

# Mekânsal Otokorelasyon Teknikleri Kullanılarak MODIS Uydu Görüntüleri Üzerinden Yanmış Alan ve Yanma Şiddetinin Belirlenmesi

Taşkın Kavzoğlu<sup>1</sup>, Şinasi Kaya<sup>2</sup>, Hasan Tonbul<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prof. Dr., Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 41400, Kocaeli, [kavzoglu@gyte.edu.tr](mailto:kavzoglu@gyte.edu.tr)

<sup>2</sup>Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, [kayasina@itu.edu.tr](mailto:kayasina@itu.edu.tr)

<sup>3</sup>Araş. Gör., Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 41400, Kocaeli, [htonbul@gyte.edu.tr](mailto:htonbul@gyte.edu.tr)

## ÖZET

*Orman yangınları etkileri ve doğurduğu sonuçlar itibarıyla tüm dünyada en önemli doğal afetlerin başında gelmektedir. İstatistiki veriler incelendiğinde orman yangınlarının ülkemizde değişken bir yapıda olduğu fakat son yıllarda nüfus artışına paralel olarak yangın sayısında belirgin bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum; erozyon, heyelan, çölleşme, kütle kaybı ve doğal döngünün bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca, yangınlardan sonra zarar gören ormanların ve vejetasyonun yenilenmesi de arazi yönetimi açısından büyük önem arz etmektedir. Klasik yöntemlerle yanmış alanların ve yanma şiddetinin tespit edilmesi hem zaman bakımından hem de maliyet bakımından zorlu ve uzun bir süreç gerektirmektedir. Uzaktan Algılama alanında kullanılan gelişmiş teknikler sayesinde yanmış alan tespiti ve yanma şiddeti hakkında yüksek doğruluklu tespitler yapılabilmektedir.*

*Bu çalışmanın amacı, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu görüntüleri ve mekânsal otokorelasyon teknikleri kullanılarak yanmış alanların tespitini yapmak ve yangın karakteristiğini belirlemektir. Bu kapsamda, Moran's I ve Getis-Ord Local Gi indeksleri yardımı ile detaylı analizler yapılmıştır. Yangın öncesi ve yangın sonrası uydu görüntülerinden oluşturulan spektral indislere bağlı olarak biyokütle kaybı ve karbon salınımı değişikliklerine göre yanma şiddeti belirlenmiştir.*

*Uydu görüntüleri, yangın yönetimi açısından risklerin belirlenmesi ve yangın sonrası hasarın tahmin edilmesinde önemli bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ülkemizde ciddi yangınların meydana geldiği Antalya bölgesinde yangın öncesi ve yangın sonrası uydu görüntüleri ve mekânsal otokorelasyon teknikleri birlikte uygulanarak yanmış alan tespiti ve analizi yapılmıştır. Getis-Ord Gi tekniğinin Moran's I tekniğine göre, bölgenin bitki örtüsü için daha uygun olduğu ve yanan alan ile yanma şiddeti belirlemede yüksek presizyon gösterdiği saptanmıştır.*

**Anahtar Sözcükler:** Getis-Ord Gi, MODIS, Moran's I, Orman Yangını, Yanma Şiddeti

## ABSTRACT

### DETECTING BURN AREA AND BURN SEVERITY USING MODIS SATELLITE IMAGE VIA SPATIAL AUTOCORRELATION TECHNIQUES

*Effects of forest fires and implications are one of the most important natural disasters all over the world. When the statistical data analyzed it is observed that forest fires have shown variation, but in parallel to the population growth a number of forest fires has increased widely in recent years. This causes erosions, landslides, desertification and mass loss. In addition, after forest fires, renewal of forests and vegetation crucial for land management. Classical methods used for detection of burned area and burn severity require a long and challenging process in terms of time and cost factors. Thanks to the advanced techniques used in the field of Remote Sensing, burned area and severity can be determined with high accuracy.*

*The purpose of this study is using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) satellite images and spatial autocorrelation techniques to detect burn area and its fire characteristics. In this context, with the help of spatial autocorrelation statistics such as Moran's I and Get is-Ord Local Gi indexes, burned area characteristics were analyzed. Pre-fire and post-fire satellite images were used to determine fire severity depending on spectral indexes corresponding to biomass loss and carbon emissivity intensities.*

*Satellite images have been used as an important source for identification of fire damages and risks in fire management field. This study was performed using pre-fire and post-fire satellite images and spatial autocorrelation techniques to determine and analyze forest fires in Antalya, Turkey where serious forest fires reoccurred. Getis-Ord Gi technique was found to be more effective than the Moran's I for the study area and it produced the highest accuracy for the identification of burned area and burn severity.*

**KeyWords:** Burn Severity, Getis-Ord Gi, Forest Fire, MODIS, Moran's I

## 1.GİRİŞ

Gnmzde artan nfus hızına paralel olarak mevcut yerleşim yerleri ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmiştir. İnsanlar kentleri terk ederek doğal alanları işgal etmeye başlamış ve ormanlık alanlar doğal özelliklerini kaybederek yerleşime açılmıştır. Buna bağlı olarak, yaşımsal varlığını sürdürmek için gerekli olan ve oksijen deposu olarak da ifade edilen ormanlar doğal ya da insani sebeplere bağlı olarak birçok tehlikeye maruz kalmaktadırlar. Ortaya çıkan sorunların başında da orman yangınları gelmektedir.

