

## Modelling of spatial prediction of fire ignition risk in the Antalya-Manavgat district

Coşkun Okan Güney<sup>1\*</sup>, Kürşad Özkan<sup>2</sup>, Özdemir Şentürk<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> West Mediterranean Forestry Research Institute, 07010, Antalya, Turkey

<sup>2</sup> Suleyman Demirel University, Faculty of Forestry, Department of Soil Science Ecology, 32260, Isparta, Turkey

<sup>3</sup> Mehmet Akif Ersoy University, Golhisar Vocational School, 15400, Burdur, Turkey

\* Corresponding author e-mail (İletişim yazarı e-posta): [coskunokanguney@ogm.gov.tr](mailto:coskunokanguney@ogm.gov.tr)

Received (Geliş): 03.08.2015 - Revised (Düzeltilme): 09.10.2015 - Accepted (Kabul): 21.10.2015

**Abstract:** The aim of this study was to present the fire ignition risk for Manavgat-Antalya District to enable the planning of firefighting sources in a more qualified way. From sites within the study area, where forest fires broke out or not during the past five years, we obtained geographical coordinates, climate data, topographical data and variables like bedrock, stand types, settlement areas, roads and power lines and prepared them with geographical information systems. For all variables we performed Wilcoxon rank-sum test, interspecific correlation analysis and logistic regression analysis and obtained 4 different models. When ROC analysis was applied to these models, model 4 was determined as the most significant model and therefore used to prepare the fire ignition risk map for the Manavgat-Antalya District. According to this map, ignition risk within the study area was highest in and around settlement areas where roads and power lines concentrate and Turkish red pine is distributed, but it was lowest afar of settlement areas without roads and where species apart from Turkish red pine are distributed. According to the results some suggestions were made.

**Keywords:** Forest fire, ignition risk, fire risk, fire risk map, forest fire occurrence probability.

## Antalya-Manavgat yöresi ormanlarında tutuşma riskinin coğrafi dağılım modellemesi

**Özet:** Bu çalışmanın amacı Antalya-Manavgat yöresinde yangın çıkma riskini ortaya koyarak yangın söndürme kaynaklarının daha nitelikli olarak planlanmasına katkı sağlamaktır. Çalışma alanında son 5 yılda orman yangını çıkan ve çıkmayan mevkilere ait koordinatlar, iklim verileri, topoğrafik veriler, anakaya, meşcere tipleri, yerleşim alanları, yollar ve enerji nakil hatları değişkenleri ile ilgili veriler coğrafi bilgi sistemleri ortamında hazırlanmıştır. Değişkenlere sırasıyla temel bileşenler analizi, Wilcoxon sıra istatistiği, nitelikler arası ilişki analizi, lojistik regresyon analizi uygulanmış ve 4 adet model elde edilmiştir. Daha sonra ROC analizi uygulanarak en anlamlı modelin model 4 olduğu belirlenmiştir ve Antalya-Manavgat yöresi için tutuşma riski haritası ortaya çıkarılmıştır. Bu haritaya göre çalışma sahasında yerleşim ve çevresi, yolların ve enerji nakil hatlarının yoğunlaştığı ve kızılçamın yayılış alanındaki kısımlarda tutuşma riskinin en yüksek olduğu, ancak yolu olmayan, yerleşim yerlerinden uzak ve kızılçam dışındaki türlerin yayılış gösterdiği yerlerde tutuşma riskinin en düşük olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan sonuçlara göre bazı önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Orman yangınları, tutuşma riski, yangın riski, yangın risk haritası, orman yangını çıkma olasılığı.

### 1.GİRİŞ

Her yıl Avrupa-Akdeniz ülkelerinde binlerce hektar orman yangınlarla yok olmaktadır (Martínez ve ark., 2008). Ülkemizin Akdeniz, Ege ve Marmara kıyılarında 1700 km boyunca uzanan 12 milyon hektarlık

**Cite (Atıf) :** Güney, Ç.O., Özkan, K., Şentürk, Ö., 2016. Modelling of spatial prediction of fire ignition risk in the Antalya-Manavgat district. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66(2): 459-470. DOI: [10.17099/jffiu.42696](http://dx.doi.org/10.17099/jffiu.42696)



bölümü yangına hassas bölümü oluşturmaktadır (Başaran ve ark., 2004). Orman yangınına hassas olan yerlerde sabit ve değişken faktörlere göre değişkenlik gösteren yangın risk ve tehlikesinin sağlıklı bir şekilde tespitinin gerekliliği bir gerçektir (Chuvieco ve Congalton, 1989). Yapılacak olan yangın planlarının, potansiyel yangınların önlenmesi, meydana gelen zararların en aza indirilmesi ve yangın söndürme çalışmaları esnasında yararlanılabilir düzeyde olması gerekmektedir ve bu sayede de yangın yöneticilerine en yüksek düzeyde fayda sağlamalıdır (Vasconcelos ve ark., 2001).

Coğrafi bilgi sistemleri ormancılık çalışmalarında yönetim ve karar destek sistemleri içerisinde kullanılmaktadır. Uzaktan algılama verilerinin coğrafi bilgi sistemleri ile kullanılmasıyla yangınların önceden tahmin edilmesi, modellenmesi, yangın oluşumunun izlenmesi ve söndürme çalışmalarının planlanması, yangın sonrası oluşan zararın tespiti gibi işlemler sistemli ve sağlıklı bir şekilde yapılabilmektedir (Erten ve ark., 2005; Cleve ve ark., 2008).

Yangına karşı alınan önlemler yangın çıkma riskinin düşürülmesi ve yangın çıktıktan sonra onun söndürülmesi veya yangınla oluşan zararın en aza indirilmesi kısımlarından oluşmaktadır. OGM özellikle yangın çıktıktan sonra yangınla mücadele kısmına odaklanmak zorunda kalmış ve bu yönde teknoloji satın almış, ekipler oluşturmuş, yangın esnasında organizasyon konusunda planlamalar yapmış ve son yıllarda başarılı sonuçlar almaktadır. Ancak; OGM'nin yangın çıkma riskini tahmin etme yönünde gayretlerine rağmen bu konuda yeterli veri altlığı bulunmamaktadır. Zira OGM modellemeye dayanan yangın risk haritalarından mahrumdur. Özellikle çalışma sahasında yangın çıktıktan sonra alınan önlemlerin ciddiyeti ve yeterliliğine rağmen büyük zararlar söz konusu olmuştur. Anlaşılan odur ki, yangınla mücadele konusunda Manavgat yöresinde ve ülkenin diğer yangın riski olan alanlarında yangın risk haritalarının veya tutuşma risk haritalarının oluşturulması gerekmektedir. Bu sayede yangın riskinin yüksek olduğu alanlara daha fazla yoğunlaşarak yangınla mücadele konusunda çok daha etkin önlemler alınabilir.

