YÜZEY SICAKLIĞI VE SPEKTRAL YANMA İNDEKSLERİNİN ORMAN YANGINI ANALİZİNDE KULLANIMI

Emre ÇOLAK¹, Filiz SUNAR²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü Lisansüstü Programı, 34469, Maslak, İstanbul, colakem@itu.edu.tr

²Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, fsunar@itu.edu.tr

ÖZET

Türkiye, Akdeniz iklim kuşağında yer alması sebebiyle her yıl yüzlerce orman yangınına maruz kalmaktadır. Ülkemizde son yirmi yılda gerçekleşen orman yangınlarında, 33508 hektarlık orman alanı tahrip olmuştur. Bu durum, Türkiye'nin orman varlığını ve ekosistemini tehdit etmektedir. Yapılan çalışmalar, özellikle kurak bölgelerde ortaya çıkan yüksek yüzey sıcaklığının orman yangınlarını tetiklediğini göstermiştir. Bu çalışmada, 1 Temmuz 2017'de İzmir'in Menderes ilçesinde meydana gelen orman yangını, yangın öncesinde ve sonrasında elde edilen çok zamanlı Landsat 8 uydu verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu amaçla, uydu görüntülerine farklı sınıflandırma algoritmalarının (Maksimum Benzerlik ve Destek Vektör Makinaları) yanı sıra yanan alanın belirlenmesine yönelik geliştirilen farklı spektral indeksler (örneğin Yanan Alan İndeksi (Burn Area Index - BAI), Orta Kızılötesi Yanma İndeksi (Mid Infrared Burn Index - MIRBI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (Normalized Burn Ratio - NBR) ve Normalize Edilmiş Isıl Yanma Şiddeti (Normalized Burn Ratio Thermal - NBRT)) uygulanmıştır. Landsat 8 verisinden oluşturulan yüzey sıcaklığı (T_s) haritası, spektral indeksler ile ilişkilendirilerek korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Landsat, orman yangını, spektral yanma indeksleri, yüzey sıcaklığı

ABSTRACT

USE OF SURFACE TEMPERATURE AND SPECTRAL BURN INDEXES IN FOREST FIRE ANALYSIS

Turkey is exposed to hundreds of forest fires every year due to taking place in Mediterranean climate zone. In last twenty years, 33508 hectares of forest area has been destroyed by forest fires in our country. This situation threatens the existence of Turkey's forests and ecosystem. Studies have shown that high surface temperature, especially in dry regions, trigger forest fires. In this study, the forest fire occurred in Menderes district, İzmir on July 1, 2017 was analysed by using multi temporal Landsat 8 satellite data obtained before and after the fire. For this purpose, different spectral indexes (such as Burn Area Index (BAI), Mid Infrared Burn Index (MIRBI), Normalized Burn Ratio (NBR) and Normalized Burn Ratio Thermal (NBRT)) were applied for the determination of the burned area besides different classification algorithms (Maximum Likelihood and Support Vector Machine). Correlation analysis was performed by correlating surface temperature (T_s) map with spectral burn indexes generated.

Keywords: Landsat, forest fire, spectral burn indexes, surface temperature

1. GİRİŞ

Karasal ekosistemi ve atmosferik sistemi büyük ölçüde etkileyen orman yangınları, ormansızlaşmaya ve sera gaz salınımına sebep olmakta ve insan refahını büyük ölçüde etkilemektedir. Orman yangını yoğunluğuna bağlı olarak, orman ekosistemini küçük veya büyük ölçüde etkileyebilir ayrıca ormanda tür bileşimine ve yapı değişikliklerine neden olabilir (Gonçalves ve Sousa, 2017).

Orman yangınları, dünyadaki birçok orman sisteminde yaygın olmakla birlikte Akdeniz tipi ekosistemleri etkileyen temel faktörlerden biridir. Bu yangınlar; hastalık, böcek, rüzgâr ve don gibi tüm tehlikelerden daha fazla tahribata neden olmaktadır (Gonçalves ve Sousa, 2017). Türkiye, Akdeniz iklim kuşağında yer alması sebebiyle her yıl yüzlerce orman yangınına maruz kalmaktadır (Şekil 1). Özellikle Türkiye'nin Akdeniz ve Ege bölgelerindeki ormanlar hava şartlarından etkilenmektedir (Aktaş vd., 2006). Yüksek sıcaklıklarına ek olarak, bu bölgelerdeki bağıl nem ve rüzgâr hızı da yangını etkileyen önemli parametrelerdir. Orman Genel Müdürlüğü verilerine göre 2016 yılında gerçekleşen 3188 orman yangınının %90'dan fazlası insan faaliyetleri nedeniyle, %10'dan azı ise doğal sebeplerle ortaya çıkmıştır. Bu yangınlar 9156 ha orman alanının yıkımına neden olmuş ve %65'i biyo-çeşitliliği etkileyen verimi yüksek orman alanlarında gerçekleşmiştir.

