Akdeniz havzasındaki yangınlarda vejetasyon yoğunluğu değişken arazi şartlarında sadece klorofil kaybına odaklanan dNBR ve RBR gibi indekslerin tek başına kullanımı yanıltıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle hasar tespit çalışmalarının doğruluğunu artırmak ve rehabilitasyon süreçlerini daha sağlıklı planlayabilmek adına, zemin etkisini dikkate alan dSAVI gibi indekslerin de çalışmalara dahil edilmesi önemlidir.

Analizlerin ortaya koyduğu sonuçlar orman yangını yönetimi, planlama ve acil rehabilitasyon çalışmaları açısından doğrudan uygulanabilir stratejiler üretmektedir. Yangından etkilenen sahanın çok büyük bir kısmının düşük ve orta-düşük şiddette hasar gördüğünün dSAVI gibi yüksek doğruluklu bir indeksle haritalanması, OGM ekiplerine karar destek mekanizması sunmaktadır. Bu veri yüksek maliyetli ve yapay bir müdahale olan yeniden dikim yerine, sahanın ekolojik hafızasına güvenilerek doğal gençleştirme yöntemlerinin önceliklendirilmesi gerektiğini önermektedir. Böylece hem dikim maliyetleri düşürülerek kamu kaynakları boşa harcanmayacak hem de yerel halkın arıcılık gibi hayati ormancılık faaliyetlerinin nerelerde ve ne hızla canlandırılabilirdiği mekânsal olarak planlanabilecektir.

Çıkar çatışması beyanı

Çıkar çatışması

Yazarlar, bu çalışmada sunulan araştırmayı etkileyebilecek herhangi bir bilinen finansal çıkar, kurumsal bağlantı ya da kişisel ilişki bulunmadığını beyan eder.

Finansman

Bu araştırma için dış finansman desteği alınmamıştır.

Yazar katkıları

İlter Kutlu HATİPOĞLU: Kavramsallaştırma; Yöntem; Doğrulama; Denetim; Yazım—gözden geçirme ve düzenleme; Araştırma/İnceleme; Veri düzenleme; Biçimsel analiz; Özgün taslak yazımı; Görselleştirme.

Tüm yazarlar makalenin yayımlanan son hâlini okumuş ve onaylamıştır.

Veri erişilebilirliği

Veriler, makul talep üzerine sorumlu yazardan temin edilebilir.

Etik kurul onayı ve katılımcı onamı

Etik kurul onayına gerek yoktur.

Yapay zekâ (YZ) araçlarının kullanımı

Yazarlar, bu makalenin hazırlanması sürecinde yapay zekâ destekli araçların kullanımına ilişkin beyanı aşağıdaki şekilde sunar: dil düzenleme, yazım/biçimlendirme desteği kullanılmadı. Yapay

zekâ araçları, ampirik verilerin üretilmesi/değiştirilmesi, analiz sonuçlarının oluşturulması veya çalışmanın temel bulgularının ve sonuçlarının şekillendirilmesi amacıyla kullanılmamıştır. Yapay zekâ çıktıları yazarlar tarafından kontrol edilmiş ve doğrulanmıştır; içeriğin bütünlüğü, özgünlüğü ve doğruluğuna ilişkin sorumluluk tamamen yazarlara aittir.