Yangının başlangıcı olan tutuşma verisi coğrafi koordinatları içeren sadece var verisidir. Diğer yandan bu veriye ilaveten "yok" verilerinin elde edilmesi de mümkündür. Yok verileri bölgenin diğer alanlarında o yörede yaşayan insanlar ile konuşularak ve/veya alan envanteri ile uzun süreden beri hiçbir yangının gerçekleşmediği durumlar için coğrafi koordinatlara göre elde edilebilir. Böylece yangının başlangıcı olan tutuşma verileri var-yok şeklinde elde edilmiş olur ki, bu durumda tutuşma verisi coğrafi modelleme için değerlendirilebilir (Vasconcelos ve ark., 2001).

Akdeniz bölgesinde yangın çıkma riski yüksektir ve yangınlar tutuşma ile başlamaktadır. Bu sebepten bir bölgede yangın risk haritasının oluşturulmasında coğrafi olarak tutuşma risk modellemesi önem arz etmektedir. Orman yangınları Akdeniz Bölgesinin coğrafyası, iklimi ve bitki örtüsü gibi özelliklerin etkisiyle yakın ilişki içerisinde (Sharples ve ark., 2009). Yörenin zaman içinde büyük nüfus hareketliliğine maruz kalması, yerleşim yerlerinin orman içlerine ve kenarlarına kurulmuş olması, orman yangınlarının her zaman bir risk unsuru olarak kalmasını sağlamıştır (Başaran ve ark., 2004; Moreira ve ark., 2011).

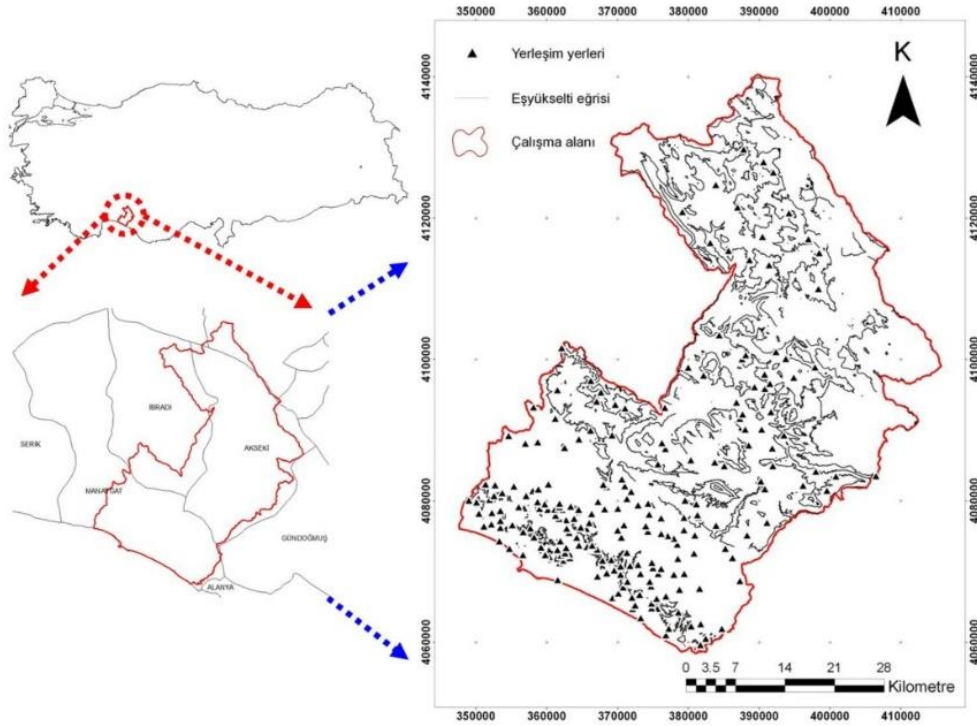
Orman yangınlarının çıkış sebeplerine bakıldığında % 90'ından fazlasının insan kaynaklı olduğu görülmektedir (San-Miguel-Ayanz ve ark., 2013). Yangın çıkma ihtimali büyük oranda insan faaliyetlerine bağlıdır (Bajocco ve Ricotta, 2008; Pezzatti ve ark., 2009). Yangın çıkma ihtimalinin arazi yapısı (Cstry ve ark., 2010b), yanıcı madde özellikleri (Turner ve Romme, 1994), nüfus yoğunluğu (Badia ve ark., 2011), tarım faaliyetleri (Chas-Amil ve ark., 2013), enerji nakil hatlarının yoğunluğu (Lampin-Maillet ve ark., 2010), yol yoğunluğu (Ganteaume ve Jappiot, 2013) ve iklim verileriyle (Pausas, 2004; Oliveira ve ark., 2012) ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmanın amacı Antalya-Manavgat orman yöresinde coğrafi bilgi sistemleri ve analitik yöntemler aracılığı ile bir yangının başlangıç noktası olan tutuşmanın risk modellemesini gerçekleştirmektir. Bu amaçla orman yangınlarının çıkmasında etkili olan iklim, yeryüzü şekli, vejetasyon, yerleşim durumu, yol ve enerji nakil hatları gibi faktörler kullanılarak tutuşmaya sebep olan en önemli faktörlerinin neler olduğu tespit edilmiş ve en etkin faktörler ile en iyi tutuşma modeli değişik analitik yöntemler (genelleştirilmiş doğrusal model, genelleştirilmiş eklemeli model ve/veya sınıflandırma ve regresyon ağacı yöntemi) kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır.

## 2.MATERYAL YÖNTEM

### 2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Antalya ilinin Manavgat ve Akseki ilçelerinin ormanlık alanları olarak seçilmiştir. Toplam alanı 254.253 hektardır (Şekil / Figure 1). Bu alanın seçilmesinde orman yangınlarının çoğunlukla çıktığı, yangına hassas bölge olması ve tür çeşitliliğine sahip olması önemli rol oynamıştır. Çalışma alanında yükseklik deniz seviyesinden başlar ve 2700 m'ye kadar ulaşır. Çalışma alanının anakaya yapısı genel olarak kalkerli bir yapıya sahiptir. Manavgat'ta ortalama sıcaklık 18,6 °C ve ortalama yağış miktarı 1089,6 mm iken, Akseki'de ortalama sıcaklık 13,1 °C ve ortalama yağış miktarı 1335,5 mm'dir. Çalışma alanında bulunan bitki türlerinin başında kızılçam (*pinus brutia*), karaçam (*Pinus nigra*), fıstıkçami (*Pinus pinea*), servi (*Cupresus sempervirens*), sedir (*Cedrus libani*), toros göknarı (*Abies cilicica*), kokulu ardıç (*Juniperus foetidissima*), boylu ardıç (*Juniperus excelsa*), andız (*Juniperus drupaceae*), katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*), Kermes meşesi (*Quercus coccifera*), Saçlı meşe (*Quercus cerris*), Lübnan meşesi (*Quercus libani*), saplı meşe (*Quercus robur*), defne (*Laurus nobilis*) ve çınar (*Platanus orientalis*) gelmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu  
Figure 1. Geographical position of the study area