Klasik yöntemlerle orman yangını etkilerinin belirlenmesi uzun ve zahmetli bir yoldur. Uzaktan Algılama teknikleri sunduğu imknlar sayesinde uzun zamandır yangın yönetimi, yangın alanlarının haritalanması (Lasaponara and Lanorte, 2006;2007a,b), yanmış alan ve yanma şiddetinin belirlenmesi konularında aktif olarak kullanılmaktadır (Gitas and Desantis, 2009; Hall et al., 2008; Richards,1995). Uzaktan algılamada kullanılan mevcut operasyonel yangın algılama algoritmaları genellikle bölgesel, kıtasal ve küresel boyutlu uygulamalar için geliştirilmiştir (Yavuz ve Sağlam, 2011). Bu kapsamda; yangın sonrası vejetasyon kanopisi ve yüzeyde meydana gelen ısı değişimlerine bağlı olarak yangın karakteristiği belirlenebilmektedir.

Yanma şiddeti, yangın sonucunda değişen biyolojik, fiziksel ve kimyasal yapının ekosisteme olan etkisinin belirlenmesi şeklinde ifade edilebilir. Bu kapsamda; yanmış alan ve yanma şiddeti, vejetasyonun kızılötesi bantlarında meydana gelen spektral değişikliklere bağlı olarak belirlenmekte ve oluşturulan farklı indisler kullanılmaktadır. Yangın ncesi ve yangın sonrası uydu görüntüleri indisleri kullanılarak oluşturulan fark görüntülerine bağlı olarak yanma şiddeti derecelendirerek hesaplanmaktadır. Fakat bu yöntemin genellikle parçalı arazilere uygun olmadığı, farklı vejetasyon ve coğrafi bölgelere uygulandığında yetersiz kaldığı birçok yazar tarafından ifade edilmiştir (Key, 2006; Zhu et al., 2006). Bu sorunun üstesinden gelebilmek amacıyla farklı mekânsal otokorelasyon teknikleri uydu görüntülerine işlenerek yanmış alan ve yanma şiddeti belirlenmiştir.

Yaşamımız için hayati öneme sahip ormanların yangınlar sebebiyle tahrip edilmesi ve buna bağlı olarak yangın şiddetinin belirlenerek rehabilite edilmesi büyük önem taşımaktadır. Avrupa ve Amerika'da bu konuda çeşitli yazarların yayınları bulunmaktadır (Lanorte et al, 2012; Miller and Tholde, 2007; Gitas and Desantis, 2009). Ancak, lkemizde bu konuda yapılan sınırlı çalışma vardır (rn: Yavuz ve Sağlam, 2011).

Bu kapsamda yürütülen çalışmada, 2008 yılında Antalya ilinde meydana gelen orman yangınlarının MODIS yangın öncesi ve yangın sonrası uydu görüntüsü indisleri ile lokal Moran's I ve lokal Getis-Ord Gi (Moran, 1948; Getis ve Ord, 1994) mekânsal otokorelasyon teknikleriyle işlenerek yanmış alan ve yanma şiddetinin daha presizyonlu şekilde tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## 2.ÇALIŐMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

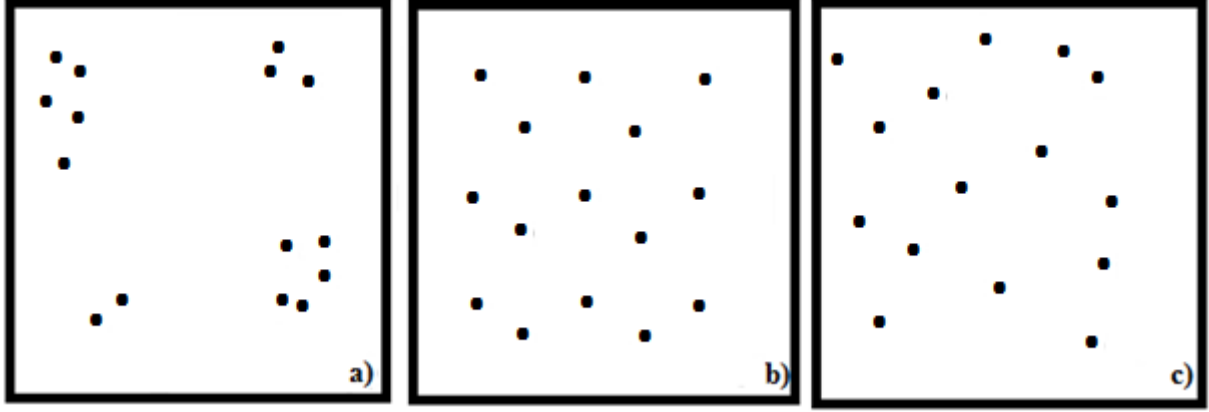
Bu alışma, Antalya ili Serik ve Manavgat ilçeleri içinde ve Orman Genel Müdürlüğü verilerine göre yaklaşık olarak 16.000 ha ormanın yandığı bölgede gerçekleştirilmiştir. Yangının çıktığı koordinatlar, 31° 10' 04" Doğu ve 37°03'25" Kuzey ve çıkış tarihi ise 31.07.2008 olarak rapor edilmiştir.