İnsanların neden olduğu yangınlar temelde kasıtlı ve ihmal olmak üzere ikiye ayrılır (Sunar ve Özkan, 2001). İhmal sonucu gerçekleşen yangınlar daha çok sigara, avlanma ve piknik sebebiyle ortaya çıkmaktadır; diğer yandan terör saldırıları, alan büyütme ve genişletme çoğunlukla kasıtlı yangınların başlıca sebepleridir. Doğal

nedenlerden dolayı meydana gelen yangınlar, bitki örtüsü, hava durumu, iklim ve topoğrafyaya bağlı olarak bir bölgeden diğerine farklılık gösterebilir.

Şekil 1. Türkiye’de yıllık orman yangını sayıları ve yanan alan miktarı (Orman Genel Müdürlüğü, 2018).

Uzaktan algılama, yerel, bölgesel ve küresel ölçeklerde yangın izleme ve haritalama için en pratik ve etkin araçtır. Uzaktan algılamada önemli bir araştırma konusu olan orman yangınları, yeni görüntü analizi teknikleri ile Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) modellerinin geliştirilmesinde ve test edilmesinde kapsamlı bir şekilde kullanılmaktadır. Uzaktan algılama teknikleriyle elde edilen yüzey sıcaklığı verisi, orman yangınlarının değerlendirilmesinde önemli faktörlerden biridir. Orman yangını çalışmaları, yanma şiddetine bağlı olarak yanmış alandaki değişim miktarının yüzey sıcaklığının mekânsal dağılımı ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Vlassova vd., 2014). Yine görüntü işleme teknikleriyle elde edilen ve yanmış orman alanının modellenmesi ve haritalanması için geliştirilmiş indeksler, arazi planlaması, risk değerlendirilmesi, ekosistem yapısının, bileşiminin ve işlevinin değerlendirilmesi için yararlı bilgiler sağlamaktadır (Norton, 2008).

Bu çalışmada, İzmir’in Menderes ilçesinde meydana gelen orman yangınının çevresel sonuçları ve etkileri, orman yangını öncesinde ve sonrasında alınan uzaktan algılama verileriyle analiz edilmiş, yangın öncesi ve sonrası durumu gösteren haritalar amenajman verilerinden faydalananarak üretilmiştir. Bu amaçla, uydu görüntülerine farklı sınıflandırma algoritmalarının yanı sıra yanan alanın belirlenmesine yönelik geliştirilen farklı spektral yanma indeksleri uygulanarak oluşturulan yüzey sıcaklığı (T_s) haritası ile korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

1.1 Çalışma Alanı

Orman yangını, Ege Bölgesi’nde, İzmir Orman Genel Müdürlüğü sınırları içerisinde bulunan Menderes ilçesinde gerçekleşmiştir. 1 Temmuz 2017 tarihinde makilik alanda başlayan yangın 4 gün boyunca 5 Temmuz 2017 tarihine kadar devam etmiştir. Menderes bölgesi çoğunlukla Kızılcām (*Pinus brutia*) ağaç türüyle kaplıdır ve bölgenin yüksekliği 90 m ile 450 m arasında değişmektedir. Eğim ise % 5 - 65 arasındadır. Meteorolojik veriler, (ortalama ve maksimum rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, ortalama bağıl nem (%), ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)) Menderes ilçesinde bulunan meteoroloji istasyonundan elde edilmiştir. Bu verilere göre 1 Temmuz 2017 tarihinde bölgenin ortalama sıcaklığı 35°C iken, maksimum sıcaklık 42°C ’ye ulaşmıştır (Şekil 2). Rüzgâr gün boyunca kuzey ve kuzeydoğudan esmiştir ve ortalama rüzgâr hızı 7 m/s olarak ölçülmüştür. Bölgedeki yüksek hava sıcaklığının ve rüzgâr hızının İzmir, Menderes bölgesindeki orman yangınına tetiklediği düşünülmektedir (Çizelge 1). Bilindiği üzere, 3 - 9 m/s arasında bir hıza sahip olan rüzgârların büyük orman yangınlarına neden olduğu gözlemlenmiştir (Akkaş vd., 2006). Yangın sırasında alandaki ortalama bağıl nem oranı ise % 30 olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 1. Türkiye’de orman yangınına neden olan veya yangını etkileyen meteorolojik parametreler (Akkaş vd., 2006).

