

Lojistik Regresyon ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Orman Yangını Risk Modellemesi: Muğla-Milas Örneği

İlker Atmaca^{1,*}, Masoud Derakhshandeh², Özge Işık Pekkan³, Mehtap Öznen Kavlak³, Yavuz Selim Tunca³, Saye Nihan Çabuk⁴

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 66900, Yozgat.

²İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34310, İstanbul.

³Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri A.B.D., 26555, Eskişehir.

⁴Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, 26555, Eskişehir.

Özet

Orman yangınları önemli bir çevre sorunu olmakla beraber tüm ekosistem ve içerisindeki insan ve hayvan yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Türkiye’de son 20 yılda yaşanan 46.669 orman yangınında toplamda 192.734 hektar orman alanı zarar görmüştür. Bu yangınların ortaya çıkış nedenlerinde ise ilk sırada ihmal-kaza bulunmaktadır. Bu nedenle meydana gelen orman yangınlarının sıklığını en aza indirmek ve zararları önlemek için yangın riski olan alanların belirlenerek, yangın öncesinde, sırasında ve sonrasında alınacak önlemler için hazırlıklı olunması gerekmektedir. Bu çalışmada Muğla ili Milas ilçesi için orman yangını riskini modellemede Lojistik Regresyon (LR) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Topoğrafik özellikler, meşcere verileri ve kültürel veriler dikkate alınarak, bu faktörlerin yangınların oluşumu ile ilişkisi araştırılmıştır. LR ile yangın risk tahmininin doğruluk analizleri ve farklı özelliklerdeki alanların yangın riskleri Alıcı Çalışma Karakteristiği (ROC) ve Hosmer-Lemeshow testi ile incelenmiştir. Lojistik Regresyon yöntemi ile elde edilen bulgular doğrultusunda CBS ortamında bir orman yangını risk haritası oluşturulmuştur. Burada orman yangını riski “1” çok düşük riskli ve “5” çok yüksek riskli olmak üzere beş seviyede değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan orman yangını risk haritasında, çalışma alanında bulunan toplam orman alanlarının %16’sının yüksek ve çok yüksek risk sınıfında bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler

Orman Yangını, Yangın Risk Haritalandırması, Lojistik Regresyon, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Milas (Muğla)

Forest Fire Risk Modeling Using Logistic Regression and Geographic Information Systems: A Case Study in Muğla - Milas

Abstract

Forest fires are an important environmental problem, they negatively affect the entire ecosystem and human and animal life in it. In Turkey 192.734 hectares of forest area has been damaged in 46.669 forest fires in the last 20 years. Negligence-accident is the primary cause of these fires. For this reason, in order to minimize the frequency of forest fires and prevent damages, areas with fire risk should be determined and it is necessary to be prepared for the precautions to be taken before, during and after the fire. In this study, Logistic Regression (LR) and Geographic Information Systems (GIS) were used to model the forest fire risk for the Milas province in Muğla. Considering the topographic features, stand data and cultural data, the relationship of these factors with the occurrence of fires was investigated. Accuracy analyzes of fire risk estimation with LR and fire risks of areas with different properties were examined by Receiver Operating Characteristic (ROC) and Hosmer-Lemeshow test. In line with the findings obtained by the LR method, a forest fire risk map was created in the GIS environment. Here, forest fire risk is evaluated at five levels, with “1” very low risk and “5” very high risk. In the resulting forest fire risk map, it was concluded that 16% of the total forest areas in the study area are in high and very high risk classes.

Keywords

Forest Fire, Fire Risk Mapping, Logistic Regression, Geographical Information Systems, Milas (Muğla)

1. Giriş

Ormanlar, ekolojik dengenin korunmasında önemli rolü olan doğal kaynaklardır. Bir ormanın verimliliği, bulunduğu bölgedeki ekolojik koşulların en belirgin göstergesidir. Ekolojik dengenin bozulması ve ormanların yok olmasındaki temel sebeplerinden biri ise orman yangınlarıdır (Ager vd. 2011).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (354) 2421001 Faks: +90 (354) 2421005

Gönderim Tarihi / Received : 13/06/2021

E-posta: ilker.atmaca@bozok.edu.tr (Atmaca İ),
mderakhshandeh@gelisim.edu.tr (Derakhshandeh M),
ozgeisikpekan@eskisehir.edu.tr (Pekkan Ö.İ),
mehtapozenen@eskisehir.edu.tr (Kavlak M.Ö), yst@eskisehir.edu.tr (Tunca Y.S), sncabuk@eskisehir.edu.tr (Çabuk S.N)

Kabul Tarihi / Accepted : 24/09/2021

Yangınlar, ormanların büyümesini ve yenilenmesini sağlayan ekolojik döngüye yardımcı olabilirler ancak, şiddeti ve yanma derinliği yüksek orman yangınları toprağı, havayı ve ormana komşu yerleşim alanlarındaki insan yaşamını olumsuz etkiledikleri için önemli bir çevre sorunudur (Patz vd. 2014; Modugno vd. 2016).

Günümüzde yaşanan yangınların sıklığını en aza indirmek ve yangınlardan kaynaklanan hasarı önlemek için yangın risk ve tehlike sınıflarının belirlenmesi gerekmektedir. Yangın risk ve tehlikesi farklı iki kavramdır. Yangın riski, değişik insan faaliyetleri ya da yıldırım gibi doğal herhangi bir nedenin etkisiyle yangın çıkma olasılığıdır (Neyişçi vd. 1999). Yangın tehlikesi ise belirli bir alanda yangının başlama, yayılma ve kontrole karşı direncini etkileyen faktörlerin toplamını ifade eder (McArthur 1976).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile yangın tehlike alanlarının tespiti, modellenmesi, yangın risk haritalarının oluşturulması ve bunlara bağlı olarak yangınların önceden tahmin edilmesi, yangın söndürme çalışmalarının planlanması, yangın sonrası oluşan zararın tespiti gibi işlemler sistemli ve sağlıklı bir şekilde yapılabilmektedir (Cleve vd. 2008; Finney 2007). Literatürde yangın riski haritalarının oluşturulmasında kullanılan analizlerdeki girdiler konusunda fikir birliği olmadığı görülmüştür. Örneğin Massada vd. (2009) yangın riskini analiz etmek için girdi olarak yanıcı madde ve topografya girdilerini, hava durumu verilerini ve insan faaliyetleri verilerini incelemişlerdir. Chuvieco vd. (1996) yangın tehlikesini tahmin etmek için yanıcı madde tipi, sıcaklık, nem, kompaktlık, bitki nemi (dead surface fuel moisture), topografya ve insan aktivitesini dikkate almışlardır. Kavlak vd. (2021) ise CBS ortamında orman yangını risk haritası oluşturmak için topoğrafik özellikler, meşcere özellikleri ve insan kaynaklı faktörleri kullanmışlardır. Literatürde yer alan çalışmalar değerlendirildiğinde, orman yangını riskinin tahmin edilmesinde yaygın olarak bitki örtüsü (yanıcı madde miktarı), topoğrafik özellikler (yükseklik, bakı ve eğim), iklim özellikleri ve insan faktörü dahil olmak üzere birçok farklı kriterin kullanıldığı görülmektedir (Brown ve Davis 1973; Novo 2020; Parajuli 2020; Gheshlaghi 2020; Xu vd. 2006). Bu kriterler kullanılarak büyük ölçekli alanların ve bölgelerin yangın olasılıklarını ortaya çıkarmak ve haritalamak için kullanılan yöntemler ise çeşitlilik arz etmektedir. Kernel yoğunluğu analizi (Koutsias vd. 2004), çok ölçütlü değerlendirme analizi (Sarı 2020), yapay zekâ kullanımı (Zhang vd. 2019) frekans oranlama (Gai vd. 2011) ve lojistik regresyon (Deng vd. 2013) bunlardan birkaçıdır. Bununla birlikte, lojistik regresyon bu yöntemler arasında esnek yapıda olması sebebiyle en yaygın kullanılanıdır (Goldarag vd. 2016; Pan vd. 2016; Milanovic vd. 2020; Chen 2018; Zhang vd. 2010).

