



Çok Bantlı Uydu Görüntüleriyle Orman Yangınlarında Hasar Tespiti

Nizar POLAT^{1*}, Yunus KAYA¹

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 63050, Şanlıurfa

Öz

Uydu verileri, yangın hakkında bilgi sağlayarak hasar tespiti ve iyileştirme çalışmalarına ciddi katkı sunmaktadır. Özellikle çok bantlı uydu sistemleri sayesinde yangın hasarlı alanların kesin bir şekilde belirlenmesi ve hızlı bir şekilde haritalanması mümkün olmaktadır. Özellikle sınıflandırma teknikleri ve spektral bilginin kullanılmasıyla bu tarz çalışmalar küresel ve bölgesel olarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından işletilen Sentinel 2 uydu sistemiyle elde edilen görüntüler kullanılarak Harran Üniversitesi Osmanbey kampüsü ve civarında meydana gelen yangın incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı yangın bölgesini belirlemek, bu bölgeyi hasar seviyesine göre sınıflandırmak ve her hasar sınıfındaki bitki varlığı değişimini tespit etmektir. Bu noktada klasik anlamda denetimli ya da denetimsiz sınıflandırma uygulamak yerine bitki indeksi ve yangın indeksi görüntüleri elde edilerek meydana gelen yangın alanı belirlenmiş ve hasar gören bu alanın kendi içinde maruz kaldıkları hasar seviyeleri belirlenmiştir. Daha sonra her hasar seviyesi ile bitki yoğunluğu incelenerek bitki yoğunluğu seviyelerindeki kayıp belirlenerek haritalandırılmıştır. Çalışma sonucunda toplamda 55 hektar alanın yangından farklı derecelerde hasar gördüğü ve buna bağlı olarak farklı bitki yoğunluğundaki alanlarda kayıplar olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, Sentinel 2, Orman yangını, NDVI, NBR.

Damage Detection in Forest Fires with Multi-Band Satellite Images

Abstract

Satellite data provides information about fire, making a serious contribution to damage assessment and improvement efforts. Especially thanks to the multi-band satellite systems, it is possible to determine the fire damaged areas precisely and to map them quickly. Especially with the use of classification techniques and spectral information, such studies are carried out globally and regionally. In this study, using the images obtained with the Sentinel-2 satellite system operated by the European Space Agency (ESA), Harran University Osmanbey campus and its fire have been examined. The main purpose of the study is to determine the fire zone, classify this zone according to the damage level and determine the change in plant existence in each damage class. At this point, instead of applying supervised or unsupervised classification methods, the fire area occurred by obtaining vegetation index and fire index images, and the damage levels were determined. Later, by examining each damage level and plant density, the loss in plant density levels were determined and mapped. As a result of the study, it was determined that a total of 55 hectares of land was damaged to different degrees from the fire and accordingly there are losses in areas with different vegetation densities.

Keywords: Remote sensing, Sentinel 2, Forest fire, NDVI, NBR.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Nizar POLAT (Dr. Öğr. Üyesi); Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 63050, Şanlıurfa-Türkiye. Tel: +90 (414) 318 3000 (1856), E-mail: nizarpolat@harran.edu.tr ORCID: 0000-0002-6061-7796

Geliş (Received) : 08.12.2020
Kabul (Accepted) : 08.02.2021
Basım (Published) : 15.04.2021

1. Giriş

Yer yüzünün doğal arazi örtüsü kentsel planlamadan sürdürülebilir kalkınmaya, çevresel araştırmalardan doğal kaynakların yönetimine kadar birçok sosyal ve ekonomik olguyu doğrudan ilgilendirmektedir (Aksoy ve Kaptan, 2020). Yangın arazi örtüsünü çok hızlı değiştiren ve sebep olduğu kimyasal değişimle doğal ekosistemlere çok ciddi zarar veren bir faktördür (Thonicke vd., 2001). Yangının başlangıç sebebine bağlı olmakla beraber yangın sayısı ve boyutu doğrudan ilgili bölgenin kuraklık ya da yağış durumu gibi iklimsel koşullarına da bağlıdır (Filipponi, 2018). Olay bazlı durumlarda bazen göz ardı edilse de aslında yangınlar dünya çapında çok önemli bir gaz ve aerosol kaynağıdır (French vd., 2003). Yangınlardan yayılan büyük miktarda duman hava kalitesini etkiler ve küresel ısınmayı artırır. Söz konusu yangın, orman alanlarında olunca durum daha da ciddileşmektedir. En önemli doğal kaynaklardan biri olan ormanlar, ekonomik ve sosyal yaşama doğrudan ve dolaylı olarak katkıda bulunan zengin bir biyolojik çeşitlilik sunmaktadır (Durkaya vd., 2020). Ormanların yangınla tahrip edilmesi doğrudan doğal yaşamın yok edilmesini, çevre kirliliğini, tarihi ve doğal zenginliklerin tahrip edilmesini, sosyal ve ekonomik kazanımların kaybedilmesini de beraberinde getirmektedir (Comert vd., 2019).