Parametreler	Optimum değer	Menderes ilçesi ortalama değer
Sıcaklık	$> 25^{\circ}\text{C}$	35°C
Rüzgâr hızı	3 – 8.8 m/s	7 m/s
Nem	$< \%40$	30%

Şekil 2. Menderes bölgesinin 1 Temmuz 2017 tarihli hava sıcaklığı ve bağıl nem oranı (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2017).

Menderes orman alanı kısmen kayalık bölgeden oluşmaktadır. Bu alanlar da yangından etkilenmiş ancak orman varlığı olarak kabul edilmedikleri için yanan alan sınırına dâhil edilmemiştir (Şekil 3).

Şekil 3. Çalışma alanındaki kayalık bölge.

1.2 Kullanılan Veriler

Orman yangınının analizi için yangından önce ve sonra elde edilen bulutsuz Landsat 8 görüntüleri (sırasıyla 30 Haziran 2017 ve 16 Temmuz 2017) kullanılmıştır. 2013 yılında uzaya fırlatılan Landsat 8 uydusu Operasyonel Yer Görüntüleyicisi (OLI) ve Isıl Kızılötesi Algılayıcısı (TIRS) bantlarına sahiptir (Çizelge 2). Sınıflandırma için 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip 2 ile 7 arasındaki bantlar (görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bölgeleri) kullanılmıştır. Yüzey sıcaklığının belirlenmesinde ise 100 m mekânsal çözünürlüğe sahip TIRS ısı bantları (10 ve 11) kullanılmıştır. Ayrıca yer gerçeği verisi olarak İzmir Orman Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan amenajman ve CBS verileri kullanılmıştır.

Çizelge 2. Landsat 8 OLI & TIRS bant özellikleri (U.S. Geological Survey, 2016).

Bantlar	Dalga boyu (µm)	Mekânsal çözünürlük (m)
B1 - Kıyı/ Aerosol	0.435 - 0.451	30
B2 - Mavi	0.452 - 0.512	30
B3 - Yeşil	0.533 - 0.590	30
B4 - Kırmızı	0.636 - 0.673	30
B5 -Yakın Kızılötesi	0.851 - 0.879	30
B6 - Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 1	1.566 - 1.651	30
B7 - Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR) 2	2.107 - 2.294	30
B8 - Pankromatik	0.503 - 0.676	15
B9 - Sırrus	1.363 - 1.384	30
B10 – Isıl Kızılötesi (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
B11 – Isıl Kızılötesi (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

2. YÖNTEM VE BULGULAR

Orman yangınının sonuçlarını hem niceliksel hem de niteliksel olarak değerlendirmek için farklı görüntü işleme teknikleri (örn. yüzey sıcaklığının belirlenmesi, spektral yanma indeksleri, sınıflandırma, korelasyon analizi vb.) uygulanmıştır.

2.1. Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi

Yüzey sıcaklığının belirlenmesinde mutlak sıfır sıcaklık üzerindeki tüm cisimlerin ısı yayması prensibine dayanan ısı görüntüleme tekniği kullanılmaktadır (Dağlıya vd., 2015). Isıl algılayıcı sistemler, gelen ısı enerjisi, cisimlerin kinetik sıcaklıkları ve yeryüzü yayınlılık (ϵ) değerlerine göre ısıyan sıcaklığı ölçerler (Sunar vd., 2011). Yeryüzü yüzey sıcaklığının belirlenmesi ile ilgili birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar tek pencere (mono – window), bölünmüş pencere (split – window), tek kanal (single channel), sıcaklık – yayınlılık ayırma yöntemi (temperature – emissivity separation) ve yeryüzü yüzey sıcaklığı (land surface temperature) şeklindedir.