### 2.2 Çalışma Alanında Kullanılan Veriler

Yangın risk alanlarının modellenmesinde iklim değişkenleri ve arazi değişkenleri olmak üzere iki farklı açıklayıcı altlık grubu kullanılmıştır. Bütün değişkenler 1/25000 ölçeğinde sayısal topoğrafik haritaların altlık olarak kullanılmasıyla hazırlanmıştır. Arazi değişkenleri 100 × 100 m. hücre büyüklüğüne sahip eğim, baki, yükselti, anakaya, arazi formu, topoğrafik pozisyon indeksi, enerji nakil hatları, yerleşim alanları, yollar ve meşcere tipleri değişkenlerinden oluşmaktadır. Her bir değişken için ayrı ayrı harita oluşturulmuştur. Bunlardan (Hijmans ve ark., 2005) tarafından hazırlanan iklim değişkenleri <http://www.worldclim.org> internet adresinden ücretsiz olarak indirilmiştir. İklim değişkeni olarak 19 tane farklı değişken kullanılmıştır (Tablo / Table 1).

Tablo 1. İklim değişkenlerine verilen kodlar  
Table 1. Abbreviations of climate variables

İklim değişkeninin açıklaması	İklim Değişken Kodu	İklim değişkeninin açıklaması	İklim Değişken Kodu
Yıllık ortalama sıcaklık	bio1	En soğuk ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	bio11
Gündüz sımf ortalaması	bio2	Yıllık yağış	bio12
Eş ısı	bio3	En nemli ayın yağışı	bio13
Mevsimsel sıcaklık	bio4	En kurak ayın yağışı	bio14
En sıcak ayın en yüksek sıcaklığı	bio5	Mevsimsel yağış	bio15
En soğuk ayın en düşük sıcaklığı	bio6	En nemli ilk üç ayın yağışı	bio16
Yıllık sıcaklık	bio7	En kuru ilk üç ayın yağışı	bio17
En nemli ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	bio8	En ılık ilk üç ayın yağışı	bio18
En kurak ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	bio9	En soğuk ilk üç ayın yağışı	bio19
En ılık ilk üç ayın ortalama sıcaklığı	bio10		

Çalışma alanında son 5 yılda çıkmış yangınların koordinat verileri yangın kayıtlarından çıkartılmış ve harita üzerine işlenmiştir. Yine uzun zamandan beri yangın çıkmamış alanlar yangın kayıtları, yöredeki köylerde yaşayan yaşlı insanlar, köy muhtarları ve orada uzun yıllardır çalışan yangın söndürme işçileri ile görüşülerek mevkileri tespit edilmiş ve koordinatlandırılarak bu harita üzerine işlenmiştir. Sonuçta da yangın çıkan 305 adet nokta ve çıkmayan 91 adet nokta var-yok verisi olarak hazırlanmıştır. Bütün bu veriler hazırlanırken ArcGis 9 programında 100 x 100 m büyüklüğünde bir ızgara şebekesi oluşturularak analizler için hazır hale getirilmiştir ve her birine ayrı kod tanımlanmıştır (Tablo / Table 2).

Tablo 2. Değişkenlere verilen kodlar  
Table 2. Abbreviations of variables

Değişkenlerin açıklamaları	Değişkenlere ait kodlar	Değişkenlerin açıklamaları	Değişkenlere ait kodlar
Eğim	EGIM	Kanyon	KNYN
Yükselti	YUKSELTİ	Orta Yamaç Drenajı	OYDRE
Bakı Uygunluk İndeksi	BUIN	Üst Yamaç Drenajı	UYDRE
Anakaya	MIOSEN	U Şeklindeki Vadiler	UVADI
Anakaya	ALUVYON	Düzlük, Ovalık	DOVA
Anakaya	METAMORFIK	Alçak Eğimler	AEGIM
Anakaya	PERMIEN	Üst Eğimler	USTEGIM
Anakaya	TERSIYER	Yerel Sırtlar	YSIRT
Anakaya	KRATESE	Orta Eğimli Sırtlar	OESIRT
Anakaya	EOSEN_FLIS	Dağ Zirvesi	DZIRVE
Anakaya	LIAS	Saf Kızılçam Normal Koru	SAFCZNOR
Anakaya	KARBONFIBER	Saf Kızılçam Bozuk Koru	SAFCZBOZ
Anakaya	DEVONIEN	Karışık Kızılçam Normal Koru	KARCZNOR
Topografik Pozisyon İndeksi	TPI	Diğer Türler Normal Koru	DTNOR
En Soğuk Ayın En Düşük Sıcaklığı	bio6	Diğer Türler Bozuk Koru	DTBOZ
Yüksek Gerilim Enerji Nakil Hattı	YUKSEKGER	Kum, Taş ocağı, Kayalık, Taşlık, Depo, Orman içi açıklık, Ziraat alanı, İskan vb.	DIGERTIP
Alçak Gerilim Enerji Nakil Hattı	ALCAKGER	Ormanlık Alanlar	ORMAN
Yerleşim Alanları	YERLESIM	Yollar	YOL

### 2.3 İstatiksel Değerlendirme

Çalışmada kullanılan iklim değişkenleri kendi aralarında yüksek ilişkiye sahiptir. Bu yüzden yapılacak olan analizlerde sonuçların daha güvenilir çıkması amacıyla temel bileşenler analizi uygulanmıştır. Böylece iklim değişkenleri içerisinde birbirini temsil edebilecek değişken/değişkenler belirlenerek az değişkene indirgenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada tutuşma risk modellemesinde etkili olabilecek değişkenlerin belirlenmesi amacıyla Wilcoxon Sıra İstatistik testi yapılmıştır.