Ormanlarda meydana gelen yangınların büyük kısmının insan kaynaklı olduğu bilinmektedir. Yangınları engellemek için yapılan bilinçlendirme ve erken tespit/müdahale çalışmaları dışında yeniden ormanlaştırma çalışmaları da yapılmaktadır. Bu noktada yangının ormanda bıraktığı hasarın şiddetinin (Burn Severity) belirlenmesi ve zarar gören bölgelerin haritalandırılması yeniden ormanlaştırma çalışmaları için çok önemli bir başlangıç noktası sağlamakta ve bu tarz çalışmaların planlanmasını hızlandırmaktadır. Bu tarz bir altlık oluşturmanın klasik yersel çalışmalarla yapılmasının zaman, iş gücü ve bütünsellik anlamında çok zor olduğu bilinmektedir (Sabuncu ve Özener, 2019). Fakat uzaktan algılama (uydu) verileri ile tüm bu problemler aşılmaktadır.

Çok bantlı uydular, hızlı veri sağlayarak yangın şiddeti hakkındaki yersel olarak temin edilen bilgileri desteklemede önemli bir rol oynar. Yangın hasarlı alanları kesin ve hızlı bir şekilde haritalamak için ciddi kolaylık sağlamaktadır (Tonbul, 2015). Yangın hasarlı alanların doğru ve hızlı bir şekilde haritalanması yangın hasar yönetimini destekler, doğal çevrede oluşan zararı görselleştirir, planlama stratejileri ve yangın sonrası bitki örtüsü restorasyon planlamalarına altlık sunar (Filipponi vd., 2018). Uydu görüntülerinin orman yönetimi açısından, yangın sonrası erozyonun tahmini, yenileme planlamasında öncelik belirlenmesi, hasarın ağaç türleri kapsamında sınıflandırılması ve hayvan yaşamının yer üstü ve yer altı etkilerinin incelenmesi konularına da katkısı bulunmaktadır (Cocke vd., 2005; Paysen vd., 2000; Saylan ve Çömert, 2019).

Bilimsel literatürde özellikle çok bantlı optik uydu görüntülerinin yoğun olarak kullanıldığı görülmekte ve yararlı olduğu vurgulanmaktadır (Bıyıklı, 2019; Yiğit ve Kaya, 2020). Bazı özellikli çalışmalar olmakla birlikte temel olarak optik uydu görüntüleri orman yangını potansiyel alanları belirleme, yangından etkilenen alanları doğru bir şekilde belirleme, yangın alanını kendi içinde şiddet/hasar sınıflarını oluşturma ve zamana bağlı olarak yangınları küresel ya da bölgesel ölçeklerde izleme çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır (Chuvieco, 2009).

Yangından etkilenen alanların tespitinde farklı metotlar izlenmiştir. Bazı çalışmalarda yanmış alanlar yangın sonrası elde edilmiş tek görüntü kullanırken bazı çalışmalarda ise yangın öncesi ve sonrasına ait görüntüler kullanılmaktadır (Boschetti vd., 2010; Chuvieco vd., 2018). Spektral yansıtım değerlerine göre karar ağacı, maksimum olasılık ve yapay sinir ağı gibi kontrollü sınıflandırma yaklaşımları da kullanılmaktadır (Brivio vd., 2003; Silva vd., 2005; Kontoes vd., 2009; Giglio vd., 2018). Spektral yansıtım değerlerine göre temel bileşenler analizi ve yörüngesel ayırma teknikleri de orman yangınları için kullanılmaktadır (Patterson vd., 1998; Hudak vd., 2004; Smith vd., 2007). Ayrıca bazı regresyon modelleri ve nesne tabanlı sınıflandırma çalışmaları da literatürde mevcuttur (Mitri vd., 2004; Polychronaki, 2010; Koutsias, 2020). Bunların dışında spektral indeks oluşturma teknikleri de yaygın olarak uygulanmaktadır. Çünkü bu indeksler optik uydu görüntülerinde yangında hasar almış alanların tespitini hızlı ve doğru bir şekilde yapabilmektedir (Smith vd., 2007, Chongo vd., 2007).