Bu çalışmada yüzey sıcaklığının belirlenmesi için Yeryüzü Yüzey Sıcaklığı (Land Surface Temperature) algoritması Landsat 8 için yeniden uyarlanarak kullanılmıştır. Bu yöntemle gerçekleştirilmiş işlem adımları sırasıyla, i) dijital değerlerin (DN) spektral radyans değerlerine dönüştürülmesi, ii) spektral radyans değerlerinin parlaklık sıcaklığı değerlerine dönüştürülmesi, iii) yeryüzü yayınlılık (ϵ) değerlerinin hesaplanması ve iv) son olarak yüzey sıcaklığının hesaplanması şeklindedir (Artis ve Carnahan, 1982; Landsat 8 el kitabı, 2016). Öncelikle dijital değerleri spektral radyans değerine dönüştürülmesi için Eşitlik 1, parlaklık sıcaklığı değerlerinin hesaplanması için ise Eşitlik 2 kullanılmıştır.

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

L_{λ} = Spektral radyans ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)

M_L = Bant için radyans çarpımsal ölçekleme faktörü (metadata dosyasından RADIANCE_MULT_BAND_n)

A_L = Bant için radyans ilave ölçekleme faktörü (metadata dosyasından RADIANCE_ADD_BAND_n)

Q_{cal} = Dijital değer olarak L1 piksel değeri

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

T = Parlaklık sıcaklığı değerleri (K)

L_{λ} = Spektral radyans ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)

$K1$ = Bant için ısı dönüşüm sabiti (metadata dosyasından K1_CONSTANT_BAND_n)

$K2$ = Bant için ısı dönüşüm sabiti (metadata dosyasından K2_CONSTANT_BAND_n)

Yeryüzü yayınlılık (ϵ) değerinin hesaplanmasında Normalize Edilmiş Fark Bitkisi Örtüsü İndeksi (NDVI) kullanılmıştır (Eşitlik 3).

$$NDVI = \frac{Yakın\ kızılötesi\ bant - Kırmızı\ Bant}{Yakın\ kızılötesi\ bant + Kırmızı\ Bant} \quad (3)$$

NDVI indeksi değerleri -1 ile +1 arasında değişiklik göstermektedir. Yeşil bitki örtüsünün bulunduğu alanlarda indeks değeri +1'e doğru yaklaşırken bulut, su ve kar eksi NDVI indeksi değerlerine sahiptir (Sunar vd., 2011). Hesaplanan NDVI indeksi ile bitki örtüsü oranı (proportion of vegetation) P_v hesaplanmıştır (Eşitlik 4) (Giannini vd., 2015).

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{maks} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (4)$$

Burada, 30 Haziran 2017 (yangın öncesi) tarihli Landsat 8 görüntüsü için $NDVI_{maks} = 0.527967$ ve $NDVI_{min} = -0.100044$, 16 Temmuz 2017 (yangın sonrası) tarihli Landsat 8 görüntüsü için $NDVI_{maks} = 0.528892$ ve $NDVI_{min} = -0.1008$ olarak belirlenmiştir. Yeryüzü yayınlılığının (ϵ) belirlenmesi için kullanılan son eşitlik aşağıda verilmektedir (Eşitlik 5) (Gianni vd., 2015).

$$\epsilon = 0.004 \times P_v + 0.986 \quad (5)$$

Değeri 0 ile 1 arasında değişen ve cisimlerin sıcaklıklarının hesaplanmasında önemli bir parametre olan yayınlılık, toplam gelen ışın enerjisinin, yutulan ışın enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır. Nesnelerin yayınlılık değerleri, yayılan ışının dalga boyuna ve bulundukları geometrik konuma göre değişmektedir (Dağlıyar vd., 2015). Son olarak yeryüzü yayınlılık (ϵ) değeri için düzeltilmiş yeryüzü yüzey sıcaklığı (LST) değeri Eşitlik 6'da verilmiştir (Giannini vd., 2015).

$$LST = \frac{T}{1 + \left(\frac{\lambda \times T}{\rho}\right) \times \ln(\epsilon)} \quad (6)$$

T = Parlaklık sıcaklığı değerleri (K)

λ = Yayılan ışının merkez dalga boyu (μm)

$\rho = h \cdot c / \sigma$ ($1.438 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$)

h = Planck sabiti ($6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)