Çalışma bölgesi; batıda Antalya merkez ile, doğuda İbradı, kuzeyde Burdur'un Bucak ilçesi ile Isparta'nın Sütçüler ilçesi, güneyde ise Akdeniz ile çevrilidir. Genel olarak bitki örtüsü maki, am ormanı ve meşe ağaçlarından oluşmaktadır.

Bu çalışmada yangın öncesi için 19.07.2008 tarihli, yangın sonrası için 12.08.2008 tarihli MODIS uydusu MOD 09A1 (Surface Reflectance) görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan MOD09A1 görüntüleri 13 spektral bant aralığına, 500 metre mekânsal znrlğe, 8 günlük zamansal znrlğe ve 12 bit radyometrik znrlğe sahiptirler. Vejetasyonun karakteristiğini belirlemede etkili olan bantlar (bant2 & bant7) indislerin oluşturulması aşamasında kullanılmıştır.

Ham görüntüler United States Geological Survey (USGS) aracılığı ile elde edilmiştir (URL\_1). Elde edilen 500 metre mekânsal znrlkl uydu görüntüleri daha sonra Coğrafi Koordinat sistemi WGS-84 datumuna dönüştürülerek en yakın komşuluk yöntemi ile yeniden örneklenmiştir. Yukarıda belirtilen işlem adımları MODIS Reprojection Tool (MRT) ve ENVI yazımları yardımı ile gerçekleştirilmiştir.





Şekil 2. Mekânsal Otokorelasyon Çeşitleri. (a) Pozitif Otokorelasyon (b) Negatif Otokorelasyon (c) Sıfır Otokorelasyon

Bu çalışmada; mekânsal otokorelasyon tekniklerinden olan Lokal Moran's I ve lokal Getis-Ord  $G_i$  indisleri yanmış alan ve yanma şiddeti tespitinde kullanılmıştır. Bu metotlar kısaca aşağıda açıklanmıştır. Detaylı bilgi için belirtilen kaynaklara başvurulabilir (Moran, 1948; Getis ve Ord, 1992 ).

Moran's I indeksi lokal ve global olarak genel şekli ile şu şekilde ifade edilmektedir.

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (X_i - \mu) (X_j - \mu)}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (X_i - \mu)^2} \quad (3)$$

Bu eşitlikte;  $N$  toplam piksel sayısını,  $X_i$  ve  $X_j$   $i$  ve  $j$  konumlarındaki değerleri ( $i \neq j$ ),  $\mu$  ortalama değeri ve  $w_{ij}$  ağırlık matrisini ifade etmektedir.  $I$  değeri  $[-1,1]$  aralığındadır ve pozitif otokorelasyon durumunda  $+1$ 'e, negatif otokorelasyon durumunda  $-1$ 'e, sıfır otokorelasyonda ise  $0$ 'a yakınsamaktadır.

Lokal Moran's I ise aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$I_i = \frac{(X_i - \mu)}{s_x^2} \sum_{j=1}^N (w_{ij} (x_j - \mu)) \quad (4)$$

Lokal Moran's I indisi piksel kümelenmesi belirlemede kullanılmaktadır. Moran's I indisi değerleri  $+1$  (positive autocorrelation) ve  $-1$  (negative autocorrelation) arasındadır (Coluzzi et al, 2010). Pozitif değere sahip pikseller benzer değerlikli pikseller ile kümelenirken, negatif değere sahip pikseller herhangi bir kümelenme göstermemektedir.

Diğer kullanılan mekânsal otokorelasyon tekniği Getis-Ord Lokal  $G_i$  indisidir.

$$G_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\frac{s \sqrt{[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}}{n-1}} \quad (5)$$

Bu eşitlikte  $x_j$ ,  $j$  konumundaki öznelik değerini,  $w_{ij}$  ağırlık matrisini,  $n$  toplam piksel sayısını,  $\bar{X}$  ortalama veri kümesini,  $S$  standart sapmayı ifade etmektedir.

$$\bar{X} = \sum_{j=1}^n x_j \quad (6)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (7)$$

Getis-Ord  $G_i$  indisi yanan alanda, birbirine komşu yüksek ve düşük değerli piksel değerlerini belirlemede kullanılmaktadır (Coluzzi et al, 2010). Böylece birbirlerine benzer özellik gösteren piksellerin kümelendikleri bölgeleri belirlemek kolaylaşmaktadır. Yüksek değere sahip pikseller yüksek  $G_i$  değerine sahip, düşük değere sahip pikseller düşük  $G_i$  değerine sahiptirler.