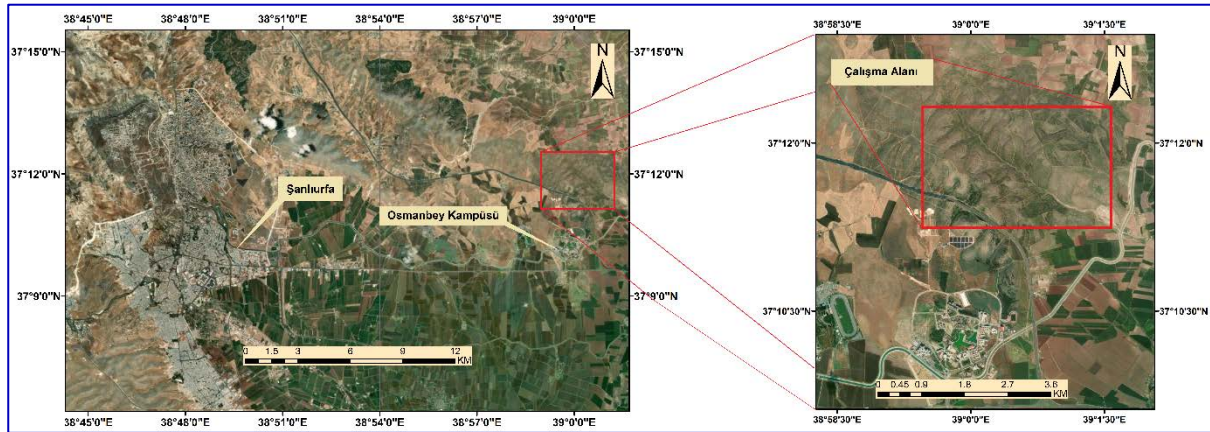
Yapılan bu çalışmanın üç temel amacı vardır. İlki yangının hasar verdiği alanın belirlenmesidir. İkincisi, hasar gören bu alanın hasar seviyesine göre sınıflara ayırmaktır. Sonuncu amaç ise literatürden farklı olarak bu çalışmaya özgünlük katan her hasar seviyesindeki bitki yoğunluğunda meydana gelen değişimi tespit etmektir. Bu kapsamda çok bantlı Sentinel 2 uydu görüntüsü kullanılarak normalize edilmiş yangın oranı indeksi (Normalized Burn Ratio, NBR) ve normalize edilmiş bitki fark indeksi (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) üretilmiş ve yangında hasar görmüş alanlar belirlenmiştir (Key ve Benson, 2006).

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışma Alanı

Harran Üniversitesi Osmanbey kampüsünde bulunan ağaçlandırma alanında 20 Temmuz 2020 tarihinde ciddi bir yangın meydana gelmiştir. Yerden ve havadan yapılan ve 5 saati geçen müdahaleler sonucunda söndürülen yangın, bölgeye ciddi zarar vermiştir. Yangının bıraktığı hasarın tespiti için çalışma alanı olarak Harran Üniversitesi Osmanbey kampüsü olarak belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı.

2.1.1. Kullanılan Veri

Uydu sistemi seçiminde alanın hassas bir şekilde belirlenmesi gerektiği için mekânsal çözünürlük önem arz etmektedir. Ayrıca uydu sisteminin tekrar ziyaret etme süresi de hasar tespiti ve hızlı sonuç alma anlamında büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 2015 yılında fırlattığı Sentinel (Sentinel 2A ve Sentinel 2B) uydu sistemi 10, 20 ve 60 metre mekânsal çözünürlük ve 5 günlük zamansal çözünürlük sağlamaktadır. Çalışmada yangın alanını tespit etmek için yangın öncesi ve yangın sonrası olmak üzere 2 adet Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Sentinel 2 uydu sistemleri bilimsel çalışmalar için ücretsiz erişime de açıktır. Bu konudaki en güncel çalışmalardan biri Dereli (2019) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan veri seti Tablo 1'de görülmektedir.

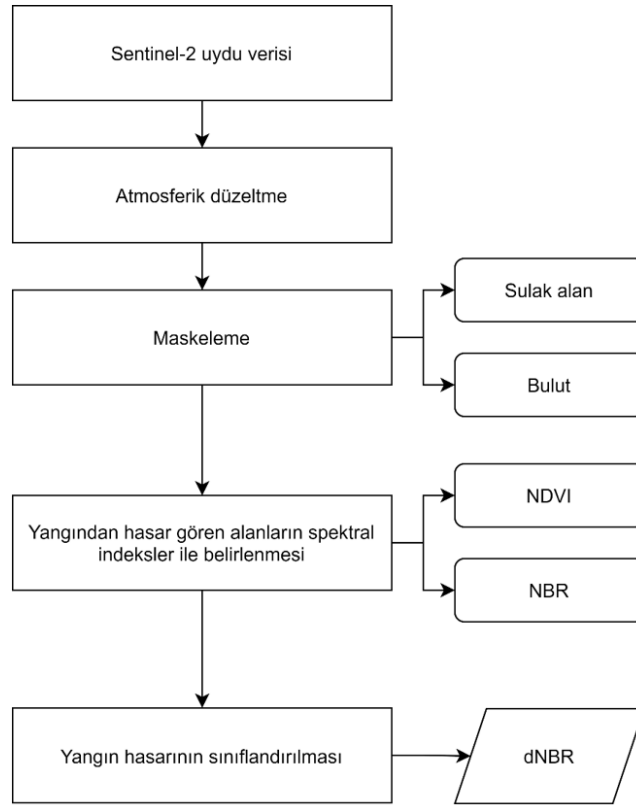
Tablo 1. Çalışma kapsamında kullanılan veri seti.