Bağımlı değişken ile var yok veri matrisine SPSS 20 paket programı kullanılarak nitelikler arası ilişki analizi uygulanmıştır. İlişkili katsayı hesabında C3 formülünden faydalanılmıştır (Cole, 1949). İlk olarak Denklem 1 kullanılarak ki kare değerleri ve önem seviyeleri elde edilmiştir. Ardından istatistiksel açıdan önemli olan ilişkilerin pozitif ya da negatif yönlü olup olmadıkları belirlenmiştir (Poole, 1974). Son aşamada ise Denklem 2 kullanılarak C3 değeri elde edilmiştir.

$$\chi^2 = \frac{(ad-bc)^2 n}{(a+b)(a+c)(c+d)(b+d)} \quad (1)$$

$$C3 = \frac{4(ad-bc)}{(a+d)^2 + (b+c)^2} \quad (2)$$

Son olarak da, en az değişkeni kullanarak en iyi uyuma sahip olacak şekilde bağımlı (sonuç) değişkeni ile bağımsız değişkenler kümesi (açıklayıcı değişkenler) arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek ve genel olarak kabul edilebilir modeli kurmak amacıyla lojistik regresyon analizi uygulanmıştır (Çokluk, 2010).

## 3. BULGULAR

### 3.1 İklim Değişkenlerine Uygulanan Temel Bileşenler Analizi

İklim değişkenlerinin birbirleri ile olan ilişkileri genelde yüksektir. Dolayısıyla birbirini güçlü bir şekilde tanımlayan değişkenlerin analize alınmasının bir anlamı olmamaktadır. Diğer yandan yüksek derecede ilişkiye sahip bağımlı değişkenler veride çoklu bağlantının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı iklim değişkenlerine temel bileşenler analizi uygunlaşmıştır. Analiz sonucunda 0,999 ile diğer iklim değişkenlerinden daha yüksek bir katsayıya sahip olan bio6 (en soğuk ayın en düşük sıcaklığı) değişkeninin diğer değişkenleri temsil ettiği sonucu çıkmıştır.

### 3.2 Wilcoxon Sıra İstatistiği Sonuçları

Bağımlı değişken ile sürekli veri içeren çevresel değişkenler arasında uygulanan Wilcoxon sıra istatistiği sonuçları Tablo / Table 3' de verilmiştir. Buna göre EGİM, YUKSELTİ, TPI ve bio6 tutuşma risk değerlendirmesinde önemli değişkenler olarak görülmektedir.

Tablo 3. Wilcoxon sıra istatistiği sonucu elde edilen önem seviyeleri  
Table 3. Significance levels obtained from Wilcoxon rank-sum test

	<b>W</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
EGİM	57916	-2,752	<b>0,006</b>
BUİN	17241	-0,862	0,389
YUKSELTİ	51542	-9,398	<b>0</b>
TPI	16095	-2,058	<b>0,04</b>
bio6	8876,5	-9,589	<b>0</b>

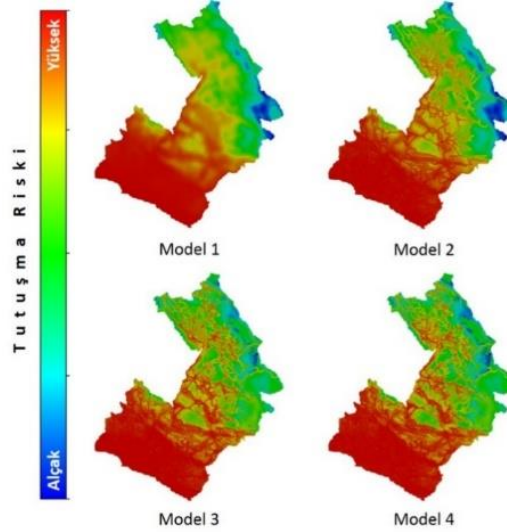
### 3.3 Nitelikler Arası İlişki Analizi Sonuçları

Bağımlı değişken ile var yok verileri içeren değişkenler arasında Ki Kare analizine tabi tutulmuştur. Yapılan analiz sonucunda KOMUR, KARBONAT, KUMTASI ve NKIREC anakaya değişkenleri ve arazi formu indeksine ait değişkenlerin bazıları ile farklı meşcere tipleri, ALCAKGER, YUKSEKGER, ve YOL değişkenleri önemli çıkmıştır. Ardından Ki Kare analizinden C3 değerleri hesaplanmıştır. Buna göre anakayalardan pozitif indikatör olarak KARBONAT ve KUMTASI değişkenleri, negatif indikatör olarak KOMUR ve NKIREC değişkenleri, arazi formu indeksinde UVADI pozitif indikatör, OYDRE ve DOVA

negatif indikatör, meşcere tiplerinden SAF CZNOR ve DİĞERTIP pozitif indikatör, DTNOR ve DTBOZ negatif indikatör, ALCAKGER, YUKSEKGER ve YOL değişkenleri de pozitif indikatör olarak belirlenmiştir.

### 3.4 İklim ve Arazi Değişkenlerine Uygulanan Lojistik Regresyon Analizi

Bağımlı değişken olan tutuşma riskinin modellenmesi için lojistik regresyon analizinde Foward LR özelliği kullanılarak 4 model elde edilmiştir (Tablo / Table 4). Bu analiz sonucunda farklı 4 değişken modelleri oluşturmuştur. Bunlar bio6, YOL, DIGERTIP ve SAF CZNOR değişkenleridir. Lojistik regresyon analizi sonucunda elde edilen modellere ait haritalar Şekil 2 / Figure 2’de verilmiştir.



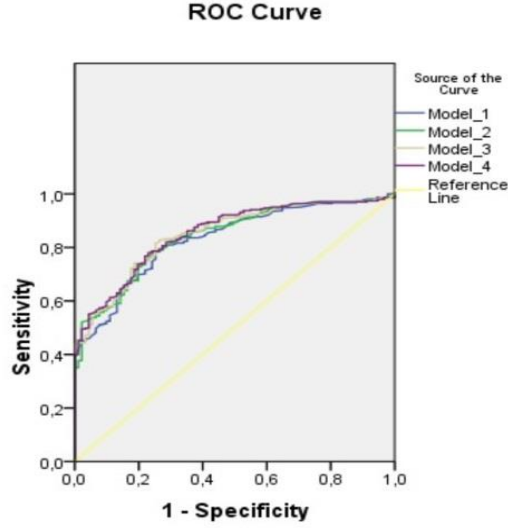
Şekil 2. Lojistik regresyon analizi sonucunda elde edilen modellere ait yangın risk haritaları  
Figure 2. Fire risk maps according to the models from logistic regression analysis

Tablo 4. Lojistik regresyon analizi sonucu elde edilen modellerin regresyon denklemleri  
Table 4. Regression equations of the models obtained from logistic regression analysis

