TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

ORMAN YANGINLARI

Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri



Editör
Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU

TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

ORMAN YANGINLARI

Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi, Alınması Gereken Önlemler
ve
Rehabilitasyon Faaliyetleri

Editör
Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU

Ankara, 2021

Orman Yangınları: Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri
© Türkiye Bilimler Akademisi, 2021
Bilim ve Düşün Serisi No: 33

ISBN: 978-605-2249-79-6

Bu kitapta yer alan tüm yazıların dil, bilim, etik ve hukuk açısından bilimsel sorumluluğu yazarlarına aittir.
Editörün ve Türkiye Bilimler Akademisi'nin sorumluluğu bulunmamaktadır.

Türkiye Bilimler Akademisi
Vedat Dalokay Cad. No:112 06670 Çankaya - Ankara
Tel: +90 312 442 29 03 • www.tuba.gov.tr

Editör
Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU

Grafik Tasarım
Erdal Tarkan Kara

Birinci Baskı
1000 Adet

Baskı Yeri, Tarihi
Ankara Basım Yayın Hizmetleri, ANKARA • Aralık 2021

Orman Yangınları: Sebepleri, Etkileri, izlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri /
ed. Taşkın Kavzoğlu. --Ankara: Turkish Academy of Sciences, 2021.
440 pages; 24 cm – (Bilim ve Düşün Dizisi No; 33)
Includes bibliographical references.
ISBN 978-605-2249-79-6
1.Orman Yangınları. 2. Forest Fires. 3. Ormanlar ve Ormancılık –Yangın Yönetimi. 4. Forests and
Forestry—Fire Management. 5. Orman yangınları -- Türkiye -- Önleme ve kontrol. 6. Forest fires --
Turkey -- Prevention and control
SD421 .O97 2021
363.379

Forets Fires; Causes, Effects, Monitoring, Precautions and Rehabilitation Activities
© Turkish Academy of Sciences, 2021
Science and Thought Series No: 33

ISBN: 978-605-2249-79-6
DOI: 10.53478/TUBA.2021.038

The scientific responsibility for the language, scientific, ethical and legal aspects of all the articles included in the book belongs to the authors. Turkish Academy of Sciences and the editor have no responsibility.

Turkish Academy of Sciences
Vedat Dalokay Cad. No:112 06670 Çankaya - Ankara TÜRKİYE
Tel: +90 312 442 29 03 • www.tuba.gov.tr

Editor
Prof. Dr. Taşkın Kavzoğlu

Graphical Design
Erdal Tarkan Kara

First Edition
1000 pcs.

Publication Place and Date
Ankara Basım Yayın Hizmetleri, Ankara • September 2021

Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisansı (CC BY 4.0) ile lisanslanmıştır. Bu lisans, yazarlara atıf yapmak koşulu ile metni paylaşmanıza, kopyalamanıza, dağıtmanıza ve iletmenize; metni uyarlamak ve metnin ticari kullanımına (ancak sizi veya eseri kullanımınızı desteklediklerini ileri sürecek şekilde değil) izin verir.

The work (as defined below) is provided under the terms of this creative commons public license ("ccpl" or "license"). This license allows reusers to copy and distribute the material in any medium or format in unadapted form only, for noncommercial purposes only, and only so long as attribution is given to the creator.

TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

FOREST FIRES

Causes, Effects, Monitoring, Precautions
and
Rehabilitation Activities

Editor
Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU

Ankara, 2021

İÇİNDEKİLER

Table of Contents

Büyük Orman Yangınları: Sebepleri, Organizasyonu ve İdaresi
Mega Forest Fires: Causes, Organization and Management
Ertuğrul Bilgili, Ömer Küçük, Bülent Sağlam, Kadir Alperen Coşkuner
1

İklim Değişikliği ve Artan Orman Yangınları İlişkisi
The Relationship Between Climate Change and Increasing Wildfires
İsmail Dabanlı
25

İklim Değişikliği ve Kentsel Genişlemenin İstanbul İlinde Yangın Riskine Etkileri
Effects of Climate Change and Urban Expansion on Wildfire Risk in Istanbul Province
Yusuf Serengil, Ufuk Özkan, Erda Çeler, İkram Çelik
43

Orman Yangınlarının İklim Değişikliği Açısından Değerlendirilmesi
Evaluation of Forest Fires in Terms of Climate Change
Mehmet Mısır, Nuray Mısır
63

Yangın Sonrası Orman Toprağında Meydana Gelen Değişim ve Etkileşimler
Changes and Interactions in Forest Soils After Fire
Aydın Tüfekçioğlu, Mustafa Tüfekçioğlu
89

Orman Yangınlarında Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Erken Uyarı, Tespit, İzleme ve Müdahale Stratejileri
Early Warning, Detection, Monitoring and Response Strategies for Forest Fires Using Remote Sensing Technologies
Umut Güneş Sefercik, Taşkın Kavzoğlu
111

Geçmişten Günümüze Orman Yangınlarının Önlenmesinde Kullanılan Risk Haritalama Yaklaşımlarına Metodolojik Bir Bakış
A Methodological Overview of Risk Mapping Approaches Used in Prevention of Forest Fires from Past to Present
Onur Şatır, Süha Berberoğlu
137

Orman Yangınlarının Yönetiminde Bilgi Teknolojilerinin Katkıları
Contributions of Information Technologies to Management of Forest Fires
Nebiye Musaoğlu, ustafa Yanalak, umhur Güngöroğlu, Orkan Özcan
165

Türkiye'nin Akdeniz İklim Kuşağında Çıkan Orman Yangınlarının İncelenmesi ve Alınması Gereken Önlemler
Examination of Forest Fires in Mediterranean Climate Zone of Turkey and Precautions to be Taken
Mertol Ertuğrul, Latif Gürkan Kaya
201

Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları
Temporal Analysis of Forest Fires with Remote Sensing Technologies: Mediterranean and Aegean Fires in 2021
Taşkın Kavzoğlu, İsmail Çölkesen, Hasan Tonbul, Muhammed Yusuf Öztürk
219

İstanbul Adaları Yangınlarının Zamansal ve Mekânsal Karakteristikleri
Temporal and Spatial Characteristics of Wildfires in Istanbul Princes Islands
Muhittin İnan, İkram Çelik, Tolga Öztürk
253

Orman Yangınları Sonrası Yanan Alanların Ağaçlandırılması, İzleme ve Değerlendirme
Reforesting of Burned Forestland After Wildfire and Monitoring
Halil Barış Özel, Ayhan Ateşoğlu, Erol Kırdar
275