Dünya genelinde orman yangınları, tüm teknolojik ve insan gücü desteğine rağmen artış göstermektedir (Garcia-Martinez 2013). Doğal ve beşerî sebeplerden meydana gelen orman yangınlarında en başta Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Avustralya ve Akdeniz ülkeleri gelmektedir (Diaz vd. 2021). Ülkemizde ise orman yangınlarıyla ilgili istatistik bilgilerin tutulmaya başlandığı 1937 yılından 2020 yılına kadar toplam 108 bin 786 orman yangını çıktığı ve toplam 1 milyon 956 bin 426 ha orman alanının zarar gördüğünü tespit edilmiştir. 2020 yılı içerisinde meydana gelen toplam 3399 orman yangınının 260'ı Muğla ve Antalya illerinde görülmüş ve en fazla orman yangınının çıktığı iller olmuşlardır (URL-1 2021). 2021 yılının Temmuz ve Ağustos aylarında ülke genelinde eşzamanlı birçok orman yangını yaşanmış, Muğla ilinde yaşanan yangınlarda il orman varlığının yaklaşık %8'ini oluşturan toplam 66.874 ha orman alanı zarar görmüştür (URL-2 2021).

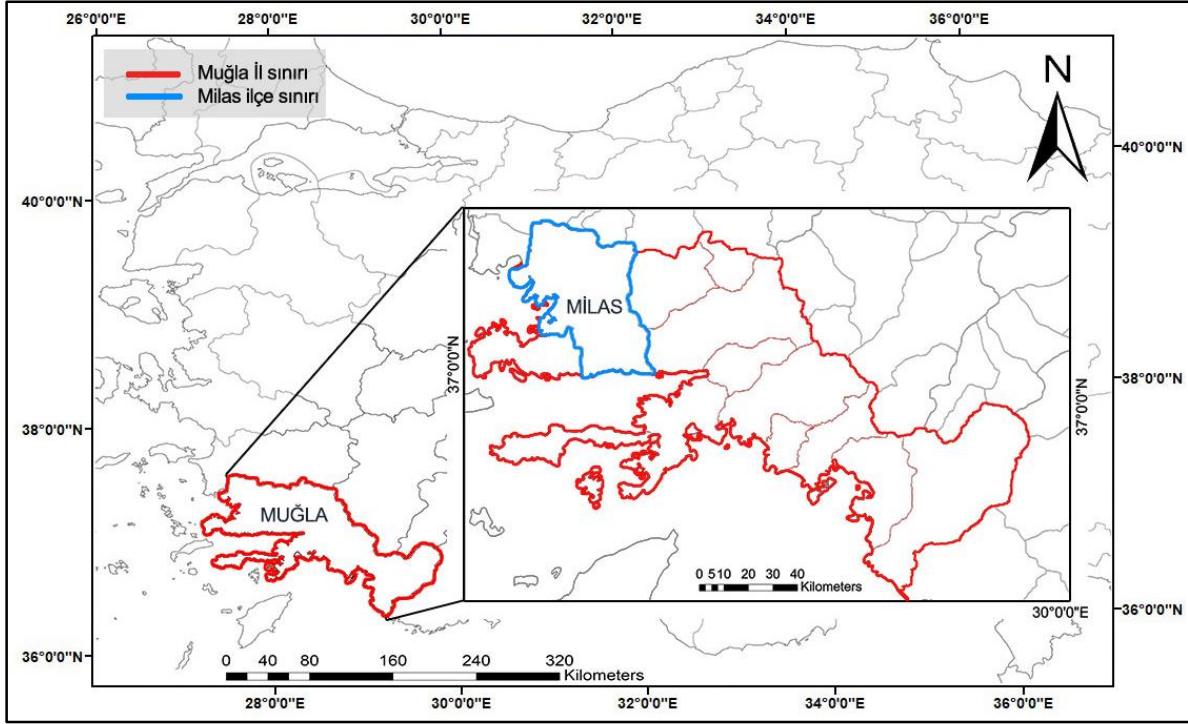
Ülke genelinde yaşanan orman yangınlarının %38'inin çıkış nedeni belirlenemezken, %19'unun ihmal-kaza, %32'sinin doğal sebepler, %11'inin kasıt sonucu çıktığı tespit edilmiştir (URL-1 2021; URL-3 2019). Buradan yola çıkılarak, orman yangınına duyarlı alanların tespit edilmesi ve risk haritalarının oluşturulması gerekliliğinin, ormanların korunması açısından büyük önem arz ettiği kanısına varılabilir.

Bu çalışmanın amacı Muğla ili Milas ilçesi sınırları içinde bulunan orman alanları için orman yangını oluşumunu etkileyen temel faktörleri LR yöntemi ile belirlemek ve CBS aracılığıyla yangın risk sınıflarını içeren bir risk haritası oluşturmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, güneybatı Anadolu'da 37°00'-37°30' kuzey enlemleri ile 27°30'-28°30' doğu boylamları arasında yer alan Muğla ili Milas ilçesidir (Şekil 1). Yükseklik deniz seviyesinden başlayıp 1.200m'ye kadar çıkmaktadır. İklimsel açıdan yazların sıcak ve kurak, kışların ılık ve yağışlı geçtiği Akdeniz iklim kuşağındadır. Yaz aylarında ortalama sıcaklık 32° C ile 34° C arasında olmakla birlikte 40° C'yi aştığı günler de bulunmaktadır. Çalışma alanında bulunan bitki türlerinin dağılımı incelendiğinde Kızılçam (*Pinus brutia*) (%91,4), Karaçam (*Pinus nigra*) (%2,1), Fıstık Çamı (*Pinus pinea*) (%6,4) ve Ardıç (*Juniperus*), Ceviz (*Junglans*), Okaliptüs (*Eucalyptus*) gibi yaprak döken bitkilerin (%0,1) bulunduğu görülmektedir. Milas ilçesindeki toplam orman alanı 829.309 ha olup, il yüzölçümünün yaklaşık %66'sını ve Türkiye orman varlığının %4'ünü kapsamaktadır (URL-1 2021) Bu alanın çalışma alanı olarak seçilmesinde, 2000 – 2020 yılları arasındaki 20 yıllık süreçte, yıllık ortalama 49 yangın olayının yaşanmış olması ve bu yangınlarda yıllık ortalama 294 ha alanın yanmış olmasının yanı sıra mevcut ağaç türlerinin yangına duyarlı yapıda olmaları önemli rol oynamıştır (URL-1 2021; URL-3 2019).