Elde edilen modeller	Modellerde Kullanılan Değişkenler	B	S.E.	Wald	df	Önem Seviyesi	Exp(B)
Model 1	bio6	0,036	0,004	69,229	1	0	1,037
	Sabite	0,921	0,138	44,55	1	0	2,511
Model 2	bio6	0,033	0,004	54,676	1	0	1,034
	YOL	0,963	0,301	10,253	1	0,001	2,619
Model 3	Sabite	0,552	0,173	10,176	1	0,001	1,736
	bio6	0,031	0,005	47,28	1	0	1,032
	DİĞERTIP	0,941	0,377	6,237	1	0,013	2,562
Model 4	YOL	0,995	0,303	10,779	1	0,001	2,704
	Sabite	0,347	0,189	3,366	1	0,067	1,415
	bio6	0,028	0,005	31,096	1	0	1,028
	SAF CZNOR	0,626	0,32	3,815	1	0,051	1,87
Model 4	DİĞERTIP	1,059	0,382	7,665	1	0,006	2,882
	YOL	0,896	0,309	8,414	1	0,004	2,449
	Sabite	0,022	0,252	0,008	1	0,931	1,022

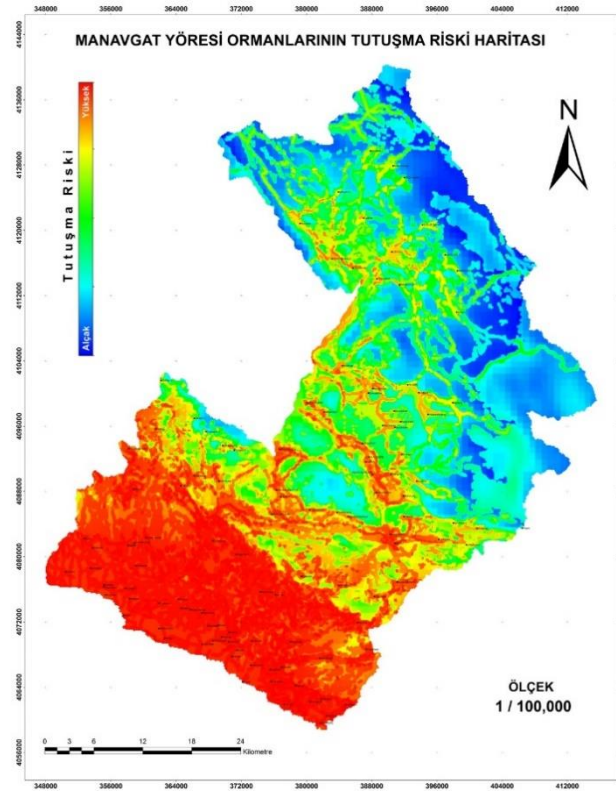
### 3.5 Modellerin Geçerliliği

Modellerin geçerliliği için uygulanan ROC analizi sonucunda Model 4'ün ROC değeri 0,852 olarak çıkmıştır. Diğer modellerin ROC değerleri sırasıyla 0,831 (Model 1), 0,841 (Model 2) ve 0,848 (Model 3) bulunmuştur (Şekil / Figure 3). Buna göre Model 4'e ait yangın risk haritası Şekil / Figure 4'de verilmiştir.



Diagonal segments are produced by ties.

Şekil 3. Lojistik regresyon analizi sonucunda elde edilen modellere ait ROC değerleri  
Figure 3. ROC values of the models obtained from the logistic regression analysis



Şekil 4. ROC değeri en yüksek çıkan Model 4'e ait yangın risk haritası  
Figure 4. Fire risk map according to Model 4 which showed highest ROC values

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma Manavgat yöresinde tutuşma risk haritasının oluşturulması amacıyla gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada tutuşma risk haritasının ortaya konması için çalışma sahasının yersel özelliklerini içeren iklim, yeryüzü şekli ve orman durumu ile ilgili haritalar hazırlanmıştır. Diğer yandan tutuşma durumunu etkilediği düşünülen elektrik hatları, yerleşim yerleri ve yol durumu ile ilgili tampon zon haritaları oluşturulmuştur. İkinci aşamada tutuşmanın olduğu ve olmadığı yerlere denk gelen piksellerde çalışma alanının bütün özelliklerine ait verilerden değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Diğer bir değişle yersel özelliklere ait haritalar ile tampon zon haritaları tutuşma riskinin ilişkilendirmesi ve modellemesi için açıklayıcı değişken olarak hazırlanmıştır.

İklim değişkenleri genelde birbirleri ile yüksek korelasyon göstermektedir. Bu sebepten tutuşma riskinin değerlendirilmesi ile ilgili ilişkilendirme ve modelleme çalışmalarına girilmeden önce iklim değişkenlerine temel bileşenler analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucunda tek bir bileşen elde edilmiş olup bu bileşeni en iyi temsil eden değişkenin en soğuk ayın minimum sıcaklığını ifade eden bio6 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç itibarıyla ileriki aşamalarda ilişkilendirme ve modelleme analizleri için iklim değişkenlerinden sadece bio6'nın kullanılmasına karar verilmiştir.

Tutuşma risk değerlendirmesinde istatistiksel olarak öncelikle ikili ilişkiler incelenmiştir. (Özkan, 2012), tarafından da ikili özellik içeren bağımlı değişkenlere uygulandığı gibi sürekli veriler olan EGIM, BUIN, YUKSEKTI, TPI ve bio6 için Wilxon sıra istatistiği ve diğer özellikler için Pearson ki kare formülünü içeren nitelikler arası ilişki analizinin kullanılması tercih edilmiştir.

Wilxon sıra istatistiği sonucu tutuşma olan ve olmayan alanlar arasında EGIM, YUKSEKTI, TPI ve bio6 değişkenlerinin değerleri bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Diğer bir değişle bio6 değişkeninin düşük değerler içerdiği yerler çalışma sahasının yüksek kısımlarına denk gelirken onun yüksek değerler içerdiği yerler çalışma sahasının alt yükseltilerine denk gelmektedir (Kalabokidis ve ark., 2007).

İstatistiksel olarak önemli olsa da tutuşma durumuna göre ortalamaları açısından çok büyük farklılıklar TPI ve EGIM için söz konusu değildir. Bununla birlikte bu iki değişkenin tutuşma riski açısından değerlendirmesi şu şekilde yapılmıştır.

TPI değerleri bakımından araştırma sahasında düşük değerler içeren yerler derin vadilerin ve kanyonların orta ve alt yamaçları arasındaki kısımlara denk gelmektedir. Bu kısımlar araştırma sahasında nispeten daha nemli yetişme ortamlarıdır. Bu sebepten dolayı doğal olarak tutuşma riskinin nispeten daha düşük olduğu yerlerdir. Buna rağmen tutuşma gerçekleştiği takdirde bu gibi alanlarda yangının büyüme hızı daha fazla olması beklenmektedir.