Orman Yangınlarının Yaban Hayatına Etkileri ve Yangın Sonrası Habitat Restorasyonu
The Effect of Forest Fires on Wildlife and Habitat Restoration After Fire
Ebubekir Gündoğdu, Alptuğ Sarı
301

Türkiye'de Orman Yangınlarının Turizm Üzerindeki Etkileri
Effects of Forest Fires on Tourism in Turkey
Halit Yanıkkaya, Emre Kaymak
319

Orman ve Yerleşim Yeri Arayüzü Alanlarındaki Hukuki Boşluklar
Legal Gaps in the Wildland-Urban Interface Areas
Mustafa Yanalak, Cumhur Güngöroğlu, Mehmet İşiler
341

Orman Yangınlarının Hukuksal Analizi
Legal Analysis of Forest Fires
Osman Devrim Elvan
365

İklim Değişikliği Sürecinde Orman Yangınları Çalıştayı: Sonuç Bildirgesi ve Kararlar
Workshop on Forest Fires in The Process of Climate Change: Final Statement and Decisions
Bekir Karacabey
401

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE ORMAN YANGINLARININ ÖNLENMESİNDE KULLANILAN RİSK HARİTALAMA YAKLAŞIMLARINA METODOLOJİK BİR BAKIŞ

A METHODOLOGICAL OVERVIEW OF RISK MAPPING APPROACHES USED IN PREVENTION OF FOREST FIRES FROM PAST TO PRESENT

Doç. Dr. Onur Şatır
Prof. Dr. Süha Berberoğlu

Doç. Dr. Onur ŞATIR / Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi/
osatir[at]yyu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-0666-7784

Dr. Onur ŞATIR, 2003 yılında Çukurova Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü lisans programından mezun olmuştur. Sırasıyla aynı anabilim dalında yüksek lisansını 2006 ve doktorasını 2013 yıllarında tamamlamıştır. Bu süreçte, yüksek lisans tez araştırma aşamasında 2005 ve 2006 yılları arasında Southampton Üniversitesi Coğrafya ve Çevre Bölümü'nde "Orman Alanlarının Bulanık Sınıflama Teknikleriyle Tür Bazında Haritalanması" konusunda çalışmalar yapmıştır. Doktora sürecinde, "Ürün Verimliliği Temelli Tarımsal Alan Kullanım Uygunluğunun Belirlenmesi" konusunda sırasıyla Texas A&M Üniversitesi Ekosistem Bilimi ve Yönetimi bölümü ile Wisconsin Üniversitesi Sürdürülebilirlik ve Küresel Çevre Araştırma Merkezinde toplam 4 ay süreyle çalışmalar yapmıştır. Bugüne kadar yaptığı proje çalışmaları genel olarak; alan kullanım uygunluğu, uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri, iklim değişikliğinin orman alanları, karasal buzullar, tarımsal verimlilik ve ekosistem hizmetlerine etkileri konularındadır. Günümüzde, Van Yüzüncü Yıl Üniversite Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Assoc. Prof. Onur ŞATIR / Van Yüzüncü Yıl University/
osatir[at]yyu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-0666-7784

Dr. Onur ŞATIR received his BSc, MSc and PhD degrees from Cukurova University Department of Landscape Architecture in 2003, 2006 and 2013. He has been in Southampton University, Geography and Environment department between 2005 and 2006 for his MSc research on fuzzy land use classification as a visiting scholar. He studied on Agricultural land use suitability based on crop productivity in PhD and he has been in Texas A&M University Ecosystem Science and Management Department and Wisconsin University Center for Sustainability and Global Environment for PhD research for 4 months. His research is focused on Land use suitability, remote sensing, GIS, climate change impact on forestlands and terrestrial glaciers, forest fires, agricultural productivity and quantifying ecosystem services. He is currently working in Van Yüzüncü Yıl University Department of Landscape Architecture, and he is head of Remote Sensing Center of the university.

Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU / Çukurova Üniversitesi

suha[at]cu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-1547-6680

Prof. Dr. Berberoğlu, lisans ve yüksek lisansını Çukurova Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümünde sırasıyla 1991 ve 1994 yıllarında tamamlamıştır. Doktora derecesini Prof. Paul Curran danışmanlığında 1999 yılında Southampton Üniversitesi Coğrafya Anabilim dalında "Akdeniz Arazi Örtüsünün Uzaktan Algılanmasının Optimize Edilmesi" konusundaki çalışmasıyla almıştır. Yirmi yılı aşkın süredir çevresel izleme, değerlendirme ve yönetim konularında saha ve laboratuvar tecrübeleri edinmiştir. Dr. Berberoğlu, iklim değişikliği, biyolojik çeşitliliğin haritalanması, değişim analizi, hidrolojik modelleme ve biokütle tahminleri gibi konuları içeren çeşitli ulusal ve uluslararası projelerde görev almıştır. Günümüzde, iklim değişikliğinin, ekosistem fonksiyonlarının korunmasına etkilerinin anlaşılması konusunda, ekosistem modellerinin coğrafi bilgi teknolojileriyle bütünleştirilmesi üzerine çalışmaktadır. Bu kapsamda, Net Birincil Üretim (NBÜ), havza hidrolojisi, erozyon ve arazi örtüsü-alan kullanımı modellemeleri yapmaktadır. Temel ilgi alanı, bu model çıktılarının ekosistem temelli planlarla bütünleştirilmesidir. Günümüzde, kurucularından olduğu Çukurova Üniversitesi Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalının başkanlığını yapmaktadır. Ayrıca, Çukurova Üniversitesi rektör yardımcılığı görevini yürütmektedir.

Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU / Çukurova University

suha[at]cu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-1547-6680

Prof. Dr. Berberoğlu received his BSc and MSc from Cukurova University Department of Landscape Architecture in 1991 and 1994. He completed his PhD in Southampton University Department of Geography, supervised by Prof. Paul Curran on "Optimising the Remote Sensing of Mediterranean Land Cover" in 1999. He has more than 20 years of broad-based field and laboratory environmental experience required in the application of environmental monitoring and management. Dr. Berberoğlu is also involved in various national and international projects such as climate change, biodiversity mapping, change detection, hydrological modelling and biomass estimates. His current field of research is driving ecosystem models using geospatial technologies to understand impacts of climate change on ecosystem functions and conservation in Turkey. In this extent, he has been modelling Net Primary Productivity (NPP), basin hydrology, erosion and land use/cover change. His major concern is transferring these modelling outcomes into the ecosystem-based planning. He is currently working as a head of Remote Sensing and GIS department in Institute of Basic and Applied Sciences, and Vice-Chancellor in Cukurova University.