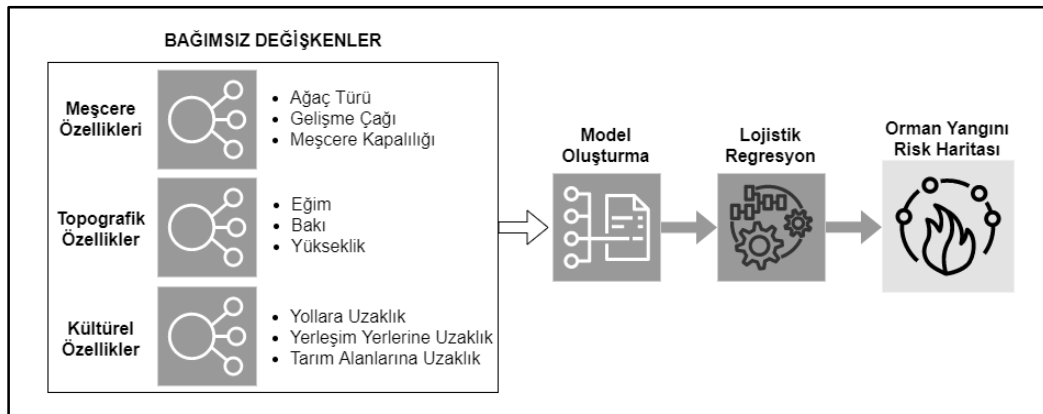
Şekil 1: Çalışma alanının coğrafi konumu

2.2. Materyal

Çalışma kapsamında risk haritalarını üretmek için, risk oluşumunda veya yangın riskini artırmada etkili olan faktörlerin ve bu faktörlerle bağlantılı verilerin elde edilmesi gerekmektedir. Ağaç tipi, gelişme çağı, meşcere kapalılığı gibi meşcere verileri ve yola uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, tarım alanlarına uzaklık gibi kültürel özellikleri belirlemek için 1/25.000 ölçekli sayısal meşcere haritası Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup, topoğrafik özellikleri belirlemek için Alaska Uydu Tesisi (ASF) web sayfasından indirilen Alos Parsar Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) kullanılmıştır (URL-4 2020). Ayrıca Orman Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 2017 – 2019 yılları arasında yaşanmış olan yangınların nokta verilerinden faydalanılmıştır.

2.3. Yöntem

Lojistik Regresyon bir veya birden fazla bağımsız değişkeni bulunan ve bir sonucu belirlemek için kullanılan bir istatistik yöntemidir (Stoltzfus 2011). Farklı türde doğal tehlikelerin tahmini için kullanılan en popüler çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden birisi olan LR, bir olayı (bağımlı değişken) ve olayın oluşumunda etkili olan bir dizi bağımsız değişken arasındaki ilişkileri araştırır (Pham vd. 2018). Çalışma kapsamında orman yangın risk modellemesinde LR yöntemi kullanılmıştır. Çalışma yöntemini özetleyen iş akış diyagramı Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 2: Yönteme ilişkin iş akış diyagramı

Lojistik Regresyon modeli kullanarak orman yangını risk tahmininde bulunabilmek için hem yangın hadisesinin yaşandığını ifade eden “var” hem de yangın hadisesi yaşanmadığını ifade eden “yok” verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum ikili (binary) problem olarak ifade edilmektedir ve formüle edildiğinde, LR, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında yangının varlığına (1) ve yokluğuna (0) dayalı olarak doğrusal bir ilişki kurmaktadır. Bu durumda, model aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$y = \alpha + b_1.x_1 + b_2.x_2 + \dots + b_n.x_n$$

(1)

$$P_j = 1 / 1 + e^{-y}$$

Denklemdaki y, yangının meydana gelme olasılığı (1) veya gelmeme olasılığı (0), α modelin sabit değeri, b_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) model katsayıları, x_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) bağımsız değişkenler kümesini ifade etmektedir. P_j 0 ile 1 arasında değişmekte olup her bir pikselinde yangın oluşma olasılığını ifade etmektedir.

2.3.1. Bağımlı Değişkenler

Çalışma kapsamında kullanılan bağımlı değişken, yangın noktalarıdır. Yangın noktalarının koordinatlarına ilişkin bilgileri içeren veri tabanı, Orman Genel Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Çalışma dönemi (2017–2019) boyunca gerçekleşen toplamda 3 yıla ait 107 yangın noktasını içermektedir. Modelde kullanılan bağımlı değişkenler, yangın çıkma durumuna göre “var” ya da “yok” biçiminde ikili (binary) şekilde kullanılmıştır. Yangın olayının yaşandığı alanlarda yangın varlığını belirtmek için bu alanlara “varlık” noktaları ismi verilmiştir ve “1” ile kodlanmıştır. Yangın olayının yaşanmadığı alanlara ise “yokluk” noktaları ismi verilmiştir ve “0” ile kodlanmıştır.

2.3.2. Bağımsız Değişkenler

Çalışma kapsamında kullanılan bağımsız değişkenler, literatürdeki çalışmalar incelenerek belirlenmiştir ve Tablo 1’de görülmektedir. Bu açıklayıcı değişkenler, yangın riskiyle ilgili farklı faktörleri temsil etmektedir. Faktörler, yangın oluşumunda doğrudan veya dolaylı bir etkiye sahip olmalarına göre tercih edilmiştir.