Durum	Görüntü Tarihi	Görüntü Dosya Adı
Yangın Öncesi	16 Temmuz 2020	S2B_MSIL1C_20200716T080609_N0209_R078_T37 SDB_20200716T101058
Yangın Sonrası	21 Temmuz 2020	S2A_MSIL1C_20200721T080611_N0209_R078_T37 SDB_20200721T105849

Sentinel-2 uydu sisteminde 13 farklı spektral bant bulunmaktadır. Yaklaşık 290 km'lik bir görüş alanını görünür bölge (RGB), yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızıl ötesi (SWIR) aralıklarında tarayarak kaydetmektedir.

2.2. Metot

Çalışma kapsamında elde edilen verilere öncelikle atmosferik düzeltme uygulanmıştır. Daha sonra sulak alanlar ve bulut gibi çalışmanın doğruluğunu etkileyecek objeler belirlenerek maskelenmiştir. Çalışmada yangın hasarı ve etkisi için görsel karşılaştırma dışında iki temel indeks kullanılmıştır. Bu indeksler normalize edilmiş bitki fark indeksi (NDVI) ve normalize edilmiş yangın oranı indeksidir (NBR) (Şekil 2).



Şekil 2. İş akışı.

2.2.1. Normalize edilmiş bitki fark indeksi (NDVI)

Sağlıklı bitki örtüsü (klorofil içeriği sebebiyle) diğer dalga boylarına kıyasla yakın kızıl ötesi (NIR) ve yeşil ışığı daha fazla yansıtır. Ancak kırmızı ve mavi dalgayı daha fazla emer. NDVI bu bantlar arasındaki farkı oranlayarak bitki örtüsünü yoğunluğunu ölçmektedir. NDVI aşağıdaki şekilde hesaplanır (Eşitlik 1).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

2.2.2. Normalize edilmiş yangın oranı indeksi (NBR)

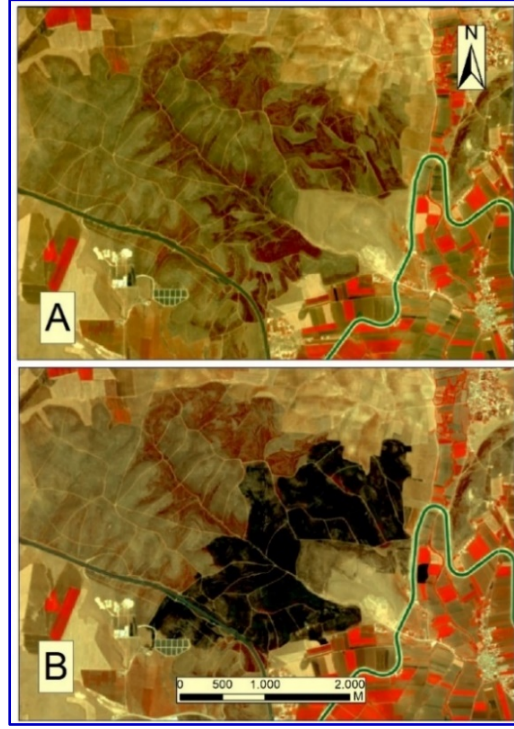
Sağlıklı bitki örtüsü, kızıl ötesi (NIR) bölgede çok yüksek yansımaya ve kısa dalga bölgede (SWIR) düşük yansımaya gösterir. Son zamanlarda yanmış alanlar ise kızıl ötesi bölgede düşük yansımaya ve kısa dalga bölgede yüksek yansımaya gösterir. Yani sağlıklı bitki örtüsünün ve yanmış alanların spektral tepkileri arasındaki fark kızıl ötesi ve kısa dalga bölgede zirveye ulaşır. Temelde bir oran olan NBR aşağıdaki şekilde hesaplanır (Eşitlik 2).

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (2)$$

NBR indeksi yangın önce ve yangın sonrası için hesaplanarak fark görüntüsü (dNBR) elde edilir. Böylece yangının verdiği hasar tematik olarak düşük, orta, yüksek gibi yanık şiddet katmanını oluşturmak için kullanılır.