DOI: 10.53478/TUBA.2021.045

GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE ORMAN YANGINLARININ ÖNLENMESİNDE KULLANILAN RİSK HARİTALAMA YAKLAŞIMLARINA METODOLOJİK BİR BAKIŞ

Özet

Doğal veya kültürel kaynaklı orman yangınları, özellikle insanın yer küre üzerindeki yayılımı doğal alanlara doğru arttıkça, beraberinde afet riskini de artırmıştır. Günümüzde, orman yangınlarının çoğunun insan kaynaklı olduğu bilinmektedir. Doğrudan, anız ateşi, çoban ateşi, sigara izmariti, piknik ateşi, sabotaj vb. etkenlerin yanı sıra, dolaylı bir etken olarak küresel ısınma yangınların oluşmasında uygun koşulları ortaya çıkarmaktadır. Yangın riskinin haritalanması, afet yönetiminin bir parçası olan, önleme, tespit ve müdahale aşamalarında önemli avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, geçmişten günümüze en çok kullanılan orman yangın riski haritalama tekniklerinin, kullanılabilirliğini ortaya koymak ve ülkemiz için uygun bir yangın risk haritalama ve müdahale sistemi konusunda öneriler sunmaktır. Bu çerçevede, en eski risk haritalama tekniklerinden meteorolojik yangın indisi (MYİ), yangın oluşum verisine bağımlı olmayan geleneksel çok ölçütlü mekânsal karar destek sistemleri ve veri bağımlı çok ölçütlü mekânsal karar destek sistemleriyle, benzetim (simülasyon) tabanlı risk değerlendirme sistemlerinin, kullanım biçimleri, doğrulukları ve veri yapılarına vurgu yapılmıştır. Sonuç olarak, MYİ gibi kolay uygulanabilir teknikler ve makine öğrenme – derin öğrenme gibi otomasyona dayalı sistem oluşturmaya uygun yöntemlerin, uzaktan algılama ve çeşitli sayısal verilerle desteklenerek tek bir ara yüzde toplanması ve yerel ölçekte afet riski tespit edilen bölgelerin bu platformdan elde edilen simülasyon girdileriyle desteklenerek, zarar tespitlerinin önceden veya anlık yapılabildiği ve önleme–müdahale stratejilerinin belirlenebildiği bir sisteme ihtiyaç duyulduğu saptanmıştır. Böyle bir sistemde en önemli sorunların, farklı kaynaklardan gelen verilerin bir arada bütünleştirilmesi ve yapay zekâ tabanlı otomatik müdahale sisteminin geliştirilmesi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çevresel risk haritalama, Orman yangınları, Yangın indisleri, Yapay zekâ, Yangın simülasyonu

A METHODOLOGICAL OVERVIEW OF RISK MAPPING APPROACHES USED IN PREVENTION OF FOREST FIRES FROM PAST TO PRESENT

Abstract

Natural or cultural caused forest fires were increased disaster risk in particularly regions that were populated by the human towards natural areas. It was known that the forest fires were mostly caused by the human activities. In addition to direct, stalk fire, shepherd fire, cigarette, picnic fire, sabotage, etc. as an indirect factor, global warming has created ideal conditions for the fire occur. The mapping of forest fire risk offers significant advantages in the stages of prevention, detection and response, which is a part of disaster management. The aim of this study was to reveal the availability of the most widely used forest fire risk mapping techniques from past to present, and to offer suggestions on a suitable fire risk mapping and response system for our country. In this context, we focused on usage pattern, accuracy and data structures of the fire weather index (FWI), which is one of the oldest risk mapping techniques, traditional multi-criteria spatial decision support systems that are not dependent on fire occurrence data, and data-dependent multi-criteria spatial decision support systems, simulation (simulation) based risk assessment systems. As a result, it has been suggested that easily applicable techniques such as FWI and methods suitable for automation-based system creation such as machine learning and deep learning should be integrated in a single interface, supported by remote sensing, and concerned digital data. In addition, it has been determined that there is a need for a system in which damage determinations can be made in advance or instantaneously, and prevention-intervention strategies can be determined, by supporting the regions where disaster risk is detected at local scale with simulation inputs obtained from this platform. It has been determined that the most important problems in such a system are the integration of data from different sources and the development of an artificial intelligence-based automatic action system.

Keywords: Environmental risk mapping, Forest fire, Fire indices, Artificial intelligence, Fire simulation

GİRİŞ

Orman yangınları, günümüzde özellikle Akdeniz kuşağı ve benzeri bölgelerde (Batı Amerika, Avustralya vb.) en sık karşılaşılan çevresel risklerden birisidir. Bütün Avrupa ve Akdeniz kuşağı ülkelerinde, ortalama her 3 yılda, Kıbrıs Adası büyüklüğünde orman alanı, yangınlarından dolayı zarar görmektedir (Schmuck vd., 2010; Ayanz vd., 2020). Karasal vejetasyonlardaki kayıp, başta karbon döngüsü ve iklimin düzenlenmesi olmak üzere, erozyon kontrolü, toprak biyolojik yapısı, temiz hava temini, habitat koruması, sel ve heyelan kontrolü gibi birçok ekosistem (peyzaj) hizmeti ve temel doğal yapıya doğrudan zarar vermektedir (Maffei vd., 2007; Yeler, 2017).

Her yıl belirli dönemlerde meydana gelen orman yangınlarının dünya genelinde ve ülkemizde maddi ve manevi zararları oluşmaktadır. Başta insan hayatına olan etkileri olmak üzere, yangınla mücadele kaynaklarına yatırımlar, çevreye verilen zararın geri kazanımı ve aynı anda birden çok yerde aktif yangınla mücadele birimlerini konumlandırma zorunlulukları, orman yangınlarıyla mücadeleyi daha karmaşık ve maliyetli hale getirmektedir. Son yıllarda, yangın riskinin belirlenmesi ve mücadelede kullanılan uyarı ve erken ihbar sistemlerinde çok önemli teknolojik gelişmeler olmuştur. Algılayıcı (sensör) tabanlı uyarı sistemleri, iletişim araçlarındaki gelişmeler, insansız hava araçlarının yaygınlaşması, simülasyon ve tahmin sistemlerindeki gelişmeler bunlara örnek olarak verilebilir. Ancak, her bölgenin bitki örtüsü-tipi, iklimi, toprak yapısı ve topografyası gibi kendine özgü belirleyici dinamikleri olduğundan dolayı, çözüm için yaklaşımlar da farklılıklar gösterebilmektedir (Alonso-Benzatos vd., 2003; Satir, Berberoglu & Donmez, 2016a).