#### 4.UYGULAMA

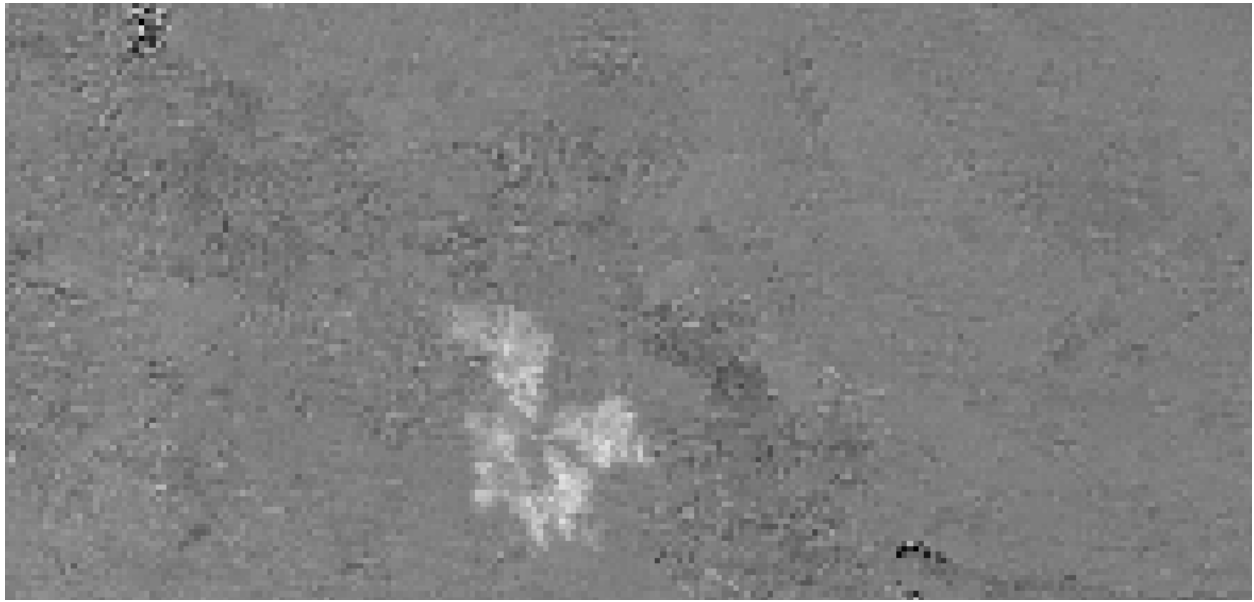
Bu çalışmada 31.07.2008 tarihinde Antalya ili Serik ve Manavgat ilçelerinde meydana gelen orman yangınları ele alınarak, MODIS uydu görüntüleri ve mekânsal otokorelasyon teknikleri yardımı ile yangın hasar tespiti yapılmıştır. Yangın öncesi ve yangın sonrası için 500 metre mekânsal çözünürlüklü MODIS uydu görüntüsü indisi, spektral bant 2 (841-876 nm) ve spektral bant 7 (2105-2155 nm) kullanılarak oluşturulmuştur.

$$NBR_{MODIS} = \frac{MODIS_2 - MODIS_7}{MODIS_2 + MODIS_7} \quad (8)$$

Bant 2 (yakın kızıl ötesi) yansıtımı yangın sonrası büyük oranda azalırken, bant 7 (kısa dalga kızıl ötesi) yansıtımı yüksek miktarda artmaktadır. Bu iki bant arasındaki matematiksel ilişki yardımı ile yangından etkilenen vejetasyon belirlenmektedir.

Yanan alanı daha iyi tespit ederek yanma şiddetini belirlemek için yangın öncesi ve yangın sonrası indisleri farkı alınarak dNBR indisi oluşturuldu.

$$dNBR_{MODIS} = NBR_{yangın\ öncesi} - NBR_{yangın\ sonrası} \quad (9)$$



Şekil 3. dNBR indisi ile belirlenen yanma alanı (MODIS)