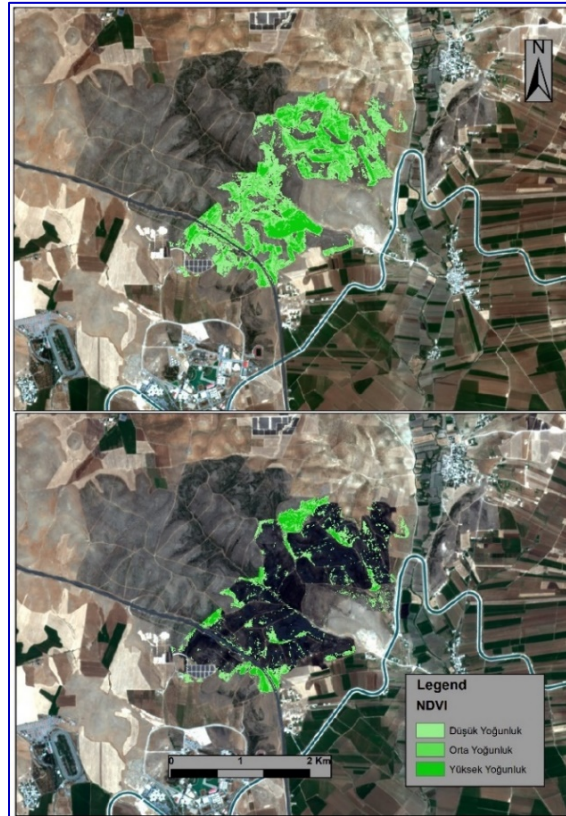
3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında metodoloji bölümünde bahsedilen indeksler yangın öncesi ve sonrası için üretilmiştir. Fakat indekslerin analizinden önce görsel analiz yapılmıştır. Bu kapsamda yangın öncesi ve sonrasına ait görüntüler karşılaştırılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Bölgenin yangın öncesi (A) ve sonrasına (B) ait uydu görüntüleri. RGB Bant kombinasyonu: NIR,G,B.

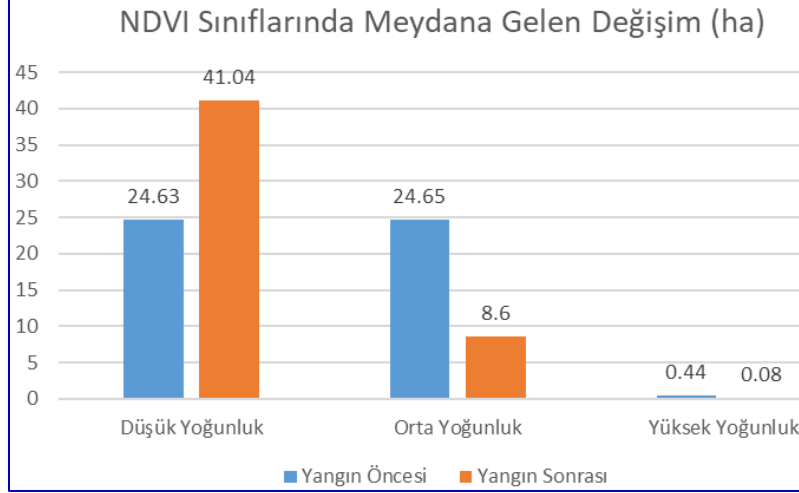
Kırmızı renkler bitki örtüsünü göstermektedir. Ağaçlandırma bölgesinden başlayan ve otoyolda Şanlıurfa-Mardin bağlantı yolunu da aşarak kampüse ait güneş enerjisi panellerine kadar uzanan yangının etkilediği geniş alan açıkça görülmektedir. Bölgenin doğusunda sulama kanalının diğer tarafında kalan yanmış bölge bu çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır.



Şekil 4. Yangın öncesi (A) ve sonrasına (B) ait sınıflandırılmış NDVI görüntüleri.

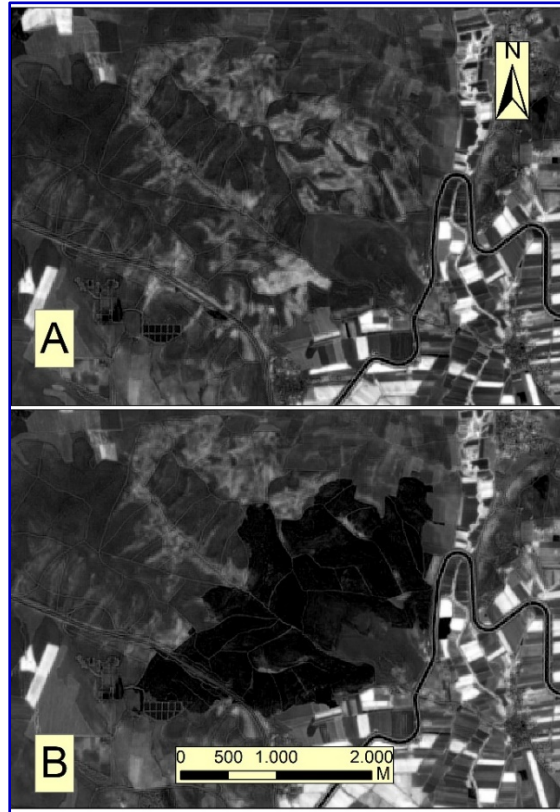
Yangının bıraktığı hasar görsel olarak belirlenmiş olmasına rağmen bu analiz metrik bir sonuç ifade etmemektedir. Bu sebeple öncelikle NDVI değerleri sınıflanarak çalışma bölgesinde bulunan bitki örtüsü belirlendi. Bunun için yangın öncesi ve sonrasına ait uydu görüntülerinden üretilen NDVI görüntüleri düşük, orta ve yüksek yoğunluklu olarak sınıflandırıldı (Şekil 4).