Orman yangın risk değerlendirmesi, dünyadaki birçok ilgili kişi veya kurumun (ajanslar, bakanlıklar, orman bilimciler, meteorologlar vb.) orman kaynaklarının yönetim planlamaları ve yangınla savaş stratejilerinin belirlenmesinde kullandığı en önemli verilerden birisidir (Schneider, Roberts & Kyriakidis, 2008). Orman yangın riskinin haritalanması, coğrafi bilgi teknolojileri yardımıyla, bütünleştirilmiş indislerden ve çok ölçütlü, mekânsal karar destek sistemlerinden elde edilen verilerle yapılmaktadır.

Çok ölçütlü veriler içeren indisler, yanıcı madde (miktar, tip ve nem içeriği), topografya (yükseklik, eğim ve güneşlenme) ve hava durumu (sıcaklık, nem, rüzgâr ve güneş radyasyonu) gibi temel verilerden yararlanarak, yangın oluşma potansiyelinin önceden anlık, dönemlik, aylık ve yıllık zamansal aralıklarda hesaplanmasını sağlar (Liu vd., 2009; Satir, Berberoglu & Cilek, 2016b). Literatürde genel olarak bakıldığında orman yangın riskini, çıkış nedenleri açısından; doğal ve insan kaynaklı yangınlar olarak iki temel kategoriye ayırmak mümkündür. Doğal faktörlere bakıldığında, yıldırım düşmesi sonucu oluşan yangınlar en önemli doğal neden olarak görülmektedir (Hardy, 2005). Ancak, yıldırım düşmesi dışında, volkanik aktiviteler veya doğada kendiliğinden var olan çeşitli yanıcı gaz sıkışmaları sonucu oluşan yangınların da istisna durumlar yarattığı görülmektedir. İnsan kaynaklı yangınlar ise çoğunlukla orman alanlarındaki insan baskısının yoğun olduğu bölgelerde oluşmaktadır. Satir vd. (2016a)'da ülkemiz Seyhan Havzası'nda yaptığı çalışmada, 5 yıllık dönemde (2005 – 2009) yangın çıkış nedenlerini, yerel şeflikler ve bölge vatandaşlarının iş birliğiyle ortaya koymuştur. Buna göre sırasıyla; anız ateşi, çoban ateşi, sigara, elektrik iletim hattı ve sabotaj sonucu çıkan yangınların ilk 5 sırayı oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Bu değerler bölgesel dinamiklere ve insanların orman alanlarını kullanma biçimlerine göre bölgeden bölgeye değişikler gösterebilir.

International Tropical Timber Organizattion (ITTO) orman yangın yönetimi ile ilgili yayımladığı rehberde, 8 farklı kategoride değerlendirmeler yapıp önerilerde bulunmuştur (ITTO, 1997). Bu kapsamda, politika ve kanunlar, stratejiler, izleme ve araştırma, kapasite geliştirme ve enstitülerin çalışma kapsamları, sosyo-ekonomik faktörler, arazi kaynakları ve düzenlemeler, eğitim ve halkın bilinçlendirilmesi konuları yangın yönetiminde temel konular olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, ilgili başlıklardan araştırma ve izleme ile müdahale stratejilerinin belirlenmesinde temel veri olarak kullanılan orman yangın risk haritalarının geçmişten günümüze, farklı tekniklerle nasıl üretildiği ve bu tekniklerin uygulanabilirliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, ülkemiz için geniş kapsamlı bir risk ve müdahale sisteminin nasıl olabileceği ve işletimi aşamasındaki sorunların neler olabileceği önceden belirlenmeye çalışılmıştır.

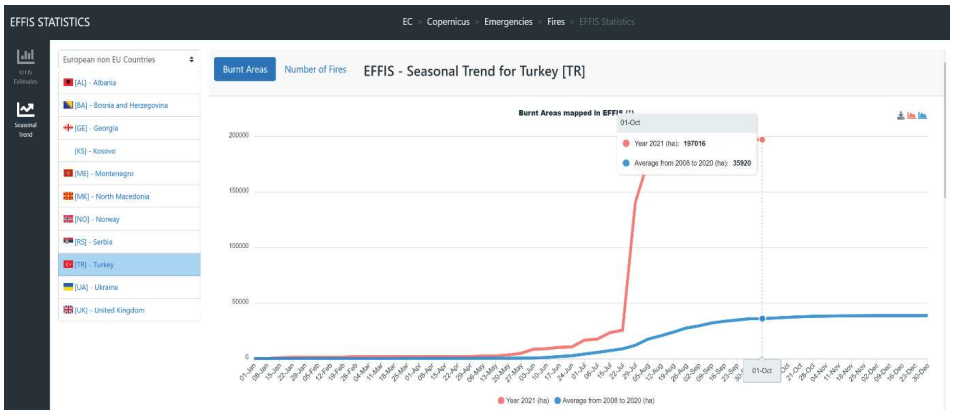
GENEL BAKIŞ

Dünyanın farklı ülkelerinde, birbirlerine benzer niteliklerde kendilerine özel bazı bölgesel dinamiklerin de eklendiği anlık yangın risk izleme ve değerlendirme platformları mevcuttur. Bu kapsamda ülkemizin de içerisinde yer aldığı European Forest Fire Information System (EFFIS), Canadian Wildland Fire Information System (CWFIS), US Department of Agriculture Forest Service Active Fire Mapping Program gibi uydu verileri, meteorolojik veriler ve bazı ek indislerle bütünleştirilmiş gerçek zamanlı risk ve izleme imkânı veren birçok sistem geliştirilmiştir. Bu ara yüzlerden bazılarına erişim linkleri ve içerdiği temel bilgiler tablo 1'de örnek olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Bazı örnek anlık web tabanlı orman yangını ve risk izleme arayüzleri

Arayüz	Sunduğu Bilgiler	Erişim linki
EFFIS	Anlık yangın durumu, Uzun dönemli meteorolojik yangın risk tahminleri, Yangın haberleri, Yangın istatistikleri. Detaylı raporlar ve yayınlar.	https://effis.jrc.ec.europa.eu/
CWFIS	Anlık yangın risk haritası, sıcak noktalar, Uzun dönemli meteorolojik yangın indisi, Yangın yayılma riski haritası, genel istatistikler, yayınlar ve veri paylaşım platformu.	https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/home

EFFIS platformu ülkemiz için detaylı bir analiz imkânı sunmaktadır. Bu kapsamda, anlık istatistiklere de ulaşmak mümkündür. Ülkemizde 2021 yılı orman yangınları açısından sorunlu bir yıl olmuştur. Ancak, bu durum Avrupa genelinde de benzerdir. Bu duruma örnek verecek olursak, 2019 yılında bütün Avrupa ve Akdeniz kuşağı ülkelerindeki toplam yanan alan miktarı yaklaşık 270.000 ha olmuştur (Ayanz vd., 2020). Yalnızca Türkiye'de 2021 yılında yanan orman alanı miktarı EFFIS sistemi istatistiklerine göre 1 Ekim 2021 itibariyle Şekil 1'deki turuncu çizgiyle ifade edilen yıllık kümülatif toplam olan 197.016 ha'dır. Ülkemizin 2008 – 2020 yılları arası Şekil 1'deki mavi çizgi ile ifade edilen yanan alan ortalaması aynı tarih için 35.620 ha'dır (Şekil 1).