σ = Boltzmann sabiti ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$)

c = Işık hızı ($2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

ϵ = Yeryüzü yayınlılık değeri

Menderes bölgesinde yangın öncesi ve yangın sonrası yüzey sıcaklığı değişiminin (dLST) belirlenmesi için iki yüzey sıcaklığı görüntüsünün farkı alınmıştır (Eşitlik 7).

$$dLST = LST_i - LST_j \quad (7)$$

$dLST$ = Yüzey sıcaklığı değişimi

LST_i = 16.07.2017 tarihli yüzey sıcaklığı görüntüsü

LST_j = 30.06.2017 tarihli yüzey sıcaklığı görüntüsü

Şekil 4'te 30 Haziran 2017 ve 16 Temmuz 2017 tarihli yüzey sıcaklığı haritaları ve iki görüntünün farkının ifade edildiği yüzey sıcaklığı değişimi (dLST) haritası verilmiştir. Menderes orman yangınında yangın sonrası özellikle yanmış alandaki yeryüzü yüzey sıcaklık değerlerinin yanmamış alanlara göre 1 ile 11 C° arasında arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4. Yüzey sıcaklığı haritaları (a) 30 Haziran 2017 (b) 16 Temmuz 2017 (c) Yüzey sıcaklığı değişimi (dLST).

Yangın sonrası elde edilen 16 Temmuz 2017 tarihli yüzey sıcaklığı haritasının özellikle yanmış orman alanındaki 34 – 45 C° arasındaki sıcaklık değerleri dilimlenerek Şekil 5'te ifade edilmiştir.

Şekil 5. 16 Temmuz 2017 tarihli yüzey sıcaklığı haritasının 34 – 45 C° arasındaki değişimi.

2.2. Spektral Yanma İndeksleri

Bantların parlaklık değerleri matematiksel algoritmalarla kullanılarak bazı hedef cisimlerin özellikleri ortaya konulabilmektedir. Bu bağlamda, yangının etkilerini göstermede spektral yanma indeksleri optimum ve etkin bir veri olarak sıkça kullanılmaktadır (Key ve Benson, 2005). Bu amaçla, yangın sonrası alınan uydu görüntülerine yanan alanın belirlenmesine yönelik geliştirilen farklı spektral indeksler, örneğin Yanan Alan İndeksi, Orta Kızılötesi Yanma İndeksi, Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti ve Normalize Edilmiş Isıl Yanma Şiddeti uygulanmaktadır (Key ve Benson, 2005; Holden vd., 2005; Schepers vd., 2014).

Yanan Alan İndeksi (Burn Area Index - BAI):

$$BAI = \frac{1}{(0.1 - \text{Kırmızı bant})^2 + (0.06 - \text{Yakın kızılötesi bant})^2} \quad (8)$$

Orta Kızılötesi Yanma İndeksi (Mid Infrared Burn Index - MIRBI):

$$MIRBI = 10 \times LSWIR - 9.8 \times SSWIR + 2 \quad (9)$$

Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (Normalized Burn Ratio - NBR):

$$NBR = \frac{(\text{Yakın kızılötesi bant} - \text{Kısa dalga kızılötesi bant})}{(\text{Yakın kızılötesi bant} + \text{Kısa dalga kızılötesi bant})} \quad (10)$$

Normalize Edilmiş Isıl Yanma Şiddeti (Normalized Burn Ratio Thermal - NBRT):

$$NBRT = \frac{(\text{Yakın kızılötesi bant} - \text{Kısa dalga kızılötesi bant} \left(\frac{\text{Isıl bant}}{1000} \right))}{(\text{Yakın kızılötesi bant} + \text{Kısa dalga kızılötesi bant} \left(\frac{\text{Isıl bant}}{1000} \right))} \quad (11)$$

Şekil 6'da görüldüğü gibi yanan alanlar, yanmamış alanlardan kolayca (özellikle BAI, NBR ve NBRT spektral yanma indeksleri) (sırasıyla Şekil 6a, 6c ve 6d) ayırt edilebilmektedir. Öte yandan, MIRBI indeksinde yanan orman alanının su alanı ile karıştığı gözlemlenmiştir.

Şekil 6. Spektral yanma indeksleri (a) BAI (b) MIRBI (c) NBR (d) NBRT.