NDVI görüntülerinin yangın öncesi ve sonrası için üretilmesinin çalışmaya iki temel katkısı bulunmaktadır. Birincisi arazi örtüsünün nasıl değiştiğinin belirlenmesidir. Yani düşük, orta ve yüksek yoğunluklu bitki örtüsünde yaşanan değişimdir. İkinci ise her bir sınıfta meydana gelen hasarın tespiti için NBR indeksiyle birlikte işlenmesidir. Bu kapsamda NDVI sınıflarında meydana gelen değişim Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. NDVI sınıflarında meydana gelen değişim.

Çalışmada yangın öncesi ve sonrasına ait uydu görüntülerinden üretilen NBR görüntüleri de üretilmiştir. Şekil 6'da verilen NBR görüntülerinden de yanmış alanlar açıkça görülmektedir.

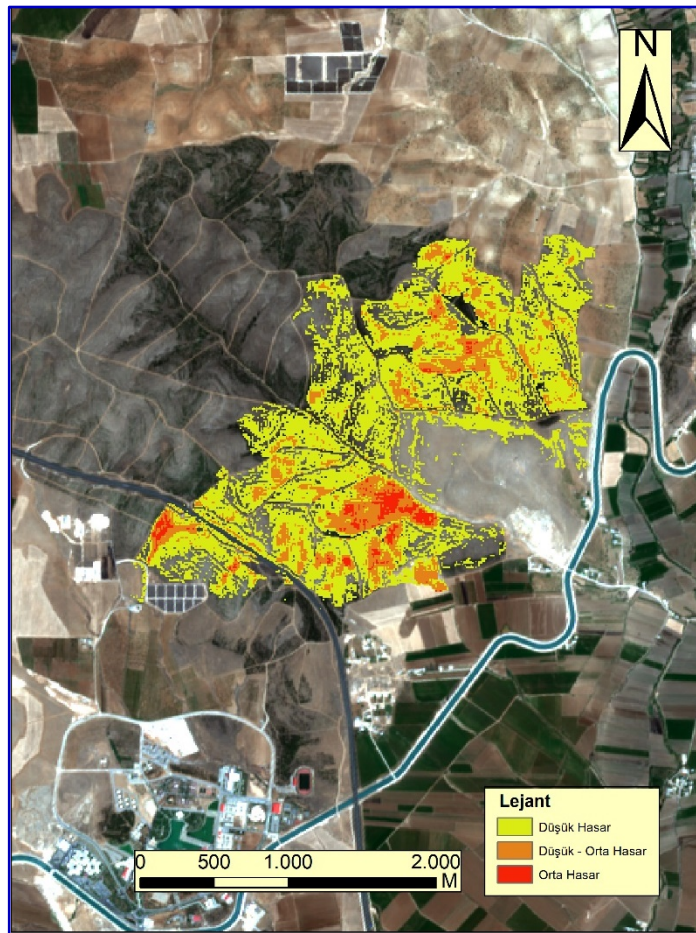


Şekil 6. Yangın öncesi (A) ve sonrası (B) için üretilen NBR görüntüleri.

Şekil 5'de verilen NBR görüntülerinin farkı alınarak dNBR üretilmiştir ve bölgede meydana gelen yangın hasarı sınıflanmıştır. Bu sınıflandırma için Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar (USGS) tarafından önerilen skala Tablo 2 de sunulmuştur (USGS, 2016). dNBR görüntüsü sınıflandırılmış ve gerçek renk görüntü üzerinde hasarın net görülmesi sağlanmıştır (Şekil 7).

Tablo 2. USGS tarafından önerilen dNBR değerleri.

dNBR Değeri	Hasar Derecesi
$0,1 < dNBR < 0,1$	Yanmamış
$0,1 < dNBR < 0,27$	Düşük Hasar
$0,27 < dNBR < 0,44$	Düşük-Orta Hasar
$0,44 < dNBR < 0,66$	Orta Hasar
$0,66 < dNBR < 1,33$	Yüksek Hasar

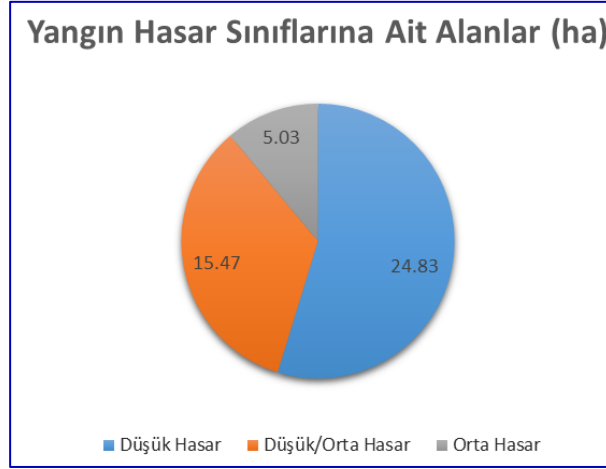


Şekil 7. Sınıflandırılmış dNBR görüntüsü.

dNBR görüntüsünde oluşturulan sınıflar metrik olarak da incelenmiştir. Böylece bölgedeki bitki örtüsünün ne ölçüde hasar aldığı ve ne kadarlık bir bitki örtüsünün kaybedildiği hesaplanmıştır (Şekil 8).