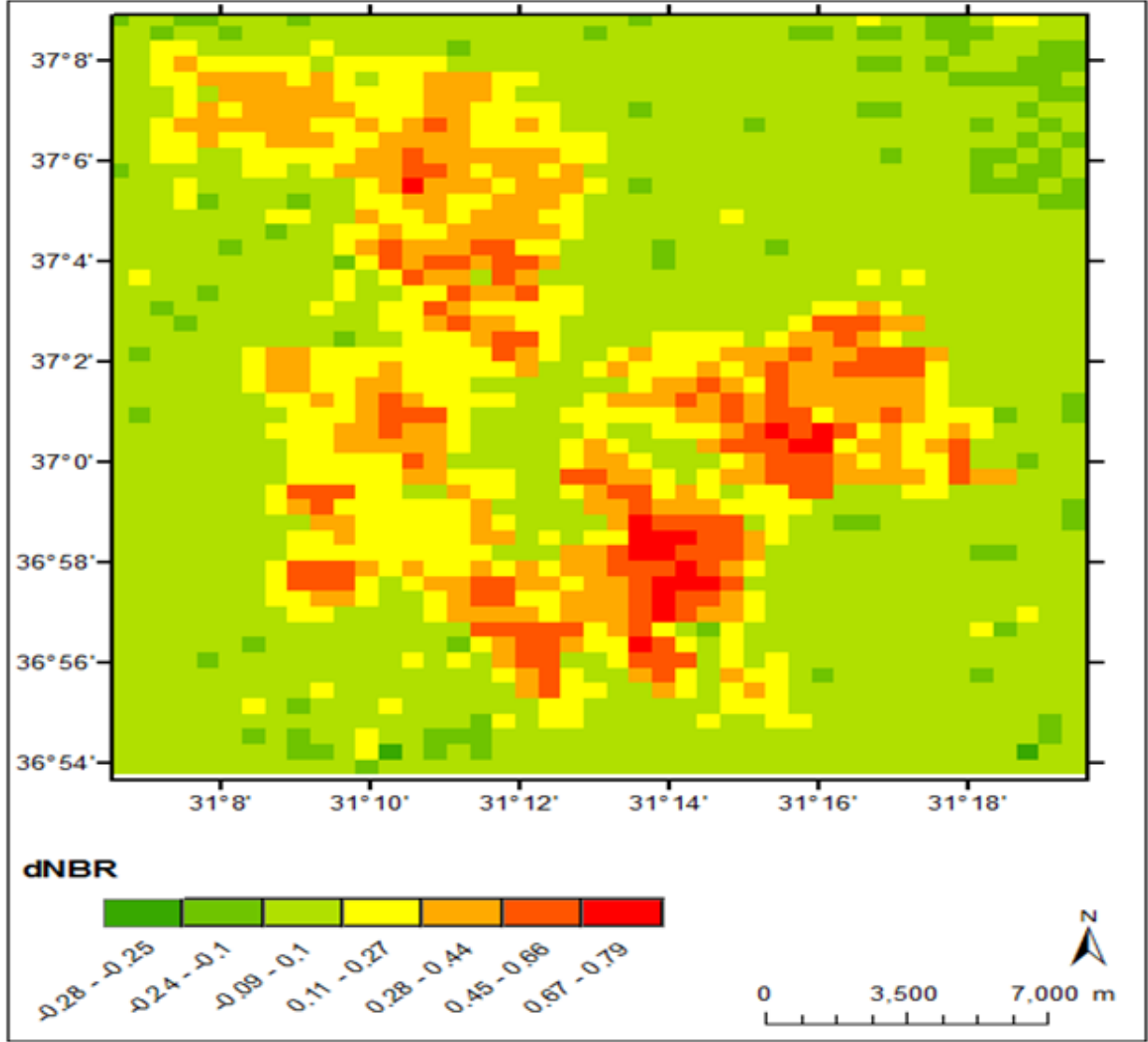
dNBR indisi sonucu oluşturulan gri ölçekli görüntü (gray scale image) -2 ile +2 arasında değişen değerlere sahiptir. Pozitif dNBR değerleri vejetasyonda olan azalmayı ifade ederken negatif dNBR değerleri vejetasyonda olan artışı ifade eder. Yanma şiddeti kategorilerinin belirlenmesinde USGS-FIREMON (United States Geological Survey-Fire Effects Monitoring and Inventory Protocol) tarafından hazırlanan tablo (Tablo 1) temel alınmıştır.

Tablo 1. Yanma şiddeti kategorileri (USGS-FIREMON)

dNBR	Yanma Şiddeti
<-0.25	Yüksek yangın sonrası yeşerme
-0.25 / -0.1	Düşük yangın sonrası yeşerme
-0.1 / 0.1	Yanmamış
0.1 0.27	Düşük Yanma şiddeti
0.27 / 0.44	Orta-düşük yanma şiddeti
0.44 /0.66	Orta-Yüksek yanma şiddeti
>0.66	Yüksek yanma şiddeti