2.3. Yanma Şiddetinin Belirlenmesi

Yanma şiddetinin belirlenmesinde yangın sonrası ve öncesi NBR indeks değerlerinin kullanıldığı dNBR indeksi (Eşitlik 12) kullanılmıştır. Bu indeksin özellikle Akdeniz tipi ormanlık alanlarında yapılan arazi ölçümleriyle uyduğu gözlemlendiğinden yanma şiddetinin değerlendirilmesinde yaygın kullanılan bir indeks hâline gelmiştir (Vlassova vd., 2014). Yangının neden olduğu değişim büyüklüğünün ölçekli bir indeksini (dNBR) oluşturmak amacıyla yangın sonrası NBR veri seti, yangın öncesi NBR veri setinden çıkarılır (Norton, 2008).

$$dNBR = NBR_{yangın\ sonrası} - NBR_{yangın\ öncesi} \quad (12)$$

NBR indeks değerleri teorik olarak -1 ile +1 arasında değişmekteyken dNBR değerleri -2'den +2'ye kadar değişebilir (Hall vd., 2008). Yanma şiddeti seviyesinin belirlenmesinde ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (U.S. Geological Survey) sağladığı tablo kullanılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Yanma şiddeti seviyesi (U.S. Geological Survey, 2016).

dNBR	Yanma şiddeti
-0.1 - +0.1	Yanmamış
0.1 - 0.27	Düşük şiddetli yanma
0.27 - 0.44	Orta-düşük şiddetli yanma
0.44 - 0.66	Orta-yüksek şiddetli yanma
> 0.66	Yüksek şiddetli yanma

Menderes orman yangını öncesi ve sonrası uydu görüntülerinden elde edilen dNBR (yanma şiddeti) haritası Şekil 8'de gösterilmiştir.

Şekil 8. Menderes orman yangını yanma şiddeti haritası.

2.4. Korelasyon Analizi

Literatürde yapılan çalışmalarda yanmış orman alanlarında, yüzey sıcaklığı değişimi (dLST) ve yanma şiddeti (dNBR) arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu bağlamda yüksek yüzey sıcaklığı (LST) yüksek yanma şiddetine, düşük yüzey sıcaklığı ise düşük yanma şiddetine karşılık gelmektedir (Vlassova vd., 2014). Bu çalışmada da Menderes bölgesi için yangın öncesi ve sonrası alınan uydu görüntülerinden elde edilmiş dLST ve dNBR indeks değerleri arasında korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu iki değişken arasındaki korelasyon analiz sonucunda korelasyon katsayısı $R = 0.8138$ olarak bulunmuştur (Şekil 9a). Diğer yandan yangın öncesi ve sonrası için oluşturulan Yanan Alan İndeksi, Orta Kızılötesi Yanma İndeksi ve Normalize Edilmiş Isıl Yanma Şiddeti indekslerinin fark görüntüleri (dBAI, dMIRBI ve dNBRT) alınarak yüzey sıcaklığı değişimi (dLST) değerleri ile korelasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda dLST ve dMIRBI arasında korelasyon katsayısı $R = -0.7520$ (Şekil 9b), dLST ve dNBRT arasında ise korelasyon katsayısı $R = 0.8567$ (Şekil 9c) bulunarak bu indekslerin yüzey sıcaklığı değişimi ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Diğer yandan dLST ve dBAI arasındaki korelasyon katsayısı $R = 0$ bulunmuştur.

Şekil 10. Korelasyon analizi (a) dLST – dNBR (b) dLST – dMIRBI (c) dLST – dNBRT.

2.5. Sınıflandırma

Görüntüdeki pikselleri arazi örtüsü sınıflarına atamak için, çok bantlı uydu verilerine en yaygın görüntü işleme adımı olarak bilinen görüntü sınıflandırması yöntemi uygulanır. Bu çalışmada, yangından etkilenen orman alanlarını gösteren tematik haritaların üretilmesi için 2 farklı kontrollü sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır. Kontrollü sınıflandırmadaki temel yaklaşım, her bir yüzey tipinin temsili olan spektral değerleri tanımlamak için bilinen arazi örtüsü tiplerini örneklemektir. Her piksel, temsili yüzey tipinin sahip olduğu spektral değerlere benzerliğiyle tahmin edilir veya sınıflandırılır (Verbyla, 2000). Bu çalışmada uydu görüntülerini sınıflandırmak için Maksimum Benzerlik ve Destek Vektör Makineleri sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır. Yer gerçeği verisi olarak İzmir Orman Genel Müdürlüğünden temin edilen amenajman ve CBS verileri kullanılmıştır. Çalışma alanında arazi örtüsü/kullanımı sınıfları olarak yanmış orman alanı, orman alanı, çıplak toprak, yerleşim alanı,

maden alanı ve deniz seçilmiştir. Şekil 11a ve 11b’de sırasıyla Maksimum Benzerlik ve Destek Vektör Makineleri sınıflandırma sonuçları verilmiştir.