Tablo 1: Bağımsız değişkenler

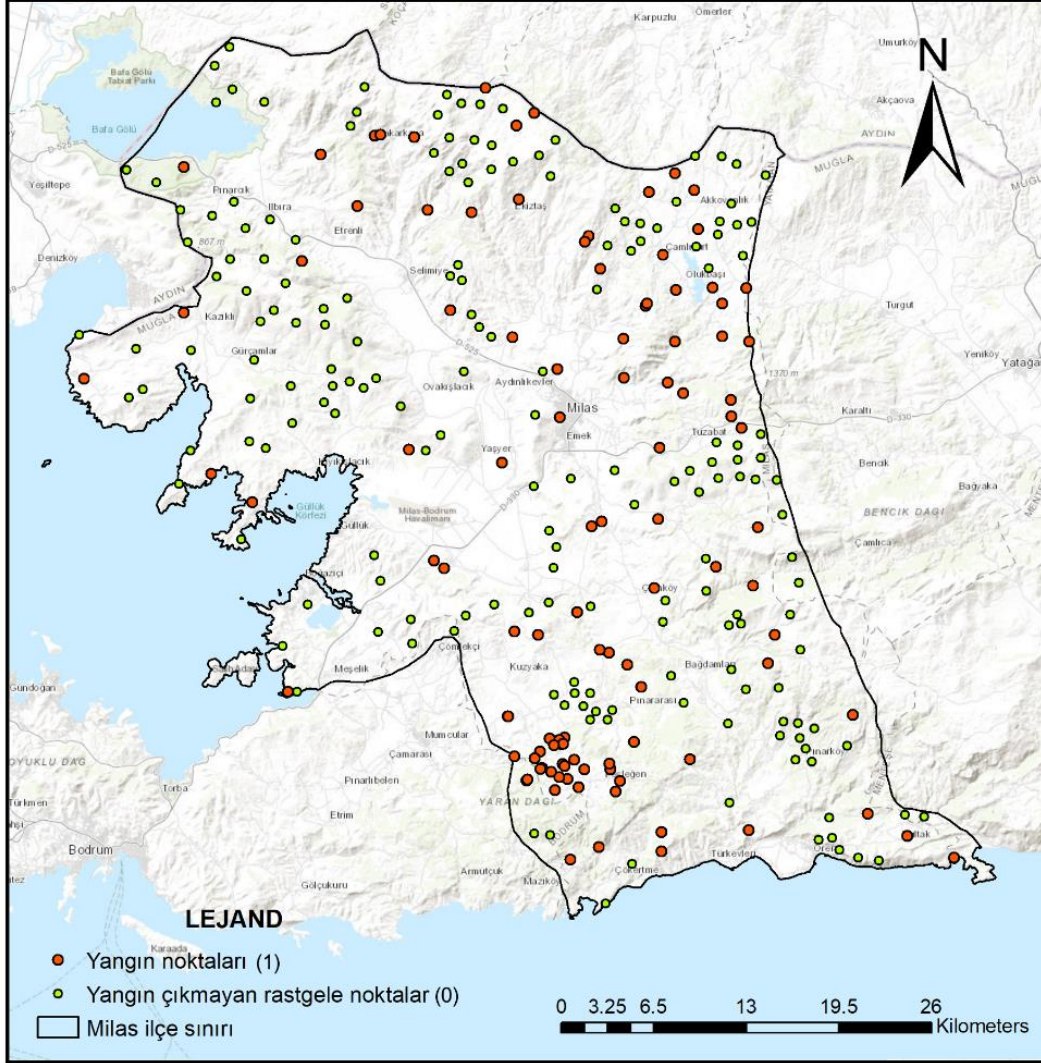
Faktör	Bağımsız Değişken Adı	Bağımsız Değişken Sınıfları
Meşcere	Ağaç türü	Karaçam / Kızılcım / Fıstık Çamı / Diğer yaprak dökkenler
	Gelişme çağı	A (a, ab) / B (b, bc) / C (c, cd) / D (d) / E (e) / K
	Meşcere kapalılığı	0 (<%10) / 1 (%11-%40) / 2 (%41-%70) / 3 (%70<)
Topoğrafik Yapı	Eğim	%5 / %10 / %15 / %35 / %100
	Bakı	-1° / 22° / 67° / 112° / 157° / 202° / 247° / 292° / 337° / 360°
	Yükseklik	0-200m / 201-400m / 401-600m / 601-800m / 801-1000m / 1001-1200m / 1201-1400m / 1401-1600m / 1601m<
Kültürel Yapı	Yollara uzaklık	0-50m / 51-100m / 101-200m / 201-300m / 301-400m / 401m<
	Yerleşim yerlerine uzaklık	0-50m / 51-100m / 101-200m / 201-300m / 301-400m / 401-500m / 501-1000m / 1001-1500m / 1501m<
	Tarım alanlarına uzaklık	0-50m / 51-100m / 101-200m / 201-300m / 301-400m / 401-500m / 501-1000m / 1001-1500m / 1501m<

Belirlenmiş faktörlerden meşcerenin gösterdiği özellikler, orman yangınlarının çıkması ve yayılmasını biçimlendiren en önemli özelliklerdendir. Literatürdeki birçok çalışmada yanıcı madde tipi olarak adlandırılan meşcere özellikleri, ağaç türü, gelişme çağı ve meşcere kapalılık durumlarına göre yangın başlangıç noktalarını ve yangın davranışlarını belirleyen en önemli unsurlardandır (Kavlak vd. 2021; Bilgili 2014; Karabulut vd. 2013; Akkaş vd. 2008; Butler vd. 2007; Viegas 2004). Topoğrafya özellikleri de orman yangınlarının çıkması ve yayılmasını biçimlendiren diğer önemli özelliklerdendir. Eğim ve yükseklik değerlerindeki artış ve azalışlar yangının yayılma oranı üzerinde etkili iken bakı da yanıcı maddelerin güneş ışınlarına maruz kalma derecelerini belirlediği için yangın oluşumu için önemlidir (Xiangwei vd. 2011; Hernandez-Leal vd. 2006; Dupuy 1995; Van Wagner 1988). Yola uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık ve tarım alanlarına uzaklık verilerinden oluşan kültürel yapı özellikleri ise doğrudan orman yangınlarıyla bağlantılı olmalarından dolayı çalışmadaki önemli bağımsız değişkenlerdendir (Pais vd. 2020; Rogan 2006; Jaiswal 2002; Chuvieco ve Congalton 1989).

Bu çalışmada orman yangınına etkileyen faktörler meşcere, topoğrafik yapı ve kültürel yapı gibi dinamik olmayan yani zamana bağlı olarak değişmeyen katmanlardan oluşmaktadır. Orman yangınlarının oluşumu ve yayılmasında etkili olan diğer faktörlerden bazıları: rüzgâr hızı, yağış miktarı, bağıl nem değeri, güneşlenme süresidir ve bu değişkenler anlık değişim gösteren dinamik faktörlerdir. Bu çalışmada statik yapıda olan faktörler kullanılmış olup, anlık değişim gösterebilen dinamik faktörler dahil edilmemiştir.

2.3.3. Modelin oluşturulması

Bu çalışma kapsamında Milas ilçesi için Orman Genel Müdürlüğü'nden temin edilen ve yaşanmış yangın olaylarının konumlarını belirten, 107 noktadan oluşan bir yangın noktası veri seti mevcuttur. Ayrıca [Catry vd. \(2009\)](#) tarafından modelin işleyebilmesi için yangın olayı yaşanmış olan var noktası (1) sayısının 1,5 katı olan yangın yaşanmamış yok (0) noktasına ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Bu nedenle yangın çıkmış olan (1) noktaların 1,5 katı olan 161 adet rastgele yangın çıkmamış (0) nokta çalışma alanı sınırları içinde rastgele (randomly) oluşturulmuştur (Şekil 3). Elde edilen bu noktalara ait öznitelik bilgileri ArcGIS 10.7 yazılımı kullanılarak lojistik regresyon analizinde kullanılmak üzere derlenmiştir.