Şekil 1. EFFIS sistemi dönemsel yanan alan miktarı 2021 yılı eğilim grafiği (EFFIS, 2021).

Ülkemizin yangınla mücadele geçmişine bakıldığında, aynı kuşakta bulunduğumuz ülkelere göre, çıkan yangın sayısı ve yanan alan miktarları temel alındığında 1990 – 2016 yılları arasında başarılı bir performansı olduğu görülmektedir. Bu kapsamda ülkemiz, Yunanistan'dan 7 kat, İtalya'dan 2,3 kat daha başarılı bir performansa sahiptir (Tablo 2).

Tablo 2. Benzer kuşaktaki ülkelerle orman yangınlarıyla mücadelede 1990 – 2016 yılları arası başarı karşılaştırması.

Ülkeler	Ortalama Yangın sayısı**	Ortalama Yanan alan miktarı (ha)**	Başarı indeksi (Sayı/ Yanan alan)*
Türkiye	2.160	10.242	0,21
Yunanistan	1.531	42.165	0,03
İtalya	8.221	89.944	0,09
Portekiz	22.070	119.956	0,18
Cezayir	3.367	33.425	0,10
İspanya	16.740	131.231	0,13
Fransa	4.643	19.286	0,24

* Yüksek değer daha başarılıdır.

** EFFIS bilgi sisteminden derlenmiştir.

Anlık bilgi sistemleri içerisindeki yağın risk haritaları incelendiğinde, temel olarak Meteorolojik Yangın İndislerinden (MYİ) yararlanıldığı görülmektedir. Bu indisler, hava sıcaklığı, oransal nem miktarı ve rüzgâr hızı temelli çalışmakta olup, en eski yangın risk haritala-

ma tekniklerindendir (McArthur, 1966; Fosberk, 1978). Temel çalışma prensipleri, yüksek sıcaklık olan ve düşük nem olan bölgelerde belirli bir rüzgâr hızında yangının çıkma ve yayılma riskinin fazla olacağı prensibine dayanır. Her ne kadar orman yangınlarının çoğu insan kaynaklı olsa da, uygun hava koşulları ve ortam olmadan bir alanın yanma riski çok azdır. Bu durum, ıslak bir kâğıdı yakmak gibi düşünülebilir. Kâğıt yanıcı bir madde olmasına karşın nemli veya ıslak bir ortamda yanması veya yansa bile yangının yayılması düşük bir ihtimaldir (Satir vd., 2016a).

Bir diğer yangın risk haritalama tekniği ise çok ölçütlü (kriterli) coğrafi analiz yaklaşımlarıdır. Bu yaklaşımda, iklim verilerinin yanında, vejetasyon verileri (bitki kapalılığı, türü, nemi vs.), fiziki veriler (yükseklik, eğim, güneşlenme vb.), insan kaynaklı riskler (yol ağları, yerleşim yerleri, kullanım ve nüfus yoğunluğu vb.) haritalamada aktif olarak kullanılabilir (Eskandari, 2017). Bu yaklaşımı kendi içerisinde, veri bağımlı olmayan yaklaşımlar ve veri bağımlı yaklaşımlar olarak ayırmak mümkündür. Buradaki veri kavramı, geçmişte yangın olan noktalar veya bölgeler verisini ifade etmektedir. Veri bağımsız yaklaşımların kullanılması için ölçütlerin birbirleriyle karşılaştırılabilir olması gerekmektedir. Bu nedenle, standardizasyon mecburidir. Ayrıca, her bir ölçütün orman yangın riski üzerindeki etkisi farklı olmasından dolayı, ağırlıklandırma yapılmalıdır. Bu yöntemin veri bağımlı yöntemlerden en büyük farkı standardizasyon ve ağırlıklandırma süreçlerinde uzman değerlendirmesine ihtiyaç duymasıdır (Şatir, 2016).

Veri bağımlı yöntemlerde ise yangın olan bölgelerin coğrafi durumlarına göre, belirlenen kriterler doğrusal veya doğrusal olmayan yaklaşımlarla otomatik olarak ağırlıklandırılır. Böylece, ayrıca bir standardizasyon ve çalışmanın sübjektivitesini artıran uzman tabanlı süreçlere gerek kalmaz. Bu noktada, makine öğrenme teknikleri ve yapay zekadan da yararlanılmaktadır (Satir vd., 2016a; Eskandari vd., 2020). Lojistik regresyon, yapay sinir ağları, derin öğrenme, destek vektör makinaları, regresyon ağacı vb. birçok yaklaşım veri bağımlı yöntemlere örnek olarak gösterilebilir.

Orman yangın riskinin haritalanmasındaki yaklaşımların birçoğu, ülke, havza ve bölgesel ölçeklerde yapılan analizlerden oluşmaktadır. Ancak, farklı bir yaklaşım da özellikle yerel ölçekte yangına müdaha-

leyi de içine kapsayacak şekilde risklerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu yaklaşım, benzetim (simülasyon) yâda bir diğer deyişle olay tabanlı risk belirlemedir. Yangın riskinin yüksek görüldüğü veya daha önceki yıllarda sıklıkla yangın olan noktalarda bilgisayar tabanlı bir yangın simülasyonun oluşturulması ve yayılım hızının farklı iklimsel veya yanıcı madde miktarlarında nasıl olacağının tahminine dayalıdır (Mutlu, Popescu & Zhao, 2008). Böylece, yangının davranış biçimi önceden tatbik edilebilmekte ve müdahale stratejileri belirlenebilmektedir. Ayrıca, afet riski taşıyan bölgelerinde bu sayede önceden tespiti mümkündür.