Şekil 11. Kontrollü sınıflandırma (a) Maksimum Benzerlik (b) Destek Vektör Makineleri.

İzmir Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan arazi çalışması sonrasında elde edilen gerçek yanmış orman alanı 986 ha'dır. Menderes Orman Genel Müdürlüğü sınırları içerisindeki toplam orman alanı 24957 ha'dır. Bu durum yangının toplam orman alanının % 4'ünü yok ettiğini göstermektedir. Maksimum Benzerlik ve Destek Vektör Makineleri sınıflandırma algoritmaları ile haritalanan yanmış orman alanı sırasıyla 911,34 ha ve 997,11 ha olarak bulunmuştur. Maksimum Benzerlik ve Destek Vektör Makineleri sınıflandırma doğrulukları ise sırasıyla % 80.30 ve % 97.52 olarak elde edilmiştir.

3. SONUÇ

Geçmişten günümüze orman yangınları, Türkiye'nin en önemli çevresel sorunlarından biri hâline gelmiştir. Son on yılda ortaya çıkan yaklaşık 25000 orman yangını da bunu kanıtlamaktadır. Uzaktan algılama teknikleriyle elde edilen yeryüzü yüzey sıcaklığı verisi ile farklı spektral yanma indeksleri (örn. Yanan Alan İndeksi, Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti ve Normalize Edilmiş Isıl Yanma Şiddeti vb.), ekosistem gelişimini yönlendiren süreçlerin izlenmesi ve orman yangınından sonra uygulanacak uygun yönetim stratejilerinin geliştirilmesi için önemlidir (Vlassova vd., 2014). Yanma şiddeti ve yüzey sıcaklığı değerleri arasındaki ilişki az sayıdaki çalışmalarda kanıtlanmıştır. Bu durum yüzey sıcaklığının, yangın ve çevre arasındaki korelasyonun yeni teknolojiler yardımıyla ortaya çıkartılmasında ve çevre sorunlarına yönelik yangın riski modellerinin üretilmesinde önemli olmaktadır. Bu bağlamda yangının neden olduğu çevresel, sosyal ve ekonomik sorunları önlemek veya ortadan kaldırmak için gerekli önlemleri almak mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada Menderes bölgesinde gerçekleşen orman yangını, yangın öncesi ve sonrası elde edilen Landsat 8 verileriyle analiz edilmiştir. Her iki görüntünün yüzey sıcaklığı haritası oluşturularak sıcaklık değişimi verisi elde edilmiştir. Bu veri, yangın sonrasında yanan orman alanının yüzey sıcaklığının 1 ile 11 C° arasında arttığını göstermiştir. Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti indeksi ile elde edilmiş yanma şiddeti haritası ile yüzey sıcaklığı değişimi arasında yüksek bir korelasyonun ($R = 0.8138$) olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca diğer spektral yanma indekslerinden elde edilmiş dBAI, dMIRBI ve dNBRT indekslerinin de yüzey sıcaklığı değişimi (dLST) verisi ile korelasyon analizi gerçekleştirilmiş ve bunun sonucunda dMIRBI ve dNBRT indekslerinin de yüzey sıcaklığı değişimi (dLST) verisiyle ilişkili olduğu bulunmuştur. Öte yandan dBAI indeksinin dLST ile bir ilişkisi kurulamamıştır. Sınıflandırma sonrası elde edilen yanmış orman alanı Maksimum Benzerlik ve Destek Vektör Makineleri için sırasıyla 911,34 ha ve 997,11 ha bulunmuştur (gerçek yanmış orman alanı 986 ha'dır). Destek Vektör Makineleri sınıflandırma algoritmasının doğruluğunun daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, orman yangınlarının engellenmesine yönelik farkındalığın artırılmasının yanı sıra ormanların sürdürülebilirliği verimli bir orman yönetimi ile sağlanabilmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada gösterildiği gibi yeni uydu teknolojilerini (uzaktan algılama ve CBS) içeren gelişmiş orman yangını izleme sistemleri orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından çok önemlidir.