Kaynaklar

- Abay, E., Sözüay, K., Şahin, Ö. C., Temel, R. E., Tarhan, Y., & Mıhçıokur, S. (2022). Küresel iklim değişikliği ve orman yangınları ülke ve dünya etkileri. *Sağlık ve Toplum*, 32(3), 3–13.
- Aksoy, E., & Selim, S. (2024). Burned forest area detection in the Manavgat forest fire using NBR and dNBR indices: Manavgat orman yangınında NBR ve dNBR indeksleri kullanılarak yanmış orman alanlarının tespiti. *Journal of International Architectural Sciences*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14563064>
- Atalay, İ. (1994). *Türkiye coğrafyası*. Ege Üniversitesi Basımevi.
- Avcı, M., & Boz, K. (2017). Fire problem, distribution of fires and analysis of important fires in Mersin-Gölnar forests. *Turkish Journal of Forestry*, 18(2), 160–170. <https://doi.org/10.18182/tjf.292769>
- Chongo, D., Nagasawa, R., Ahmed, A. O. C., & 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, 79–88. <https://doi.org/10.1007/s11355-007-0020-5>
- Çallı, R., & Özdemir, E. (2025). Burned area detection and analysis with Sentinel-2 satellite imagery: A case study of İzmir wildfires. *Türkiye Teknik Bilimler ve İnovasyon Dergisi*, 1(1), 24–32.
- Çelik, H. E. (2023). Orman yangınlarının erozyon-sel üzerindeki etkileri. İçinde *Orman yangınları* (ss. 289–301). Türkiye Ormancılar Derneği Yayını.
- 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. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1302553>
- Çiçekli, S. Y. (2024). Yanmış orman alanlarının uzaktan algılama teknikleri ile araştırılması: Kozan orman yangını örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(2), 503–514. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1514595>
- Çolak, E., & Sunar, F. (2018, 18–21 Eylül). Yüzey sıcaklığı ve spektral yanma indekslerinin orman yangını analizinde kullanımı. VII. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018)*, 311–320. <https://doi.org/10.15659/uzalcbs2018.6119>
- Duran, C. (2014). Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001–2013). *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1(1A), 38–49. <https://doi.org/10.17568/oad.87328>
- Ertuğrul, M. (2005). Orman yangınlarının dünyadaki ve Türkiye'deki durumu. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7), 43–50.
- Escuin, S., Navarro, R., & 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. <https://doi.org/10.1080/01431160701281072>
- Eyi, G., & Buğdaycı, İ. (2024). Uzaktan algılama yöntemleri ile yangın şiddetinin tespiti: Yunanistan Rodos Adası orman yangını örneği. *Geomatik*, 9(3), 348–360. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1481708>
- García-Llamas, P., Suárez-Seoane, S., Fernández-Guisuraga, J. M., Fernández-García, V., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Taboada, A., Marcos, E., & Calvo, L. (2019). Evaluation and comparison of Landsat-8, Sentinel-2 and Deimos-1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.006>
- Güler, Ü., & Kalkan, K. (2022). Sentinel-3 verileri ile aktif yangın tespiti ve Sentinel-2 verileri ile doğrulanması. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 3(2), 86–97. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1095460>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

- İban, M. C., & Şahin, E. (2022). Monitoring burn severity and air pollutants in wildfire events using remote sensing data: The case of Mersin wildfires in summer 2021. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 487–497. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1008242>
- Kahyaoglu, N., Güvendi, E., Ertuğrul, M., & Çakır, G. (2021). Küresel iklim değişikliğinde orman yangınlarının 1988–2020 yılları itibarıyla değerlendirilmesi. 4. *Uluslararası Üni-Dokap Sempozyumu Küresel İklim Değişikliği ve Dokap Bölgesine Etkileri Bildiriler Kitabı*, 165–181.
- Karaca, A. C., & Güllü, M. K. (2019). Menderes ilçesindeki orman yangınının süperpiksel bölütleme temelli arama yöntemiyle tespiti. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 1061–1076. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.460503>
- Karadaş, G., & Altınkaya, F. (2025). Orman yangını sonrası peyzaj bozulmalarının mekânsal analizi ve restorasyon stratejilerinin geliştirilmesi: Bursa Orhaneli-Harmancık örneği. *Turkish Journal of Forest Science*, 9(2), 490–504. <https://doi.org/10.32328/turkforsci.1774187>
- Kaynak, T. (2025). Uzaktan algılama ve CBS kullanılarak orman yangınlarının etkilerinin analizi: Taşköprü 2020 orman yangını örneği. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 6(2), 168–180. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1643526>
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment: Ground measure of severity, the composite burn index; and remote sensing of severity, the normalized burn ratio. 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* (Gen. Tech. Rep.; pp. 1–51). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Kolukırık, S., Arslan, D. A., & Gökalp Yılmaz, G. (2022). Orman yangınlarının toplumsal etkileri ve görünümü: Medya paylaşımlarında 2021 Büyük Antalya-Manavgat Yangını. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(2), 560–580. <https://doi.org/10.35341/afet.1086418>
- Konkathi, P., & Shetty, A. (2019). Assessment of burn severity using different fire indices: A case study of Bandipur National Park. In *2019 IEEE Recent Advances in Geoscience and Remote Sensing: Technologies, Standards and Applications (TENGARSS)* (pp. 151–154).
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Olgun, M. (2024). *Silifke'nin (Mersin) "Genel Hayata Etkili Afet Bölgesi" ilan edilmesinin bölgeye etkisi* [Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi]. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Özşahin, E. (2013, 25–27 Eylül). Türkiye'de yaşanmış (1970–2012) doğal afetler üzerine bir değerlendirme. 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*.
- Parks, S. A., Dillon, G. K., & Miller, C. (2014). A new metric for quantifying burn severity: The relativized burn ratio. *Remote Sensing*, 6(3), 1827–1844. <https://doi.org/10.3390/rs6031827>
- Parks, S. A., Holsinger, L. M., Voss, M. A., Loehman, R. A., & Robinson, N. P. (2018). Mean composite fire severity metrics computed with Google Earth Engine offer improved accuracy and expanded mapping potential. *Remote Sensing*, 10(6), Article 879. <https://doi.org/10.3390/rs10060879>
- Polat, N., & Kaya, Y. (2021). Çok bantlı uydu görüntüleriyle orman yangınlarında hasar tespiti. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 172–181. <https://doi.org/10.24011/barofd.837507>
- Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation* (NASA-CR-132982). NASA.
- 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>
- Saulino, L., Rita, A., Migliozi, A., Maffei, C., Allevato, E., Garonna, A. P., & Saracino, A. (2020). Detecting burn severity across Mediterranean forest types by coupling medium-spatial resolution satellite imagery and field data. *Remote Sensing*, 12(4), Article 741. <https://doi.org/10.3390/rs12040741>
- Saylan, İ. H., & Çömert, R. (2019). Sentinel-2A ürünlerinin yanmış orman alanlarının haritalanmasındaki başarının araştırılması. *Turkish Journal of Remote Sensing*, 1(1), 8–15. <https://izlik.org/JA42NX57JW>
- Smith, R., Adams, M., Maier, S., Craig, R., Kristina, A., & Maling, I. (2007). Estimating the area of stubble burning from the number of active fires detected by satellite. *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.011>