Şekil 5 ve Şekil 8 beraber incelendiğinde bölgede toplamda 55 hektar kadar bir yeşil alanın kaybedildiği görülmektedir. Bu hasarın 5 hektar kadarı orta hasarlı olarak görünmektedir. Hasarın yarıdan fazlası düşük hasar sınıfındadır. Her ne kadar hasar sınıfları içerisinde yüksek hasar olmasa da NDVI değerlerinden de anlaşıldığı üzere bölgedeki bitki örtüsü genç-yeni ormandan oluşmaktadır. Bu sebeple orta sınıftaki bir yangın hasarı bile bu genç ormanın çok ağır hasar almış olduğunu göstermektedir. Yangın sonucunda yüksek yoğunluklu bitki alanı yaklaşık %82 azalırken düşük yoğunluklu bitki alanı %67 oranında artmıştır. Yani

bölgedeki yeşil bitki oranı/yoğunluğu ciddi oranda azalmıştır. Ayrıca dNBR ve NDVI görüntüleri arasında yapılan bindirme (overlay) analizine göre orta hasar yangın sınıfının daha çok orta ve yüksek yoğunluklu bitki bölgesinde meydana geldiği de görülmektedir.



Şekil 8. Yangın hasar sınıflarına ait alanlar.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, düşük-orta hasar veren yangın alanların haritalanması için hızlı ve etkili bir prosedür sunmaktadır. Bu kapsamda çalışma, yangından zarar gören alanların konuma bağlı olarak ne kadar hasar aldığını ve hasar gören bu bölgelerde yangın öncesine göre bitki varlığının spektral indeks bazlı ne kadar değiştiğini başarılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Literatürdeki çalışmalarda arazi örtüsünün zaman içerisindeki değişimini izlemek için kontrollü sınıflandırma yapılarak yüksek doğruluk elde edilmiştir. Bu çalışmada ise mevcut bitki örtüsünün yangından ne kadar hasar aldığı belirlenmiştir. Bu amaçla sınıflandırmaya gerek kalmadan spektral indeksler kullanılarak bitki varlığının tahribat derecesi belirlenmiştir. Çalışmada, 20 Temmuz 2020 tarihinde Harran Üniversitesi Osmanbey kampüsü ve civarında gerçekleşen yangın sonrasında hasar gören bölgelerin otomatik tespiti ve hasar oranına göre tematik haritalandırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda orta mekânsal ve yüksek zamansal çözünürlük sağlayan Sentinel-2 uydusu verileri kullanılmıştır. Elde edilen uydu verilerinden görsel analizin yanı sıra spektral bilgiye dayalı bitki indeksi ve yangın indeksleri üretilerek de yararlanılmıştır. Yangın sonucunda yüksek yoğunluklu bitki alanı yaklaşık %82 azalırken düşük yoğunluklu bitki alanı %67 oranında artmıştır. Yani bölgedeki yeşil bitki oranı/yoğunluğu ciddi miktarda azalmıştır. Ayrıca yangın bölgesinde toplamda 55 hektar kadar yeşil alanın kaybedildiği görülmektedir. Gelecek çalışmalarda ilgili bölgenin hasar durumunun iyileşme/ağaçlandırma durumu yine uydu görüntüleri yardımıyla incelenebilecektir.

Kaynaklar

1. Aksoy, H., Kaptan, S. (2020). Simulation of future forest and land use/cover changes (2019-2039) using the Cellular Automata-Markov Model. *Geocarto International*, (just-accepted), 1-17, DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1778102>.
2. Bıyıklı, D. (2019). Landsat-8 uydu görüntüleri kullanarak nesne-tabanlı sınıflandırma yöntemi ile ormanlık alanlardaki zamansal değişimin izlenmesi: Muğla ili örneği. *TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 23-25 Ekim 2019, Ankara.
3. Boschetti, M., Stroppiana, D., Brivio, P.A. (2010). Mapping burned areas in a Mediterranean environment using soft integration of spectral indices from high-resolution satellite images. *Earth Interaction*, 14, 1-20.
4. Brivio, P.A., Maggi, M., Binaghi, E., Gallo, I. (2003). Mapping burned surfaces in Sub-Saharan Africa based on multi-temporal neural classification. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 4003-4016.
5. 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.