TEŞEKKÜR

İzmir Orman Genel Müdürlüğü Bölge Müdürü Sayın Şahin Aybal'a ve Sayın Yusuf Görmez'e amenajman ve CBS verilerinin temini ve destekleri için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akkaş, M.E., Bucak, C., Boza, Z., Eronat, H., Bekereci, A., Erkan, A., Cebeci, C.,** 2006. Büyük orman yangınlarının meteorolojik verilerin ışığında incelenmesi, https://www.cem.gov.tr/erozyon/files/erozyon/yardop.../yangin_meteoroloji_iliskisi_2.doc
- Artis, D. A., Carnahan, W. H.,** 1982. Survey of Emissivity Variability in Thermography of Urban Areas, *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(82\)90043-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8)
- Dağlıyar, A., Avdan, U., Uça Avcı, Z. D.,** 2015. Uzaktan Algılama Verileri Yardımıyla Kahramanmaraş İli Ve Çevresinin Yer Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, Konya.
- Giannini, M.B., Belfiore, O.R., Parente, C., Santamaria, R.,** 2015. Land Surface Temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(3), 83-90, <http://www.jestr.org/downloads/Volume8Issue3/fulltext83122015.pdf>
- Gonçalves A.C., Sousa, A.M.O.,** 2017. The Fire in the Mediterranean Region: A Case Study of Forest Fires in Portugal, *Mediterranean Identities - Environment, Society, Culture*, Prof. Borna Fuerst-Bjeliš (Ed.), InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69410>.
- Hall, R.J., Freeburn, J.T., de Groot, W.J., Pritchard, J.M., Lynham, T.J., Landry, R.,** 2008. Remote sensing of burn severity: experience from western Canada boreal fires, *International Journal of Wildland Fire*, 17(4), 476-489, http://nofc.cfs.nrcan.gc.ca/bookstore_pdfs/28883cannotpostonline.pdf
- Holden, Z.A., Smith, A.M.S., Morgan, P., Rollins, M.G., Gessler, P.E.,** 2005. Evaluation of novel thermally enhanced spectral indices for mapping fire perimeters and comparisons with fire atlas data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(21), 4801-4808, <https://doi.org/10.1080/01431160500239008>
- Key, C.H., Benson, N.C.,** 2005. *Landscape assessment (LA) sampling and analysis methods*. In book: FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. Edition: Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164. Publisher: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT. (Editors: D.C. Lutes, R.E. Keane, J.F. Caratti, C.H. Key, N.C. Benson, S. Sutherland, L.J. Gangi). https://www.fs.fed.us/postfirevegcondition/documents/publications/FIREMON_LandscapeAssessment.pdf
- Norton, J.,** 2008. The Use of Remote Sensing Indices to Determine Wildland Burn Severity in Semiarid Sagebrush Steppe Rangelands Using Landsat ETM + and SPOT 5, https://pdfs.semanticscholar.org/4233/597fb51c5a29b4c282381081fa0a223a7341.pdf?_ga=2.222787999.589094426.1533223500-1622772386.1533223500
- Schepers, L., Haest, B., Veraverbeke, S., Spanhove, T., Borre, J.V., Goossens, R.,** 2014. Burned area detection and burn severity assessment of a heathland fire in Belgium using airborne imaging spectroscopy (apex). *Remote Sensing*, 6(3), 1803-1826. <https://doi.org/10.3390/rs6031803>
- Sunar, F., Özkan, C.,** 2001. Forest fire analysis with remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2265-2277, <https://doi.org/10.1080/014311601300229818>
- Sunar, F., Özkan, C., Osmanoglu, B.,** 2011. *Uzaktan Algılama*, 4. basım, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir. 210 sayfa.
- U.S. Geological Survey,** 2016. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, V 2.0 ed.
- Verbyla, D.L.,** 2000. *Satellite remote sensing of natural resources*, 1. basım, CRC Press LLC, Florida, 224 sayfa.
- Vlassova, L., Cabello, F.P., Mimbero, M.R., Llovera, R.M., Martn, A. G.,** 2014. Analysis of the Relationship between Land Surface Temperature and Wildfire Severity in a Series of Landsat Images, *Remote Sensing*, 6(7), 6136-6162, <https://doi.org/10.3390/rs6076136>