METEOROLOJİK YANGIN İNDİSLERİ

Meteorolojik yangın indisleri uluslararası literatürde Fire Weather Index (FWI) olarak geçmektedir. Temel bazı meteorolojik verileri kullandığı için, bu çalışmada Meteorolojik Yangın İndisi (MYİ) olarak isimlendirilmektedir. Geleneksel MYİ'ler 5 temel meteorolojik veriyle sunulmaktadır. Bunlar; sıcaklık, oransal nem, rüzgâr hızı ve yönü ve yağıştır. Farklı veri setleri de bazı indislerde ek olarak kullanılsa da genellikle bu 5 meteorolojik veri MYİ'lerin temelini oluşturmaktadır (Hasson vd., 2008). Birçok MYİ'nin günümüzde farklı ülkeler ve ajanslar tarafından kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan bir kısmı literatürde daha ön plana çıkmaktadır. Örneğin, Canadian Forest Fire Danger Rating System (FFDRS) (Stocks vd., 1989), National Fire Danger Rating System in US (NFDRS) ve Forest Fire Danger Index (FFDI) (McArthur, 1967) bunlardan bir kaçıdır. Bu sistemleri oluşturan indislerin bir kısmı birkaç ülke tarafından ortak kullanılmaktadır. Kanada tarafından 1971 yılından günümüze kadarki süreçte bazı güncellemelerle birlikte kullanılan FFDRS sistemi, Portekiz (Viegas vd., 1999), Güney Doğu Asya (de Groot, Wardati & Wang, 2005) ve Yeni Zelanda (Dudfield, 2004) tarafında da kendilerine göre uyarlanarak kullanılmıştır. NFDRS sistemi ise Güney Avustralya gibi yangın riski yüksek yerlerdeki anlık analizlerde 1967 yılından bu yana kullanılmaktadır.

MYİ'ler temelde çok basit bir mantıkla çalışır. Ana hipotez, yangın oluşumuna yol açan meteorolojik etkenlerin temel matematiksel formüllerle standart bir indise dönüştürülmesine dayalıdır. Bu hipotezde,

sıcaklığın yüksek olduğu, nemin az olduğu ve rüzgârın fazla olduğu dönemlerde, yangının oluşma riski yüksektir tezi temel alınmaktadır. Günümüze kadarki süreçte, MYİ'lerde bazı güncellemeler yapılmış ve meteorolojik verilerle birlikte Uzaktan Algılama (UA) verileri kullanılarak orman örtüsündeki ve bitkideki nem içeriğiyle, yanıcı madde miktarları da tespit edilmiş ve bu modellerle bütünleştirilmiştir (Sharples vd., 2009a; Satir vd., 2016a).

Bu indislerin ilk örneklerinden olan Fosberg Fire Weather Index (FFWI) ilk olarak Fosberg (1978) tarafından alan çalışmalarıyla ortaya çıkmıştır. Anlık sıcaklık, oransal nem, rüzgâr hızı ve bunlara bağlı olarak hesaplanan yanıcı madde nem miktarı verilerini içermektedir. Temel mantığı ve matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\text{FFWI} = \alpha n\sqrt{1 + \mu^2} \tag{1}$$ (1)

Bu eşitlikte "α" kalibrasyon faktörünü, "n" nem etki faktörünü ve "μ^2" ise rüzgâr faktörünü ifade etmektedir. Buna göre nem etki faktörü;

$$n = 1 - 2(\text{m}/30) + 1.5(\text{m}/30)^2 - 0.5(\text{m}/30)^3 \tag{2}$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Buradaki "m" değeri yanıcı maddedeki nem miktarını simgeler ve FFWI indisinde Simard (1968)'e göre aşağıdaki gibi bir bağıntıyla hesaplanır:

$$\text{m} = \begin{cases} 0{,}03 + 0{,}2626H - 0{,}00104HT, & H < 10, \\ 1{,}76 + 0{,}1601H - 0{,}0266T, & 10 \le H \le 50, \\ 21{,}06 - 0{,}4944H + 0{,}005565H^2 - 0{,}00063HT, & H \ge 50. \end{cases} \tag{3}$$

"H" oransal nem miktarını (%), ve "T" anlık sıcaklığı (°C) ifade etmektedir.

Örnek MYİ'deki 1, 2 ve 3 nolu eşitlikler incelendiğinde, farklı oransal nemlerde, farklı sıcaklık nem bağıntıları yardımıyla, yanıcı madde nem miktarını ifade eden bir değer bulunmaktadır. Sonrasında ise, saha çalışmalarından elde edilen verilerle üretilen Eşitlik 2 kullanılarak nem etki değeri hesaplanmaktadır. Nihai formülde ise rüzgâr değeri km/h cinsinden Eşitlik 1'deki gibi indise eklenmektedir.

Sharples vd. (2009b)'de yanıcı madde nem miktarını çok daha basit bir doğrusal eşitlikle ifade edilmiş ve bilinen birçok yanıcı madde nem indisiyle de 0,98 – 0,99 oranlarında korelasyona sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bu kapsamda; Fuel Moisture Index (FMI) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\mathrm{FMI} = 10 - 0.25\,(T - H) \tag{4}$$

Sharples vd. (2009a)'da ise basit bir MYİ önerisi yapılmıştır. Bu basitleştirilmiş MYİ'ya Fire Index (F index) ismi verilmiştir. Bu indiste rüzgâr hızı ve yanıcı madde nem miktarıyla ilişkilendirilmiştir. Bölüm şeklinde olan temel eşitlikte yangını destekleyen rüzgâr hızı pay kısmında ifade edilirken, yanıcı madde nem içeriği ise payda kısmında verilmiştir. Böylece, nem az ise risk çok, nem fazla ise risk az olmakla birlikte, rüzgâr çok ise risk çok, rüzgâr az ise risk az değerlendirmesi basitçe aşağıdaki eşitlikteki gibi yapılmıştır:

$$F = \max\,(U_o\,,\,U) \,/\, \mathrm{FMI} \tag{5}$$

MYİ'leri genellikle ülkesel, kıtasal ve küresel çalışmalarda sıkça görmekteyiz. Yerel çalışmalarda da kullanılmakla birlikte, alansal olarak ölçek daha detaylı oldukça, mekânsal çeşitlilik arttığından dolayı MYİ'ler yangın riskini hesaplamada daha kaba kalmaktadırlar. Ancak, MYİ'ler birçok avantaja sahiptirler. Bunlardan bazıları, basit bilgi sahibi kişilerin bile uygulayabilmesi, anlık veriyle hızlı bir şekilde bütünleştirilip çalışabilmesi ve geçmiş, güncel ve gelecek iklim tahminleriyle bütünleştirilebilmesi olarak gösterilebilir (Ertugrul & Varol, 2016; Satir, 2016b).