6. **Chuvieco, E. (2009).** Global impacts of fire. In *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1-11.
7. **Chuvieco, E., Lizundia-Loiola, J., Pettinari, M.L., Ramo, R., Padilla, M., Tansey, K., Mouillot, F., Laurent, P., Storm, T., Heil, A. (2018).** Generation and analysis of a new global burned area product based on MODIS 250 m reflectance bands and thermal anomalies. *Earth System Science Data*, 10, 2015-2031.
8. **Cocke, A.E., Fulé, P.Z., Crouse, J.E. (2005).** Comparison of burn severity assessments using differenced normalized burn ratio and ground data. *International Journal of Wildland Fire*, 14, 189-198.
9. **Comert, R., Matcı D K, Avdan U. (2019).** Object Based Burned Area Mapping With Random Forest Algorithm. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(2), 78-87.
10. **Dereli, M. A. (2019).** Sentinel-2A Uydu görüntüleri ile giresun il merkezi için kısa dönem arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 361-368.
11. **Durkaya, B., Kaptan, S., Durkaya, A. (2020).** Socio-economic and cultural sources of conflict between forest villagers and forest; a case study from Black Sea region, Turkey. *Crime, Law and Social Change*, 74, 155-173.
12. **Filippini, F. B. (2018).** Burned area index for Sentinel-2. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2, 364.
13. **Filippini, F., Valentini, E., Nguyen Xuan, A., Guerra, C.A., Wolf, F., Andrzejak, M., Taramelli, A. (2018).** Global MODIS Fraction of Green Vegetation Cover for Monitoring Abrupt and Gradual Vegetation Changes. *Remote Sensing*, 10 (4), 653.
14. **French, N.H.F., Kasischke, E.S., Williams, D.G. (2003).** Variability in the emissions of carbon-based trace gases from wildfire in the Alaskan boreal forest. *Journal of Geophysical Research*, 107, 8151.
15. **Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L., Justice, C.O. (2018).** The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*, 217, 72-85.
16. **Hudak, A.T., Brockett, B.H. (2004).** Mapping fire scars in a southern African savannah using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing* 25(16), 3231-3243.
17. **Key, C., Benson, N. (2006).** Landscape assessment: ground measure of severity, the composite burn index, and remote sensing of severity, the normalized burn ratio. In *Fire Effects Monitoring and Inventory System*, 219-279.
18. **Kontoes, C.C., Poilvé, H., Florsch, G., Keramitsoglou, I., Paralikidis, S. (2009).** A comparative analysis of a fixed thresholding vs. a classification tree approach for operational burn scar detection and mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11, 299-316.
19. **Koutsias, N., Karteris, M. (2000).** Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat-5 Thematic Mapper image. *International Journal of Remote Sensing* 21, 673-687.
20. **Mitri, G.H., Gitas, I.Z. (2004).** A semi-automated object-oriented model for burned area mapping in the Mediterranean region using Landsat-TM imagery. *International Journal of Wildland Fire* 13, 367-376.
21. **Patterson, M.W., Yool, S.R. (1998).** Mapping fire-induced vegetation mortality using Landsat Thematic Mapper data: A comparison of linear transformation techniques. *Remote Sensing of Environment* 65, 132-142.
22. **Paysen, T.E., Ansley, R.J., Brown, J.K., Gottfried, G.J., Haase, S.M. (2000).** Fire in western shrubland, woodland, and grassland ecosystems. *Wildland fire in ecosystems: Effects of fire on flora. RMRS General Technical Reports* 42(2), 121-159.
23. **Polychronaki, P., Gitas, I.Z. (2010).** The development of an operational procedure for burned-area mapping using object-based classification and ASTER imagery. *International Journal of Remote Sensing* 31, 1113-1120.
24. **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.
25. **Saylan, İ., Çömert, R. (2019).** Sentinel-2A ürünlerinin yanmış orman alanlarının haritalanmasındaki başarının araştırılması. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 1(1),8-15.
26. **Silva, J.M., Sá, A.C., Pereira, J.M. (2005).** Comparison of burned area estimates derived from SPOT-vegetation and Landsat ETM+ data in Africa: Influence of spatial pattern and vegetation type. *Remote Sensing of Environment* 96, 188-201.
27. **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, 95-106.
28. **Thonicke, K., Venevsky, S., Sitch, S., Cramer, W. (2001).** The role of fire disturbance for global vegetation Dynamics Coupling fire into a Dynamic Global Vegetation Model. *Global Ecology and Biogeography* 10, 661-677.

29. **Tonbul, H. (2015).** Uydu görüntü verileri kullanılarak orman yangın şiddeti ve yangın sonrası durumun zamansal olarak incelenmesi: Akdeniz bölgesi örneği. Doktora Tezi (yayımlanmış), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 88 s.
30. **USGS (2016).** Landsat—Earth Observation Satellites, Version 1.1 U.S. Geological Survey Fact Sheet 2015–3081, U.S. Geological Survey: Washington, DC, ABD.
31. **Yiğit, A.Y., Kaya, Y (2020).** Sentinel-2A uydu verileri kullanılarak sel alanlarının incelenmesi: Düzce örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(1), 1-9.