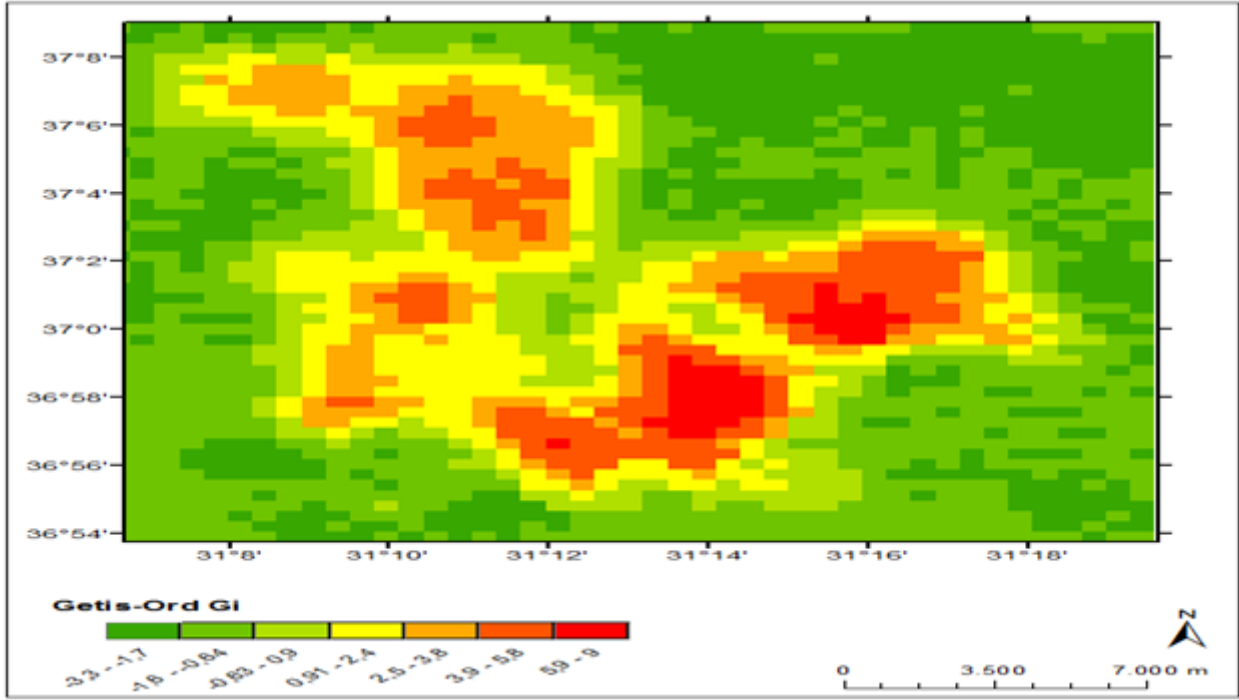


Yanan alan karakteristiğini belirlemek için kullanılan dNBR indisinin uydu görüntüsüne uygulanması aşamasında, yangın yüzeyi vre uzunluğunu belirten vektör veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sebebi, görüntülerde ortaya çıkabilecek bulut etkisi ve ortaya çıkabilecek diğer problemleri minimum seviyeye indirmektir. Orman Bakanlığı ile yapılan görüşmelerde yangın yüzeyi vre uzunluğu verisine ulaşılamamıştır ve bu sebepten dolayı yangın çıkış koordinatlarını bildiğimiz yangın alanına ait görüntü kesilerek uygulama gerçekleştirilmiştir. Aşağdaki görüntüde (Şekil 4), dNBR indisi ile oluşturulan yanma Şiddeti haritası yer almaktadır. Yangın yüzeyi vre uzunluğu vektör verisi görüntüye akıştılamamadığından bazı pikseller yangın alanı içerisinde olmamasına rağmen yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı sarı renkte gözükmektedir.