ÇOK ÖLÇÜTLÜ MEKÂNSAL KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

Birçok farklı alanda Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi coğrafi bilgi teknolojileriyle elde edilen ve coğrafi olmayan verilerin bir arada uygun bir ara yüz içerisinde analiz edilmesine olanak sağlayan Mekânsal Karar Destek Sistemleri (MKDS), günümüzde onlarca farklı alanda kullanılmaktadır. Çoklu mekânsal veri değerlendirme teknikleri olarak da isimlendirebileceğimiz bu yaklaşım, orman yangınları gibi çevresel risklerin haritalanmasında kullanımının yanı sıra (Jaiswal vd., 2002; Satir vd., 2016a), heyelan riski (Chalkias, Ferentinou & Poly-

kretis, 2014), sel riski (Papaioannou, Vasiliades & Loukas, 2014) ve farklı amaçlara yönelik alan kullanım planlamasında da (Bunruamkaew & Murayama, 2011; Javadian, Shamskooshki & Momeni, 2011) aktif olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntemi, temel olarak kullanılan veri grubuna göre ikiye ayırmak mümkündür. Orman yangın riskinin haritalanması özelinde değerlendirildiğinde; i) yangın olan alan verisine ihtiyaç duymayan teknikler ve ii) yangın olan alan verilene ihtiyaç duyan teknikler olarak sınıflandırabiliriz. Genel literatürde kabul gören şekilde açıklayacak olursa; ideal veri istemeyen yaklaşımlar ve ideal veriye dayalı yaklaşımlar olarak da sınıflandırılabilir (Şatir, 2016). Her iki yöntemin de ortak olan noktası ilk aşama olan ölçüt (kriter) belirleme aşamasıdır.

Ölçüt belirleme, her çalışmanın amaç ve hedeflerine göre farklılıklar gösterebilir. Bu kapsamda, doğru kriterleri belirmek çalışmanın daha kapsamlı ve doğru olması açılarından dolayı önemlidir. Örneğin; amacımız buğday tarımı için uygun alanları belirlemek ise, buğday tarımını etkileyen iklimsel (sıcaklık, yağış, nem, güneş radyasyonu vb.), fiziki (eğim, güneşlenme açısı, yükseklik vb.), toprak (tekstür, derinlik, kimyasal yapı vb.) ve sosyal (pazara erişim, ulaştırma vb.) birçok faktörü coğrafi olarak tanımlamak gerekmektedir (Şatır & Berberoğlu, 2021). Kriter belirlemeden önce izlenecek yaklaşımı etkileyen temel faktörler şu şekilde tanımlanabilir:

1) Literatürde benzer çalışmalar incelenerek veri grupları belirlenmelidir.
2) Veriye erişim imkânları değerlendirilmelidir. Çünkü her ülkenin coğrafi veri tabanı farklıdır ve bazı verilere erişim mümkün olamayabilir.
3) Çalışmanın bilimsel güvenilirliği açısından önemli veriler mevcut veri tabanlarında yok ise, uzaktan algılama, mekânsal istatistikler ve arazi çalışmalarıyla önemli verilerin sayısal haritalar olarak üretilmesi için farklı mekânsal analiz yöntemlerinden (uzaktan algılama indisleri veya interpolasyon yöntemlerinden) yararlanılmalıdır. Bu duruma bir örnek verilecek olursa; orman alanlarının kapalılığı, ağaç hacimleri veya yaprak alanı gibi yakıt miktarı-

nın belirlenmesine yardımcı olan veriler, İHA'lar, saha ölçümleri veya uydu verileri gibi araçlar kullanılarak üretilebilir (Günlü vd., 2008; Berberoğlu, Satir & Atkinson, 2009; Ercanlı vd., 2018).

4) Birçok çalışma göstermiştir ki, sağlıklı bir değerlendirme için girdi verilerinin fazla olması değil, gerekli olanların kullanılması önemlidir ve gereksiz fazla veriler oluşturulan modelin veya analizin doğruluğunu düşürebilir (Berberoğlu vd., 2009; Dönmez vd., 2015; Satir & Berberoglu, 2016).

Orman yangın riskinin haritalanmasında kullanılması gereken en önemli veri grupları, erişim imkânı (kaynakları) ve çıktı ürünleri, literatürdeki 40'ı aşkın farklı çalışmadan derlenerek Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3. Orman yangın riski haritalamasında kullanılabilecek ölçütler

Veri Tipi	Erişim imkânı	Üretim yöntemi	Çıktı ürünü
İklim verileri - Sıcaklık - Oransal nem - Yağış - Rüzgâr - Kuraklık - Sulaklık	Küresel, ülkesel ve yerel meteorolojik veri tabanlarından harita veya nokta tabanlı erişilebilir	Nokta tabanlı verilerin haritalanmasında kriging vb. mekânsal istatistiksel yöntemler kullanılabilir	İklim haritaları, kuraklık ve sulaklık indisleri, meteorolojik yangın indisleri
Fiziki veriler - Yükseklik - Eğim - Gölge durumu - Coğrafi yön - Toprak nemi - Enlem	Sayısal yükseklik verileri, uydu verileri, radar verileri yardımıyla üretilebilir	CBS tabanlı temel yersel analizler, literatür tabanlı toprak nem indisleri vb. yöntemlerle üretilebilir	Topografik ıslaklık indisi, toprak nem haritaları, oksijen miktarı, yangın yayılma hızı-potansiyeli, yangın oluşum riski
Biyolojik veriler - Vejetasyon kapalılığı - Bitki nem miktarı - Yanıcı madde miktarı - Yanıcı madde tipi - Döküm miktarı	Uydu verileri, hava fotoğrafları, LİDAR verileri yardımıyla erişilebilir	Vejetasyon ve nem indisleri, Sınıflama teknikleri, doğrusal ve doğrusal olmayan modeller. Nokta bulutu analizleri	Arazi örtüsü – kullanımı, yüzde bitki kapalılığı, hacim ve yakıt indisleri
Kültürel veriler - Yol ağları - Kentleşme alanları - Nüfus - Kullanım durumu - Gelir kaynağı - Tarım alanları	Arazi kullanımı verileri, nüfus veri tabanları, internet tabanlı konum verileri, yerel anketler	Sınıflama teknikleri, mekânsal istatistikler, web tabanlı mekânsal haritalama, anket tabanlı mekânsal haritalama, temel yersel analizler	Yoldan uzaklık, yerleşimden uzaklık, nüfus yoğunluğu, tarımdan uzaklık, kullanım yoğunluğu, orman kaynaklı fayda durumu haritaları