Şekil 3: Alandaki yangın varlık ve yokluk noktaları

3. Bulgular

3.1. Lojistik regresyon sonuçlarının değerlendirilmesi

Rastgele seçilmiş olan yangın varlık noktalarının %50'si (53 adet) ve yangın yokluk noktalarının %50'si (80 adet) eğitim verisi olarak seçilmiş ve kalan noktalar ise doğrulama verisini oluşturmuştur. Lojistik regresyon analizi öncesinde ArcGIS yazılımı ile derlenen veri seti incelendiğinde noktaların %90'ından fazlasının aynı ağaç türünü (Kızılcıam) içerdği ve bu değişkeni analize dahil etmenin sonucu değiştirmeyeceği varsayılarak ağaç türü değişkeni analiz veri setinden çıkarılmıştır. Tüm LR hesaplamaları Microsoft Excel yazılımında Real Statistics araç takımı eklentisi kullanılarak yapılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2: Lojistik regresyon sonuç tablosu

	Coeff b	s.e.	Wald	p-value	Exp(b)	lower	upper
Constant	0.036153	1.131141	0.001022	0.047502	1.036815		
Gelişme çağı	0.386409	0.156144	8.953786	0.003407	1.34886	1.08369	1.9986
Meşcere kapallılığı	-0.56716	0.244768	6.132466	0.020496	0.577435	0.351024	0.916286
Eğim	-0.04826	0.030431	2.739784	0.012739	0.968359	0.89771	1.011445
Bakı	0.958323	0.367156	7.359643	0.009051	2.607319	1.269611	5.354485
Yükseklik	-0.00203	0.000975	2.849742	0.037751	0.997976	0.99607	0.999885
Yerleşim yerlerine uzaklık	0.000187	6.41E-05	9.684312	0.003766	1.000187	1.000062	1.000314
Yollara uzaklık	0.000145	4.9E-05	9.31084	0.003194	1.000145	1.000049	1.000242
Tarım alanlarına uzaklık	0.000429	0.000164	11.2915	9.21E-05	1.000429	1.000327	1.000962

Lojistik regresyon testi sonucunda elde edilen p (olasılık) değeri, bağımsız ve bağımlı değişkenler arasında "korelasyon yok" şeklindeki sıfır hipotezini test eder (Garson 2008). P değeri anlamlılık düzeyinden düşükse (genellikle 0,05 kullanılır), model veriler ile uyumludur şeklinde yorumlanmaktadır (Johnson ve Gutsell 1994). Tablo 2 incelendiğinde p değerlerinin tamamının 0.05 ten küçük olduğu görülmektedir. Bu da modelde kullanılan tüm değişkenlerin, yangın riski hesaplanmasında, model için bir anlamının olduğunu ifade etmektedir.

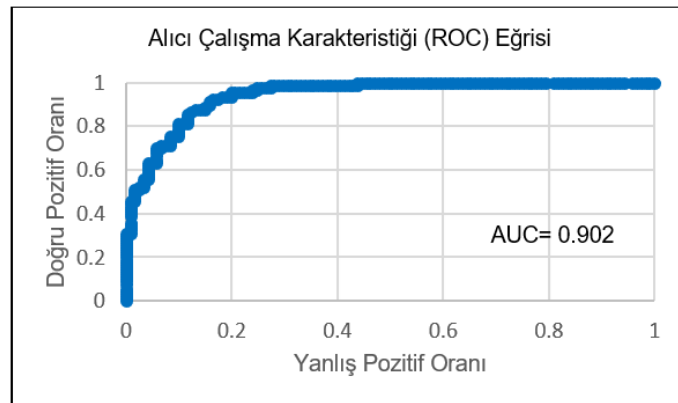
Lojistik regresyonun performansını değerlendirmek için literatürdeki standart yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu yaklaşımlardan birisi Wald istatistiğidir ve modeldeki bireysel katsayıların önemini test etmek için kullanılmaktadır (Bewick vd. 2005). Bir diğer yaklaşım olan Hosmer-Lemeshow testi ise risk tahmin modellerinde sıklıkla kullanılmaktadır ve LR modelleri için uygunluğun iyiliğini (goodness of fit) gösteren istatistiksel bir testtir (Hosmer vd. 1997; Hosmer ve Lemeshow 2000).

Çalışma kapsamındaki her bir değişkenin önemi, 0.05 anlamlılık düzeyinde Wald testi (Legendre ve Legendre 1998) kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna göre modelde kullanılan tüm bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişken üzerinde etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tahmin edilen yangın oluşma olasılığının gerçek yangın oluşumuyla uyumlu olup olmadığını test etmek için Milas Orman İşletme Müdürlüğü'nden elde edilen yangın noktaları kullanılarak sonuçların doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Hosmer ve Lemeshow uygunluk testine göre eğitim verileri için tahmin edilen ve gözlemlenen olaylar arasındaki doğruluk değeri 0.89 (%89 doğruluk), doğrulama verileri için ise 0.86 (%86 doğruluk) sonuçlarına ulaşılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3: Eğitim ve doğrulama veri setlerinin lojistik regresyon olasılık tablosu

Gözlemlenen	Tahmin edilen							
	Eğitim				Doğrulama			
	Yangın	Varlık	Yokluk	Doğruluk	Yangın	Varlık	Yokluk	Doğruluk
Varlık	71	6	0.89	0.89	58	7	0.87	0.87
Yokluk	8	48	0.88	0.88	8	41	0.85	0.85
Toplam	79	54	0.89	0.89	66	48	0.86	0.86

Alıcı çalışma karakteristiği (ROC) eğrisi ve iki bileşeni (duyarlılık ve özgüllük) kullanılarak, eğri altında kalan alan (AUC) aracılığı ile modelin başarı oranı hesaplanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Lojistik regresyonun alıcı çalışma karakteristiği (ROC) grafiği

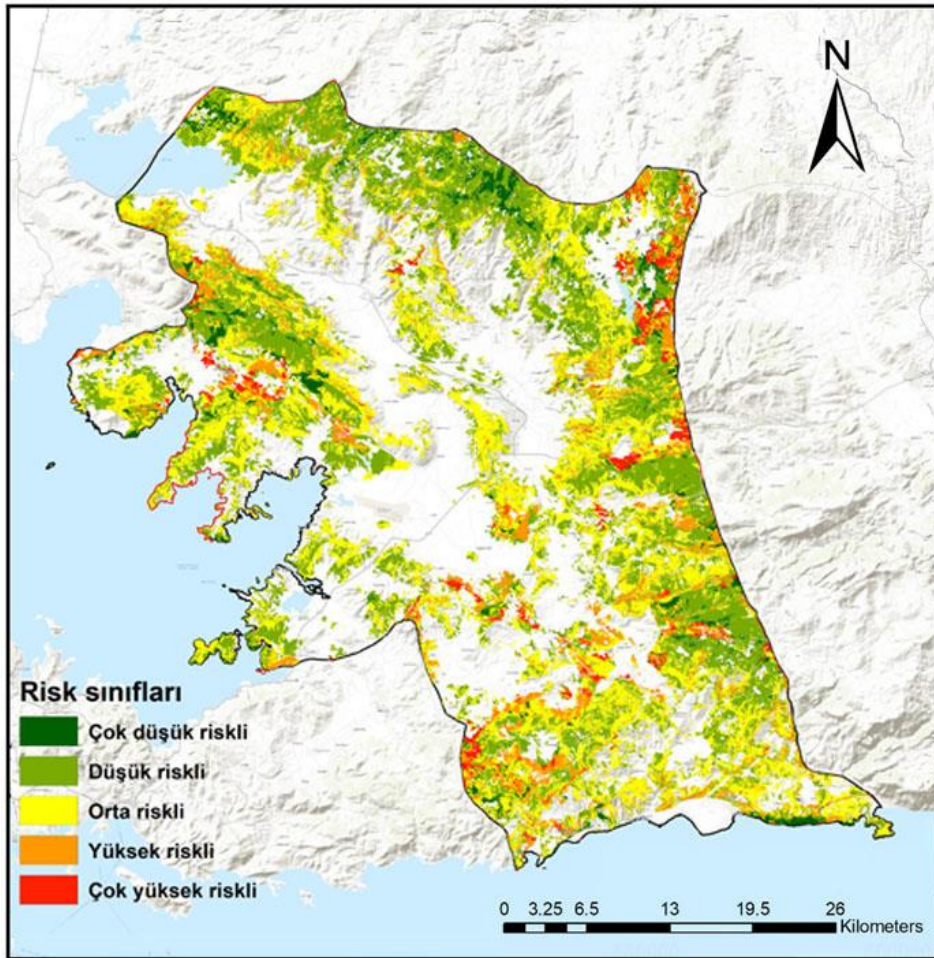
Model veri kümesinin ROC değeri modelin tahmin oranını ve gelecekteki olayları ne kadar iyi veya kötü öngördüğünü ifade etmektedir. Buna göre AUC değeri açısından, < 0.6 zayıf, 0.6 - 0.7 ortalama, 0.7 - 0.8 iyi, 0.8 - 0.9 çok iyi ve > 0.9 mükemmel model performansı olarak değerlendirilmektedir (Hanley ve McNail 1982). Şekilde görüldüğü gibi ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) 0.902 değerine sahiptir bu da testin performansının mükemmel olarak nitelendirilebileceği anlamına gelmektedir.