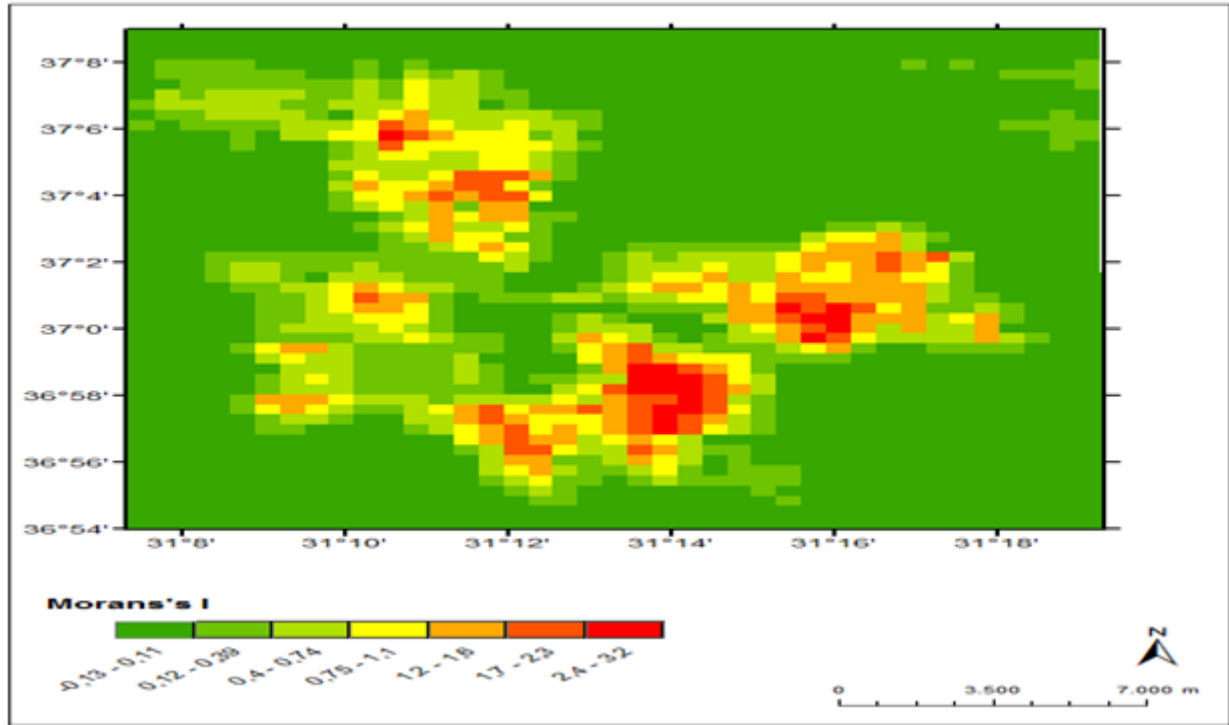


Şekil 4. Yanma Şiddeti (dNBR indisi)

Lokal Moran's I ve lokal Getis-Ord Gi mekânsal otokorelasyon teknikleri hesaplanmasında dNBR indisi yoğunluk olarak işleme katılarak belirlenmiştir. İşlem aşamasında ele alınan pikselin st, alt, sağ ve sol komşu piksellerini hesaba katan yöntem olan Rook's Case komşuluk yöntemi kullanılmıştır (Elobaid et al, 2009). Şekil 5 ve 6'da mekânsal otokorelasyon tekniklerinden olan lokal Moran's I ve lokal Getis-Ord Gi indeksleri ile oluşturulan haritalar yer almaktadır. Moran's I ve Getis-Ord Gi indeksleri yanma Şiddeti kategorilerinin sınıflandırılması işleminde Miller and Thode (2007) tarafından yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır.



Şekil 5. Yanma Şiddeti (Getis-Ord Gi Mekansal Otokorelasyon Tekniği)



Şekil 6. Yanma Şiddeti (Moran's I Mekansal Otokorelasyon Tekniği)

Elde edilen haritalar, Landsat 7 uydu görüntüleri kullanılarak tarafımızdan oluşturulan yanma şiddeti haritaları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar ona göre yorumlanmıştır. Buna bağlı olarak, dNBR indisi ile oluşturulan haritada (Şekil 4) bazı piksellerin yangın alanı dışında olmasına rağmen yanmış alan olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Moran's I ve Getis-Ord Gi tekniği ile oluşturulan haritalarda ise yangın alanı sınırları dışında yanlış sınıflandırılan piksellere rastlanmamıştır. Bunun sebebi olarak, mekansal otokorelasyon tekniğinin dayanağı olan birbirine yakın olan piksellerin uzakta olan piksellere göre daha ilişkili olmasıdır.

Yanan alan içindeki bazı bölgelerde Moran's I tekniğinin yanmış alan tespitinde yetersiz kaldığı ama tespit ettiği yanan bölgelerde yanma şiddeti doğruluğunun yüksek olduğu grlmştir. Bunun sebebi olarak, çalışma alanındaki orman karakteristiğinin Moran's I tekniği kullanımına uygun olmadığı düşünülmektedir. İleriki çalışmalarda bu tekniğin nasıl sonuç vereceğinin araştırılmasına karar verilmiştir. Getis-Ord Gi tekniği kullanımı ile oluşturulan haritalarda ise yanan alan ve yanma şiddeti belirlemede yüksek doğruluklu sonuç alınmıştır.

## 5.SONUÇ

Yangın yönetimi ve yangın etkilerinin belirlenmesi ormanlarımız için büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda, uydu görüntülerinin kullanımı ile yangın sonrası vejetasyon risk değerlendirmesi ve yanma şiddeti tespiti yapılabilir.

Bu çalışmada, çalışma bölgesine ait yangın öncesi ve yangın sonrası MODIS uydu görüntüleri kullanılarak 2008 yılında Antalya'da meydana gelen yangın ele alınmıştır. Uydu görüntüsü bazlı spektral indisler yardımı ile belirlenen yanan alan ve yanma şiddeti tespiti daha sonra lokal otokorelasyon tekniklerinden olan Moran's I ve Getis-Ord Gi teknikleri ile işlenerek bu yöntemlerin yangın karakteristiğini olan etkileri ele alınmıştır.