EGIM değişkenine gelindiğinde, yol yoğunluğunun nispeten daha düşük eğimli kısımlarda daha fazla olduğu ve bu alanlarda daha yoğun bir yerleşimin olduğu düşünülürse bu bağlamda daha düşük eğimli arazilerde tutuşma riskinin daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur (Xu ve ark., 2006). Eğimin yüksek olduğu yerlerde TPI daha yüksektir.

Nitelikler arası ilişki analizi sonuçlarına göre, arazi şekli özellikleri içinde UVADI ve DOVA'nın tutuşma durumu ile önemli derecede dikkate değer ilişkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. DOVA kısımların aksine UVADI yapısına sahip alanlarda tutuşma riskini arttırıcı yanıcı yükü daha fazladır. Aynı zamanlarda UVADI alanlarının yamaç kısımlarında yol yoğunluğu fazladır. Dolayısıyla UVADI alanlarında tutuşma riski daha yüksek iken DOVA alanlarına tutuşma riski düşük olmaktadır.

Alçak ve yüksek gerilim hatları ile tutuşma risk durumu arasında da önemli ilişkiler tespit edilmiştir. Gerilim hatlarının geçtiği kesimlerde tutuşma risk oranının daha yüksek olmaktadır. Nitekim 31.07.2008 tarihinde Manavgat-Taşağıl-Karabük'te çıkan ülkemizin en büyük yangınının çıkış sebebinin enerji nakil hattı olduğu tespit edilmiştir. 20.552,5 Ha alanın etkilendiği, kontrol altına alınması 6 gün süren bu



yangında eldeki tüm mevcut insan ve teknoloji gücü kullanılmış ve yangının söndürülmesi çalışmalarına yaklaşık 4,1 milyon TL harcanmıştır (OGM, 2008).

Nitelikler arası ilişki analizi aynı zamanda orman alanları dışındaki alanları (Diğer tipler) içeren kesimlerde tutuşma riskinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yerleşim yerleri, ovalık ve düzlük alanlar dışındaki mera alanları ve tarım alanları Orman alanları dışındaki arazilerin (Diğer tipler) önemli kısmını içermektedir. Bu alanlarda insan faaliyetleri daha yoğundur. Bu alanlarda ayrıca ot örtüsü de orman alanları ile kıyaslandığında nispeten daha yoğundur. Haliyle bu kesimlerde tutuşma risk oranı daha yüksek olmaktadır (Sivrikaya ve ark., 2014).

Nitelikler arası ilişki analizi sonuçları itibarıyla en belirgin ilişkilerin YOL ve SAF CZNOR değişkenleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu beklenen bir sonuçtur (Catry ve ark., 2010a). Zira *kızılçam* ormanları çalışma sahasının alt yükseltilerinde yer almaktadır. Diğer yandan orman yangınlarına sebep olan tutuşmaların çoğu yollara yakın yerlerde meydana gelmektedir (Vasconcelos ve ark., 2001; Guglietta ve ark., 2011). Bu kesimler insanların ve araçların en yoğun olduğu kısımlardır.

DTNOR, DTBOZ tutuşma durumu ile negatif ilişki göstermektedir. Diğer bir deyişle bu kesimlerin tutuşma riski nispeten daha düşük olmaktadır. Çünkü gerek bozuk gerekse normal kapalı olsun Diğer ağaç türleri (özellikle *karaçam* ve *sedir* veya karışımları) araştırma alanının nispeten daha yukarı kesimlerinde daha serin iklim alanlarında yayılmaktadır. Bundan dolayı bu alanlarda tutuşma risk oranı tahmin edildiği üzere *kızılçam* ormanlarının yayıldığı yerlerden daha düşük olmaktadır.

Çalışma sahasının tutuşma risk haritasının oluşmasında bağlantı yöntemlerinden biri olan lojistik regresyon analizine başvurulmuştur. Bu yöntem ikili veri (var-yok verisi) içeren bağımlı değişkenin potansiyel dağılım modellemesi ve haritalamasında tercih edilen yöntemlerden biridir (Özkan ve Şentürk, 2012).

Lojistik regresyon analizi sonucu dikkate değer 4 model elde edilmiştir. Bu modellerden en yüksek ROC değerine sahip olan modelde Bio6, SAF CZNOR, DIGERTIP ve YOL değişkenleri yer almıştır. Modelin yaygınlaştırılması sonucu elde edilen tutuşma risk haritası çalışma sahasının güney kısmını oluşturan Manavgat ilçesi merkezi ve çevresindeki daha çok denize yakın yerleşim yerlerini içine alan kısımlarda tutuşma riskinin en yüksek olduğunu göstermektedir. Rakımın az olduğu denize yakın bölgelerin riskinin yüksek olması beklenen bir sonuç olmuştur (Gonzalez-Olabarria ve ark., 2011). Diğer yandan çalışma sahasının orta kısımlarında Manavgat ve Akseki ilçelerinin sınırına yakın olan yerleşim yerleri ve mevkilerinin bulunduğu aralıkta yollar boyunca da yangın riski yüksek görülmektedir. Alanın kuzey-kuzeydoğu kısımları *sedir*, *karaçam*, *ardıç* gibi türlerin yoğun olduğu kısımlar olup burada fazla yerleşim yeri bulunmamaktadır. Bu kısımlar tutuşma riskinin en düşük olduğu kısımlara denk gelmektedir.

Bu çalışma konusu itibarıyla orman yangınları ile ilgilidir. Ancak çalışmada elde edilen harita için “yangın” ifadesi yerine “tutuşma” ifadesinin kullanılması tercih edilmiştir. Orman yangınları yangın rejimini içeren bir kavramdır. Tutuşma ise yangının büyümesi dışında olup yangının ilerlemesini etkileyen yangın davranış faktörlerini içermemekle birlikte yangın tehlikesinin tespit edilmesinde temel bir bileşendir (Finney, 2005). Tutuşma riski, bir yangının başlamasına sebep olan aktivitelerin varlığı ile belirlenmektedir (FAO, 1986).

Oluşturulan haritanın yöre için yangın risk haritasını büyük ölçüde tanımladığı düşünülmektedir. Zira modelin yaygınlaştırılması sonucu elde edilen tutuşma risk haritası Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde uzun yıllardır yörede yangınla mücadelede çalışan yangın uzmanlarına sunularak görüşleri alınmış, değerlendirilmiş ve teyit edilmiştir. Bu değerlendirmede uygulamada çalışan yangın uzmanların yıllardır edindikleri tecrübelerine göre; yangınların çıktığı yani tutuşmanın gerçekleştiği noktaların genellikle *kızılçam*'ın yayılış gösterdiği alçak rakımlarda, yerleşim yerleri ve tarım arazileri kenarlarında, yol yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde, insanın yoğun olarak yaşadığı yerlerde, ENH güzergâhlarında olduğu bilinmektedir. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan tutuşma risk haritası, bu zamana kadar uzmanların uygulamada elde edindikleri tecrübeleri teyit eder niteliktedir.