3.2. Yangın risk haritasının oluşturulması

Yangın risk haritası oluşturmak için, tüm bağımsız değişkenler CBS ortamında katmanlara dönüştürülmüştür. Lojistik regresyon modellemesi ise Bölüm 2’de belirtilen yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yangın olasılığı cut-off (kesme) noktaları (Hein ve Weiskittel 2010) kullanarak ikili 0-1 verilerine dönüştürülmüş ve kesme değerinden büyük veya ona eşit değerlere sahip noktalar yangın risk bölgesi olarak kabul edilirken, cut-off değerinin altında değerlere sahip olan noktalar yangın riski olmayan yerler olarak kabul edilmiştir. Regresyonun cut-off (kesme) değeri 0.346’dır. Denklem 2’de formüle edilmiş olan regresyon denklemi, Tablo 2’den elde edilen değerlere göre ArcGIS 10.7 ortamında map algebra aracı Tablo 1’de belirtilmiş olan “bağımsız değişken sınıf değerleri” kullanılarak mekansallaştırılmıştır.

$$y = 0.036153 + (0.386409 \times \text{gelişme çağı}) + (-0.56716 \times \text{meşcere kapalılığı}) + (-0.04826 \times \text{eğim}) + (0.958323 \times \text{bakı}) + (-0.00203 \times \text{yükseklik}) + (0.000187 \times \text{yerleşimlere uzaklık}) + (0.000145 \times \text{yollara uzaklık}) + (0.000429 \times \text{tarım alanlarına uzaklık}) \quad (2)$$

Üretilen harita doğal kırılma sınıflandırması (Jenks) yöntemi ile beş risk sınıfına ayrılmıştır bunlar: çok düşük risk, düşük risk, orta risk, yüksek risk ve çok yüksek risk şeklindedir (Şekil 5).



Şekil 5: Lojistik regresyon yöntemi ile elde edilen orman yangını risk haritası

Ortaya çıkan risk haritasındaki alansal dağılım incelendiğinde toplam orman alanının %4’ünün çok yüksek riskli, %12’sinin yüksek riskli olduğu, %34’ünün orta riskli, %42’sinin düşük riskli, %8’inin çok düşük riskli ve alanlar olduğu görülmüştür.

4. Sonuç ve Tartışma

Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Lojistik regresyon kombinasyonu, orman alanlarının yangına duyarlılıklarının belirlenmesi ve yangın riski modelinin oluşturulmasında kullanılan güvenilir yöntemlerden biridir. İki yanıtlı bir değişkenin bir veya daha fazla bağımsız değişkenle olan ilişkisini çözümlen bir model kullanılarak orman yangınlarının, eğim, bakı, yükseklik, meşcere gelişme çağı, meşcere kapalılığı, yollara uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık ve tarım alanlarına uzaklık gibi değişkenlerle etkileşimlerini irdeleyen bir orman yangını risk haritası ortaya konulmuştur.

Modele göre oluşturulan risk haritasının, orman yangınlarına son derece hassas bir coğrafyada bulunan Muğla ili Milas ilçesi için orman yangınları ile mücadele ve yangından etkilenme olasılığı yüksek olan alanlar hakkında bilgi düzeyinin artırılması konularında katkı sağlayabileceği düşünülebilir.

29 Temmuz 2021 tarihinde başlayan ve Milas ilçesinin de dahil olduğu 9 ilçeyi etkileyen orman yangınında Muğla ilinde toplamda 66.874 ha, Milas ilçesinde ise 8.480 ha orman alanı yangından zarar görmüştür (URL-4 2021). Bunlara ek olarak yaşam alanları orman olan yaban hayatı ve ormana yakın alanlardaki yerleşim yerleri de yangından etkilenmiştir. Yangın tehlikesi bulunan birçok yerleşim yeri tahliye edilmiş, yangına maruz kalan yerleşimlerdeki birçok yapı hasar görmüş ya da kullanılamaz hale gelmiştir. Yaşanmış olan bu durum yangınların sıklığını en aza indirmek ve yangınlardan kaynaklanan hasarları önlemek için yangın risk ve tehlike sınıflarının belirlenmesi gerekliliğini net bir şekilde ortaya koymuştur.

Bu çalışmada kurgulanan lojistik regresyon modeli, eğimin, yüksekliğin, meşcere kapalılığının, yollara, yerleşim yerlerine ve tarım alanlarına uzaklıkların yangınlara yüksek anlamlı korelasyona (ilişkiye) sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Buna göre eğim faktörü yangının yayılma oranını etkilemektedir. Çalışma alanında yüksek eğimli alanlardan ziyade düşük eğimli alanlarda yangın izleri gözlemlenmiştir. Bu durum düşük eğimlerin tarımsal kullanım için uygun olmaları ve bu alanlarda başlayan yangınların orman alanlarına nüfuz etmelerinden kaynaklanabilmektedir (Jaiswal vd. 2002; Dong vd. 2005).

Yükseklik faktörü, yangın sezonunun uzunluğunu ve arazi örtüsünü etkilemektedir (Pyne vd. 1996). Daha yüksek sıcaklık ve daha düşük yağış nedeniyle, düşük rakımlı alanlarda orman yangını olma olasılığı daha yüksektir. Bu sonuçlar, Setiawan vd. (2004) ve Dong vd. (2005) gibi benzer araştırmaların bulgularıyla da tutarlılık göstermektedir.