- Şahan, C., & Kaya, İ. (2022). Türkiye ve Avrupa ülkeleri orman yangınlarının bazı değişkenler açısından değerlendirilmesi. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 12(1), 1–14. <https://doi.org/10.48146/odusobiad.1013462>
- Şahin, C., & Sipahioğlu, Ş. (2003). *Doğal afetler ve Türkiye*. Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- Şahin, H. (2022, 2–3 Aralık). Mersin ilinde 2021 yılında meydana gelen büyük orman yangınlarının değerlendirilmesi. 2. *International Congress on Environment, Disaster and Forest*, 120–132.
- Tonbul, H. (2015). *Uydu görüntü verileri kullanılarak orman yangın şiddeti ve yangın sonrası durumun zamansal olarak incelenmesi: Akdeniz Bölgesi örneği* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Tonbul, H., Kavzoğlu, T., & Kaya, S. (2016). Assessment of fire severity and post-fire regeneration based on topographical features using multitemporal Landsat imagery: A case study in Mersin, Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 763–769. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B8-763-2016>
- Usta, G. (2023). Afet yönetimi odağında orman yangınlarının değerlendirilmesi. *Afet ve Risk Dergisi*, 6(1), 18–35. <https://doi.org/10.35341/afet.1090658>
- Venkatesh, K., Preethi, K., & Ramesh, H. (2020). Evaluating the effects of forest fire on water balance using fire susceptibility maps. *Ecological Indicators*, 110, Article 105856. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105856>
- Veraverbeke, S., & Hook, S. J. (2013). Evaluating spectral indices and spectral mixture analysis for assessing fire severity, combustion completeness and carbon emissions. *International Journal of Wildland Fire*, 22(5), 707–720. <https://doi.org/10.1071/WF12168>
- Viedma, O., Almeida, D. R. A., & Moreno, J. M. (2020). Postfire tree structure from high-resolution LiDAR and RBR Sentinel 2A fire severity metrics in a *Pinus halepensis*-dominated burned stand. *Remote Sensing*, 12(21), Article 3554. <https://doi.org/10.3390/rs12213554>
- Yaman, Ş., & Tunç Görmüş, E. (2025). Sentinel-2 ve Landsat-8 ile bulut tabanlı orman yangın analizi. *Geomatik*, 10(3), 316–330. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1603707>
- Yıldırım, O., Günay, F. B., & Yağanoğlu, M. (2023). Makine öğrenmesi yöntemleriyle orman yangını tahmini. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(3), 1468–1481. <https://doi.org/10.21597/jist.1249908>
- Yılmaz, B., Demirel, M., & 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.
- Yüksel, K. (2022). Yanan orman alanı tespitinde farklı uzaktan algılama indislerinin değerlendirilmesi: 2022 yılı Mersin (Gülнар) orman yangını örneği. *ArtGRID - Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 4(2), 160–171. <https://doi.org/10.57165/artgrid.1179074>