Antalya-Manavgat yöresi için oluşturulan tutuşma risk haritasına göre; alanda tutuşma riskini düşürücü yönde, yangın önleme ve mücadele konusunda aşağıda bazı öneriler getirilmiştir.

- ✓ Tutuşma riskinin yüksek olduğu yerler genellikle yol yoğunluğunun ve nüfusun fazla olduğu yerlerdir. Buralarda çıkabilecek bir yangına hızlı bir şekilde müdahale edebilmek için mevcut yolların sürekli olarak bakımlı halde tutulması gerekmektedir. İhtiyacı olan yerlerde yolun bozulmasını engelleyecek sanat yapıları yapılmalı ve yangına ilk müdahaleyi kolaylaştırıcı her türlü önlem alınarak çıkacak bir yangının büyümesinin önüne geçilmelidir.
- ✓ Çalışma sahasının güneyindeki tutuşma riskinin fazla olduğu alanlarda yerleşim daha fazla dolayısıyla nüfus yoğunluğu ve yol miktarı fazladır. Ancak denize yakın alanlardır. Bu yüzden bu yerlerde daha fazla helikopter havuzu yapmak yerine çıkabilecek bir yangında kullanılmak üzere özellikle yol kenarlarında arazözlerin su alabileceği küçük boyutta yangın havuzları yapılmalı bununla birlikte yerleşim yerlerinde su kaynaklarına bağlı olarak sık aralıklarla arazözlerin kullanabileceği şekilde su vanası koyulmalıdır.
- ✓ *Kızılcam*'ın yayılış gösterdiği alçak rakımlar genellikle tutuşma riskinin yüksek olduğu yerlerdir. Bu yüzden yangına karşı dirençli olan hedef türlerin tespiti ve onların yöre bazında potansiyel dağılım modellemesi/haritalanması öncelikli işlerden biri olarak düşünülmeli ve yanıcı madde yönetimi kapsamında değerlendirilerek gerçekleştirilecek olan çalışmalar planlanmalıdır.
- ✓ Yangın riski yüksek yerlerde yerleşim yerlerinin civarında tür seçimi ve bunun konumsal uygulaması önemlidir. Zira yerleşim yerleri de tutuşma riskini arttırmaktadır. Yerleşim yerleri etrafında yangına dayanıklı türler ile zonal bitkilendirme yapılmalı ve özellikle orman ile sınırlanan yerleşim yerlerinde yangına dayanıklılık bina ve yaşam alanı bazında değerlendirilerek bu konuda yasal düzenlemeler yapılmalıdır (Perchat ve Rigolot, 2005).
- ✓ Ormanların içine doğru ne kadar fazla yerleşim ve tarım alanı izni verilirse ormanlardaki yangın riski o kadar artacaktır. Bunun sonucu olarak her ne kadar ormanların yanma riski var ise o kadarda o yerleşim yerlerinin yanma riski olacaktır. Bu yüzden yerleşim yerlerinin orman içlerinde dağılımı şeklinde olması yerine daha toplu ve düzenli bir şekilde araziye yerleşmesi sağlanmalıdır. Bu konuda yasal düzenlemelere ihtiyaç vardır (Flannigan ve ark., 2013).
- ✓ Tutuşma riskinin yüksek olduğu yüksek gerilim enerji nakil hatları güzergâhlarının kuru ot, çalı vb. kolay tutulabilecek bitkilerden arındırılarak temiz halde tutulması, elektrik tellerine değen ya da değecek biçimde olan ağaçların kaldırılması, mümkünse alçak gerilim enerji nakil hatlarının orman içinden değil de yol kenarlarından ve toprak altından geçirilmesi tutuşma riskini azaltacak önlemler arasında yer almaktadır.
- ✓ Özellikle yol, yerleşim yerleri ve ziraat alanları kenarlarında uygun koşullarda kontrollü yakma yapılarak orman altı örtüsü yakılmalı ve yanıcı madde miktarı azaltılmalıdır (Fox ve ark., 2015). Böylelikle tutuşması kolay olan ince yanıcı madde miktarı azaltılarak risk daha aşağılara çekilecektir (Sağlam ve ark., 2008).
- ✓ Tutuşma riskini arttıran en önemli faktörün “insan faaliyetleri” olduğunun bilincinde olunmalı ve orman içinde ve çevresinde yaşayan insanların bilinçlendirilmesi amacıyla çeşitli eğitim faaliyetleri gerçekleştirilmelidir (Güney, 2014). Özellikle riskli havalarda bazı faaliyetlerin (anız yakılması, sera ya da tarla pıslığı yakılması, kıvılcım çıkartabilecek kaynak vb. işlerin yapılması, ocak, av, piknik ateşi yakılması vb. gibi) yapılmaması ve bu faaliyetlerin sonucunun neler olabileceğinin iyi anlatılması gerekmektedir.
- ✓ Yangın yöneticilerine karar destek sistemi dâhilinde bilgi üretecek analizlerin yapılabilmesi için (özellikle risk haritalarının hazırlanabilmesi için) yangın istatistiklerinin çok sağlıklı olması gerekmektedir. Bu yüzden çıkan yangınlarının her türlü bilgilerinin (özellikle yangının çıktığı yerin koordinatlarının belirlenmesi, yanan alanın CBS ortamında sayısal olarak arşivlenmesi, yangın anındaki meteorolojik verilerin doğru şekilde yazılması gibi.) sağlıklı ve hassasiyetle kayıt altına alınması gerekmektedir. Bununla birlikte her türlü analize ve raporlamaya imkân sağlayan yangın bilgi sistemi yazılımları geliştirilerek kullanılmalıdır.

Tutuşma risk haritasının geçmişteki durumu yanında geleceği ile ilgili çalışmalara da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konu geniş tabanlı katılımcı yaklaşımla değerlendirmeli, yapılandırılmalı ve uygulamaya konulmalıdır. Ülkemiz Akdeniz kuşağı yangın riskinin yüksek olduğu kısımları içermektedir. Bu alanlarda tutuşma ve/veya yangın risk haritalarının oluşturulması, orman yangınlarına karşı alınacak önlemlerin belirlenmesi, stratejilerin oluşturulması, politikaların tespiti ve uygulamaların gerçekleştirilmesi açısından önem arz etmektedir.