İnsan faaliyetleri, insanların neden olduğu yangınların konumları ile mekânsal ilişkilere sahiptir. Yollara uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık gibi kültürel faktörler bu alanlara yakın yerlerde ortaya çıkan orman yangınları ile yakından ilişkilidir. Milas ilçesinde orman varlığının fazla olması, kaçınılmaz bir şekilde insan faaliyetleri ile orman alanlarının temas halinde bulunmalarına neden olmakta ve bu durum orman yangını olasılığını yükseltmektedir. Kalabokidis vd. (2002) ve Dong vd. (2005)'nin çalışmaları da buna paralellik göstermektedir.

İklim verileri, dinamik bir yapıda olmaları, toprak nemi, bitki canlılık değerleri gibi verilerin ise istenilen detay seviyesinde bulunmaması sebebiyle modele dahil edilmemiştir. Ancak bu verilerin de uygun detay seviyelerinde LR modeline eklenmesi ile dinamik bir harita oluşturularak model kalitesini artırılabilir. Orman alanlarının topoğrafik özellikleri, meşcere özellikleri, yerleşim yerlerine ve yollara uzaklıkları gibi değişkenler 10 – 25 yıllık bir sürede değişim gösterebilir (Zglobicki vd. 2016; Nuissl ve Siedentop 2021) bu yüzden bu verilerin belirli zaman aralıklarında güncellenerek değişkenler arasındaki ilişkilerin revize edilmesi de risk sınıflarındaki değişimlerin takip edilmesi açısından gereklidir.

Bu çalışma, lojistik regresyon modellemesi ve coğrafi bilgi sisteminin orman yangını risk bölgelerinin belirlenmesi ve dolayısıyla yönetimi için uygun olduğunu göstermektedir. CBS ve envanter verileriyle birleştirilmiş lojistik regresyon yöntemi, orman yangını riskini etkileyen her bir faktör analize dahil edildiğinde, yangın riski haritalaması için faydalı olacaktır. Bu bağlamda ortaya koyulan orman yangını risk haritası, yangınları ve hasarlarını en aza indirmek için yangın yönetiminde yararlı bir araç olacak ve karar vericilerin yüksek yangın riski olan yerleri belirlemeleri ve bu alanları etkili bir şekilde yönetmelerine olanak sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Ager A.A., Vaillant N.M., Finney M.A., (2011), *Integrating fire behavior models and geospatial analysis for wildland fire risk assessment and fuel management planning*, Journal of Combustion, 2011, 572452, doi: 10.1155/2011/572452.
- Akkaş M.E., Bucak C., Boza Z., Eronat H., Bekereci A., Erkan A., Cebeci C., (2008), *Büyük orman yangınlarının meteorolojik veriler ışığında incelenmesi*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No 36, Urla, İzmir.
- Bewick V., Cheek L., Ball J., (2005), *Statistics Review 14: Logistic Regression*, Critical Care, 9(1), 112-118.
- Bilgili E., (2014), *Orman Koruma Dersi Geçici Ders Notları* (Yayınlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, ss.13–56.
- Brown A.A., Davis K., (1973), *Forest Fire: Control And Use*, New York: McGraw-Hill.
- Butler B.W., Anderson W.R., Cathpole E.A., (2007), *Influence of slope on fire spread rate*, The fire environment innovations, management, and policy; conference proceedings, ss.75-83.
- Catry F.X., Rego F.C., Moreira F., (2009), *Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal*, International Journal of Wildland Fire, 18, 921–931.
- Chuvieco E., Salas J., (1996), *Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS*, International Journal of Geographical Information Science, 10(3), 335-340.

- Chen D., (2018), *Prediction of Forest Fire Occurrence in Daxing'an Mountains Based on Logistic Regression Model*, Forest Resources Management, 1, 116-122.
- Chuvieco E., Congalton R.G., (1989), *Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping*, Remote Sensing Environment 29(2), 151–158.
- Cleve C., Kelly M., Kearns F.R., Moritz M., (2008), *Classification of the wildland–urban interface: a comparison of pixel-and object-based classifications using high-resolution aerial photography*, Computers, Environment and Urban Systems, 32(4), 317-326.
- Deng O., Su G.F., Huang Q.Y., Li Y.Q., (2013), *Forest fire risk mapping based on spatial logistic model of northeastern china forest zone*, Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem, ss.181-192.
- Diaz J., Martinez J., Alvarez A., Banque M., Birkmann J., Feldmeyer D., Vayreda J., (2021), *Characterizing forest vulnerability and risk to climate-change hazards*, Frontiers in Ecology and the Environment, 19(2), 126-133.
- Dong X., Li-min D., Guo-fan S., Lei T., Hui W., (2005), *Forest fire risk zone mapping from satellite images and gis for baihe forestry bureau, Jilin, China*, Journal of Forestry Research, 16(3), 169–174.
- Dupuy J.L., (1995), *Slope and fuel load effects on fire behaviour: laboratory experiments in pine needles fuel beds*, International Journal of Wildland Fire, 5(3), 153-164.
- Finney M.A., (2007), *A computational method for optimising fuel treatment locations*, International Journal of Wildland Fire, 16(6), 702–711.
- Gai C., Weng W., Yuan H., (2011), *GIS-Based Forest Fire Risk Assessment and Mapping*, Proceedings of the 2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, 15-19 April, Kunming and Lijiang City, China, ss. 1240-1244.
- Garcia-Martinez E., Chas M., Touza J., (2013), *Forest fires in the wildland–urban interface: a spatial analysis of forest fragmentation and human impacts*, Applied Geography, 43, 127-137.
- Garson D., (2008), *Logistic Regression: Statnotes*, North Carolina State University, 33ss.
- Gheshlaghi A., Feizizadeh H. B., Blaschke T., (2020), *GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic*, Journal of Environmental Planning and Management, 63(3), 485–495.
- Goldarag J.F., Mohammadzadeh A., Ardakani A.S., (2016), *Fire risk assessment using neural network and logistic regression*, Journal of the Indian Society of Remote Sensing volume 44, 885–894.
- Hein S., Weiskittel A.R., (2010), *Cutpoint analysis for models with binary outcomes: a case study on branch mortality*. European Journal of Forest Research, 129, 585–590.
- Hosmer D.W., Lemeshow S., (2000), *Applied Logistic Regression*, Wiley, New York, 392ss.
- Hosmer D.W., Hosmer T., Le Cessie S., Lemeshow S., (1997), *A comparison of goodness-of-fit tests for the logistic regression model*, Statistics in Medicine, 16(9), 965-980.
- Hanley J.A., McNeil B.J., (1982), *The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve*, Radiology, 143(1), 29-36.
- Hernandez-Leal P.A., Arbelo M., Gonzalez-Calvo A., (2006), *Fire risk assessment using satellite data*, Advances in Space Research, 37(4), 741-746.
- Jaiswal R.K., Mukherjee S., Raju K.D., Saxena R., (2002), *Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4(1), 1-10.
- Johnson E.A., Gutsell S.L., (1994), *Fire frequency models, methods and interpretations*, 25, 250–277.
- Kalabokidis K., Konstantinidis P., Vasilkos C., (2002), *GIS analysis of physical and human impact on wildfire patterns*. Forest fire research and wild land fire safety 2nin İçinde (Viegas D., Ed.), Millpress, Rotterdam.
- Karabulut M., Karakoç A., Gürbüz M., Yakup K., (2013), *Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Başkonuş Dağında (Kahramanmaraş) Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi*, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6(24), 171–179.
- Kavlak M.O., Çabuk S.N., Çetin M., (2021), *Development of forest fire risk map using geographical information systems and remote sensing capabilities: Ören case*, Environmental Science and Pollution Research, 28, 33265–33291.
- Koutsias N., Riva J., Cabello F., Renault N., (2004), *Mapping wildfire occurrence at regional scale*, Remote Sensing of Environment, 92(3), 363-369.
- Legendre P., Legendre L., (1998), *Numerical Ecology*, Elsevier, 1006ss.
- Massada A.B., Radeloff V.C., Stewart S.I., Hawbaker, T.J., (2009), *Wildfire risk in the wildland-urban interface: a simulation study in Northwestern Wisconsin*, Forest Ecology and Management, 258, 1990-1999.
- McArthur A.G., (1976), *Fire Danger Rating Systems*, FAO Consultation on Fires in the Mediterranean Region, Rome.
- Milanovic S., Markovic N., Pamucar D., Gigovic L., Kostic D., (2020), *Forest fire probability mapping in Eastern Serbia: Logistic regression versus random forest method*, Forests, 12(1), 5, doi: doi.org/10.3390/f12010005.
- Modugno S., Balzter H., Cole B., Borrell P., (2016), *Mapping regional patterns of large forest fires in wildland–urban interface areas in Europe*, Journal of Environmental Management, 172, 112-126.
- Neyişçi T., Ayaşlıgil Y., Ayaşlıgil T., Sönmezşık S., (1999), *Yangına Dirençli Orman Kurma İlkeleri*, TMMOB Orman Müh. Odası Yayın No:21, Ankara, 140ss.
- Novo A., Farinas-Alvarez N., Martinez-Sanchez J., Gonzalez-Jorge H., Fernandez-Alonso J.M., Lorenzo H., (2020), *Mapping forest fire risk—a case study in Galicia (Spain)*, Remote Sensing, 12(22), doi: 10.3390/rs12223705.
- Nuissl H., Siedentop S., (2021), *Urbanisation and land use change*, Sustainable land management in a European Context'in İçinde (Weith, T., Barkmann, T., Gaasch, N., Rogga, S., Strauß, C., Zscheischler, J., Eds.), Springer, Cham, ss.75-99.
- Pais S., Aquilue N., Campos J., Sil A., Marcos B., Martinez-Freiria F., Dominguez J., Brotons L., Honrado J.P., Regos A., (2020), *Mountain farmland protection and fire-smart management jointly reduce fire hazard and enhance biodiversity and carbon sequestration*, Ecosystem Services, 44, 101143, doi: 10.1016/j.ecoser.2020.101143.
- Pan J., Wang W., Li J., (2016), *Building probabilistic models of fire occurrence and fire risk zoning using logistic regression in Shanxi Province, China*, National Hazards, 81, 1879–1899.
- Parajuli R.R., (2020), *Citizen disaster science education for effective disaster risk reduction in developing countries*, Geoenvironmental Disasters, 7(1), 12, doi: 10.1186/s40677-020-00150-2.