Sonuçlarımıza göre Getis-Ord Gi tekniğinin kullanılmasının yanma şiddeti ve yanan alan tespitinde daha presizyonlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Moran's I tekniğinin ise çalışma bölgesine ait orman yangını dokusal yapısını belirlemede yetersiz kaldığı grlmştir. Dolayısıyla, Antalya bölgesinde meydana gelen yangınlarda Getis-Ord Gi tekniğinin daha uygun olacağı ve ileride yapılacak çalışmalarla diğer yangınlar da ele alınarak bölge karakteristiğini uygun yöntemin belirlenmesiyle daha geniş ölçeklerde kullanılması hedeflenmektedir.

Ülkemizde bu konuda yapılan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu grlmştir. Bu çalışmanın, her yıl meydana gelen yangınlarda yanan yüzlerce hektar ormanlarımız için bundan sonraki süreçte yangın yönetimi ve yangın sonrası hasar tespiti için yol gösterici olması amaçlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

**Coluzzi, R., Masini, N., Lanorte, A., Lasaponara R.,** 2010, On the Estimation of Fire Severity Using Satellite ASTER Data and Spatial Autocorrelation Statistics, *Computational Science and Its Applications-ICCSA*, pp. 361–373

**Elobaid, R.F., Shitan, M., Ibrahim, NA., Ghani ANA., Daud I.,** 2009, Evolution of Spatial Correlation of Mean Diameter: A Case Study of Trees in Natural Dipterocarp Forest, *Journal of Mathematics and Statistics*, 5, pp. 267–269.

**Getis, A.; Ord J.K.,** 1994, The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics, *Geographical Analysis*, 24, pp. 189–206.

**Gitas, I.; Desantis A.,** 2009, Remote Sensing of Burn Severity, *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystem*. In: E. Chuvieco (Ed.), 129, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg

**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), pp. 476–489.

**Key, C.H.,** 2006, Ecological and Sampling Constraints on Defining Landscape Fire Severity, *Fire Ecology*, 2 (2), pp. 178–203.

**Lasaponara, R.; Lanorte A.,** 2006, Multispectral Fuel Type Characterization Based on Remote Sensing Data and Prometheus Model, *Forest Ecology and Management*, 234.

**Lasaponara, R.; Lanorte A.,** 2007a, VHR QuickBird Data for Fuel Type Characterization in Fragmented Landscape, *Ecological Modelling*, 204, pp. 79–84.

**Lasaponara, R.; Lanorte A.,** 2007b, Remotely Sensed Characterization of Forest Fuel Types by Using Satellite ASTER data, *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 9, pp. 225–234.

**Lanorte, A., Danese, M., Lasaponara, R., Murganate B.,** 2013, Multiscale Mapping of Burn Area and Severity Using Multisensor Satellite Data and Spatial Autocorrelation Analysis, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 20, pp. 42–51.



**Miller, J.D.; Thode A.E.**, 2007, Quantifying Burn Severity in A Heterogeneous Landscape with A Relative Version of The Delta Normalized Burn Ratio (dNBR), *Remote Sensing of Environment*, 109, pp. 66–80.

**Moran, P.**, 1948, The Interpretation of Statistical Maps, *Journal of the Royal Statistical Society*, 10, pp. 243–251.

**O'Sullivan, D.; Unwin D.**, 2002, Geographic Information Analysis, *John Wiley & Sons*, 432 p.

**Richards, G.**, 1995, A General Mathematical Framework for Modeling Two Dimensional Wildland Fire Spread, *International Journal of Wildland Fire*, 5 (2), pp. 63–72.

**Roy, D.P., Boschetti, L., Trigg S.N.**, 2006, Remote Sensing of Fire Severity: Assessing The Performance of The Normalized Burn Ratio, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3, pp. 112–116.

**Tobler, W.R.**, 1970, A Computer Model Simulating Urban Growth in The Detroit region, *Economic Geography*, 46, pp. 234–240.

**Yavuz, M.; Sağlam B.**, 2011, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Orman Yangınlarında Kullanılması, *I. Ulusal Akdeniz Orman ve evre Sempozyumu*, 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş, pp. 1254-1264.

**Zhu, Z., Key, C., Ohlen, D., Benson, N.**, 2006, Evaluate Sensitivities of Burn-Severity Mapping Algorithms for Different Ecosystems and Fire Histories in The United States, *Final Report to the Joint Fire Science Program*, Project JFSP 01-1-4-12, October 12, 2006, 35 p.

**URL 1**, <http://earthexplorer.usgs.gov/>

**URL 2**, *The Normalized Burn Ratio (NBR) - Brief Outline of Processing Steps*, [http://burnseverity.cr.usgs.gov/pdfs/LAv4\\_BR\\_CheatSheet.pdf](http://burnseverity.cr.usgs.gov/pdfs/LAv4_BR_CheatSheet.pdf)