## 5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yüksek lisans tezinden türetilmiş bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından (Proje No: 2799-YL-11 ) desteklenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Badia, A., Serra, P., Modugno, S., 2011. Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas. *Applied Geography* 31(3): 930-940.
- Bajocco, S., Ricotta, C., 2008. Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): which land-cover classes do wildfires prefer? *Landscape Ecology* 23(2): 241-248.
- Başaran, M., SARIBAŞAK, H., Cengiz, Y., 2004. Yangın Söndürme Planı Temel Esaslarının Belirlenmesi (Manavgat örneği). Batı Akd. Orm. Arş. Müdürlüğü Teknik Bülten No:18.
- Catry, F., Rego, F., Silva, J., Moreira, F., Camia, A., Ricotta, C., Conedera, M., 2010a. Fire starts and human activities. Towards Integrated Fire Management–Outcomes of the European Project fire Paradox, Joensuu: European Forest Institute.
- Catry, F. X., Rego, F. C., Bação, F. L., Moreira, F., 2010b. Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal. *International Journal of Wildland Fire* 18(8): 921-931.
- Chas-Amil, M., Touza, J., García-Martínez, E., 2013. Forest fires in the wildland–urban interface: a spatial analysis of forest fragmentation and human impacts. *Applied Geography* 43: 127-137.
- Chuvieco, E., Congalton, R. G., 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of Environment* 29(2): 147-159.
- 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.
- Cole, L. C., 1949. The measurement of Interspecific associaton. *Ecology* 411-424.
- Çokluk, Ö., 2010. Lojistik regresyon analizi: Kavram ve uygulama. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri* 10(3): 1357-1407.
- Erten, E., Kurgun, V., Musaoğlu, N., 2005. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Bilgi Sisteminin Kurulması. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara
- FAO, 1986. Wildland Fire Management Terminology, 70.
- Finney, M. A., 2005. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management* 211(1): 97-108.
- Flannigan, M., Cantin, A. S., de Groot, W. J., Wotton, M., Newbery, A., Gowman, L. M., 2013. Global wildland fire season severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management* 294: 54-61.
- Fox, D., Martin, N., Carrega, P., Andrieu, J., Adnès, C., Emsellem, K., Ganga, O., Moebius, F., Tortorollo, N., Fox, E., 2015. Increases in fire risk due to warmer summer temperatures and wildland urban interface changes do not necessarily lead to more fires. *Applied Geography* 56: 1-12.
- Ganteaume, A., Jappiot, M., 2013. What causes large fires in Southern France. *Forest Ecology and Management* 294: 76-85.
- Gonzalez-Olabarria, J. R., Mola-Yudego, B., Pukkala, T., Palahi, M., 2011. Using multiscale spatial analysis to assess fire ignition density in Catalonia, Spain. *Annals of Forest Science* 68(4): 861-871.
- Guglietta, D., Conedera, M., Mazzoleni, S., Ricotta, C., 2011. Mapping fire ignition risk in a complex anthropogenic landscape. *Remote Sensing Letters* 2(3): 213-219.
- Güney, C. O., 2014. Tutuşma risk haritaları ve kullanma olanakları. *Orman Mühendisliği Dergisi* 51(4-5-6): 13-18.

- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25(15): 1965-1978.
- Kalabokidis, K. D., Koutsias, N., Konstantinidis, P., Vasilakos, C., 2007. Multivariate analysis of landscape wildfire dynamics in a Mediterranean ecosystem of Greece. *Area* 39(3): 392-402.
- Lampin-Maillet, C., Jappiot, M., Long, M., Bouillon, C., Morge, D., Ferrier, J.-P., 2010. Mapping wildland-urban interfaces at large scales integrating housing density and vegetation aggregation for fire prevention in the South of France. *Journal of Environmental Management* 91(3): 732-741.
- Martínez, J., Chuvieco, E., Martín, P., 2008. Estimation of risk factors of human ignition of fires in Spain by means of logistic regression, Proceedings of the Second International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: A Global View, pp. 265-278.
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbati, A., Corona, P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., 2011. Landscape-wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management. *Journal of Environmental Management* 92(10): 2389-2402.
- OGM, 2008. Yanan Alanların Rehabilitasyonu ve Yangına Dirençli Ormanlar Tesisi Projesi Serik-Taşağıl. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 29.
- Oliveira, S., Oehler, F., San-Miguel-Ayanz, J., Camia, A., Pereira, J. M., 2012. Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using multiple regression and random forest. *Forest Ecology and Management* 275: 117-129.
- Ozkan, K., 2012. Identification of driving factors for presence of endemic species in the Aglasun district of the Mediterranean Region, Turkey. *Polish Journal of Ecology* 60(2): 291-230.
- Özkan, K., Şentürk, Ö., 2012. The Application of Group Discrimination Techniques to Predict The Potential Distribution Of Turbentine Tree, International Scientific Conference People Buildings And Environment, Lednlce, Czech Republic.
- Pausas, J. G., 2004. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic Change* 63(3): 337-350.
- Perchat, S., Rigolot, E., 2005. Comportement Au Feu Et Utilisation Par Les Forces De Lutte Des Coupures De Combustible Touches Par Les Grands Incendies De La Saison 2003. Morières: Ed. De la Cardère Morières.
- Pezzatti, G., Bajocco, S., Torriani, D., Conedera, M., 2009. Selective burning of forest vegetation in Canton Ticino (southern Switzerland). *Plant Biosystems* 143(3): 609-620.
- Poole, R. W., 1974. Introduction To Quantitative Ecology. McGrawHill, Inc. New York, 532.
- Saglam, B., Bilgili, E., Dinçdurmaz, B., Kadiogulari, A. I., Küçük, Ö., 2008. Spatio-temporal analysis of forest fire risk and danger using LANDSAT imagery. *Sensors* 8(6): 3970-3987.
- San-Miguel-Ayanz, J., Moreno, J. M., Camia, A., 2013. Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management* 294: 11-22.
- Sharples, J., McRae, R., Weber, R., Gill, A., 2009. A simple index for assessing fire danger rating. *Environmental Modelling and Software* 24(6): 764-774.
- Sivrikaya, F., Saglam, B., Akay, A. E., Bozali, N., 2014. Evaluation of forest fire risk with GIS. *Polish Journal of Environmental Studies* 23(1): 187-194.
- Turner, M. G., Romme, W. H., 1994. Landscape dynamics in crown fire ecosystems. *Landscape Ecology*, 9(1): 59-77.
- Vasconcelos, M. P. d., Silva, S., Tome, M., Alvim, M., Pereira, J. C., 2001. Spatial prediction of fire ignition probabilities: comparing logistic regression and neural networks. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67(1): 73-81.
- Xu, D., Shao, G., Dai, L., Hao, Z., Tang, L., Wang, H., 2006. Mapping forest fire risk zones with spatial data and principal component analysis. *Science in China Series E: Technological Sciences* 49(1): 140-149.