- Patz J.A., Frumkin H., Holloway T., (2014), *Climate Change: Challenges and Opportunities for Global Health*, Jama, 312(15), 1565-1580.
- Pham B.T., Prakash I., (2018), *Machine Learning Methods of Kernel Logistic Regression and Classification and Regression Trees for Landslide Susceptibility Assessment at Part of Himalayan Area, India*, Indian Journal of Science and Technology, 11(12), 1-10, doi: 10.17485/ijst/2018/v11i12/99745.
- Pyne S.J., Andrews P.L., Laven R.D., (1996), *Introduction To Wildland Fire*, Wiley, Toronto, 808ss.
- Rogan J., Miller J., (2006), *Integrating GIS and remotely sensed data for mapping forest disturbance and change*, Understanding Forest Disturbance and Spatial Pattern: Remote Sensing and GIS Approaches, ss.133-172.
- Sarı F., (2020), *Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Muğla, Turkey: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS*, Forest Ecology and Management, 480(15), 118644, doi: 10.1016/j.foreco.2020.118644.
- Setiawan I., Mahmud A., Masnsor S., Shariff A., Nuruddin A., (2004), *GIS-grid-based and multi-criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia*, Disaster Prevention and Management, 13(5), 379-386.
- Stoltzfus J. C., (2011), *Logistic regression: a brief primer*, Academic Emergency Medicine, 18(10), 1099-1104.
- URL-1, (2021), *Ormancılık istatistikleri 2017-2020*, Orman Genel Müdürlüğü, <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/resmi-istatistikler>, [Erişim 7 Mayıs 2021].
- URL-2, (2021), *Büyükşehir'den Yangın Mağdurlarına Destek*, Muğla Büyükşehir Belediyesi Resmî Web Sayfası, <https://www.mugla.bel.tr/haber/buyuksehirden-yangin-magdurlarina-destek>, [Erişim 2 Eylül 2021].
- URL-3, (2019), *Orman Yangınlarıyla Mücadelede Yenilikçi Yaklaşımlar Grubu Çalışma Belgesi*, Tarım Orman Şûrası, <http://www.tarimormansurasi.gov.tr/Sayfa/Detay/1416>, [Erişim 7 Mayıs 2021].
- URL-4, (2021), *Sayısal yükseklik modeli (DEM)*, Alaska Uydu Tesisi (ASF), <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>, [Erişim 5 Mayıs 2021].
- Van Wagner C.E., (1988), *Effect of slope on fires spreading downhill*, Canadian Journal of Forest Research, 18(6), doi: doi.org/10.1139/x88-125.
- Viegas D.X., (2004), *A mathematical model for forest fires blowup*, Combustion Science and Technology, 177(1), 27-51.
- Xiangwei C., Long S., Qiangxue W., Shujing W., Dao G., Haiqing H., (2011), *Response characteristics and prospect of forest fire disasters in the context of climate change in China*, College of Forestry, Northeast Forestry University.
- Xu D., Dai L., Shao G., Tang L., Wang H., (2005), *Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for baihe forestry Bureau, Jilin, China*, Journal of Forestry Research, 16, 169-174.
- Zglobicki W., Gawrysiak L., Baran-Zglobicka B., (2016), *Long-term forest cover changes, within an agricultural region, in relation to environmental variables, Lubelskie province, Eastern Poland*, Environment and Earth Sciences, 75, 1373, doi: 10.1007/s12665-016-6195-z.
- Zhang Y., Xin J., Mu L., Jiao Z., Liu H., Liu D., (2019), *A deep learning based forest fire detection approach using UAV and YOLOv3*, 2019 1st International Conference on Artificial Intelligence, ss. 1-5, doi: 10.1109/ICIAI.2019.8850815.
- Zhang Z.X., Zhang H.Y., Zhou D.W., (2010), *Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires*, Journal of Arid Environments, 74(3), 386-393.