İDEAL VERİYE DAYALI OLMAYAN YAKLAŞIMLAR

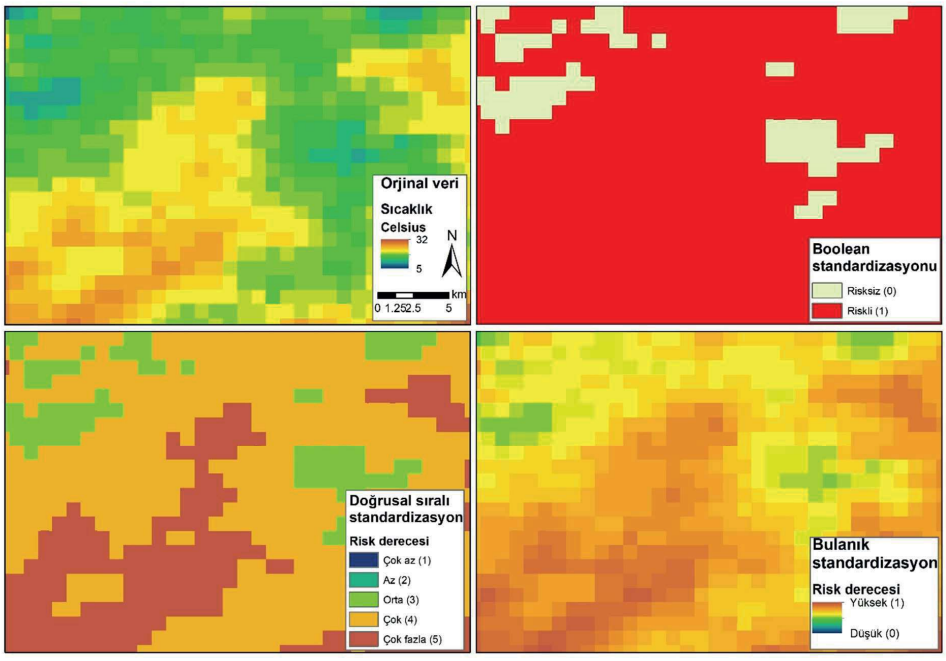
Çoklu mekânsal veri değerlendirme yöntemlerinde, özellikle amaca yönelik doğrulama verisi veya bağımlı (ideal) bir verinin olmadığı durumlarda kullanılabilen, veri standardizasyon yaklaşımına göre 3 farklı tipte uygulanabilen geleneksel bir yöntemdir. Bu yaklaşımda mutlaka uzman değerlendirmesine göre veri standardizasyonu ve farklı tekniklerle önceliklendirme (ağırlıklandırma) yapılmak zorundadır (Akıncı, Özalp & Turgut, 2013). Ölçüt belirleme, standardizasyon ve ağırlıklandırma olmak üzere temelde 3 aşamadan oluşur. Ölçüt belirleme aşaması çok ölçütlü mekânsal karar destek sistemlerinde ortak bir aşamadır. Ancak, standardizasyon aşaması, ideal verinin olmadığı durumlarda yapılması gereken bir aşamadır.

"*Standardizasyon*" her bir girdi ölçütünün değer aralığı ve birimi farklı olduğu için gereklidir. Matematiksel olarak, her bir girdi ölçütünün birbirleriyle karşılaştırılabilir olması gerekmektedir. Böylece ağırlıklandırma aşamasında, öncelik durumuna göre haritalama yapılabilir. Örneğin; hedefimiz yangın riskini haritalama ise, yükseklik ve eğim verilerini standart hale getireceksek, yükseklik veri aralığı 0 – 5137m arasında iken eğim veri aralığı 0-90° arasında olabilir. Orman yangın riskinin hesaplanması için eğim, yükseklikten 2 kat önemli ise, bu durumu verileri standart aralığa getirmeden tanımlamak, geleneksel parametrik yaklaşımlarla mümkün olamaz. Ancak, Yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Makinaları (DVM) veya Regresyon Ağacı (RA) gibi parametrik olmayan yöntemlerde, veriye bağımlı bir sistemle ağırlıklandırma yapıldığı için standardizasyon ve ağırlıklandırma süreçlerinin ayrıca yapılmasına gerek duyulmaz (Michael vd., 2021).

Uzman görüşü alınarak yapılan standardizasyon ve ağırlıklandırma yaklaşımlarında, Boolean veya 0 – 1 (var – yok), doğrusal sıralı ve bulanık standardizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Boolean yönteminde, her bir ölçüt için amaca yönelik bir eşik değer belirlenir. Örneğin; yükseklik verisinin orman yangınına etkisine göre, eşik bir yükseklik değeri belirlenir. Örnek değerin 2000m olduğunu var sayarsak, 2000m üzerindeki alanlar risksiz (0), altındaki alanlar ise riskli (1) olarak tanımlanır. Benzer mantık diğer verilere de uygulanır. Böylece bütün ölçütler 0 – 1 olarak değerler alır ve standart hale gelir. Ancak bu yöntemde çok kaba bir sonuç ortaya çıkar, detaylardaki değişkenlikler görülemez. Belirgin bir sonuç haritası olur ve bu durum doğruluğu düşürür. Öte yandan çok hızlı uygulanabilir ve pratiktir.

Sıralı doğrusal standardizasyonda ise ölçütler etki düzeyine göre kategorize edilir. Örneğin, yükseklik verisi, orman yangın riskine yaptığı katkı düzeyine göre 1 – 5 arasında değerler alır. En riskli yükseklik aralığına "5", en düşük riskli aralığa ise "1" değeri verilir. Bu sistem her ölçüt için tekrarlanır. Boolean veri yapısına göre, çok daha detaylı bir sonuç elde edilir. Risk sınıfları arasındaki geçişler daha belirgindir. Ancak, bu yöntemde de kategorilere göre ayırma aşamasında, neye göre yapılacağı, risk sınıfları arasındaki geçişlerin halen belirgin olması ve her verinin aynı ölçekte kategorize edilmesi zorunluluğu subjektif öğeyi artırmakta ve doğruluğu düşürmektedir.

Günümüzde daha çok kullanılan ve bulanık mantık teorisine dayalı olan bulanık (fuzzy) standardizasyonda ise, her ölçüt, orman yangınına neden olma derecesine göre 0 – 1 arasında değerler alarak standardize edilir. Burada doğrusal, Gaussian, artarak artan veya azalan ve kullanıcı tanımlı standardizasyonlar yapılabilir. Böylece, risk kategorileri arasındaki geçişler de işleme alınır. Doğruluğu diğer standardizasyon yöntemlerine göre daha fazladır. Yüzey sıcaklığı verisinin, orman yangın riski için farklı 3 yöntemle yapılan örnek standardizasyon sonuçları Şekil 2'de orijinal veriyle karşılaştırılarak verilmiştir.



Şekil 2. Yüzey sıcaklığı verisinin farklı yöntemlerle standardize edilmesi.

"*Ağırlıklandırma*" ideal veriye dayalı olmayan yaklaşımlarda standardizasyondan sonraki aşamadır. Bu aşamada, her bir ölçüte, ulaşılmak istenen hedefe olan etkisine göre matematiksel olarak, öncelik derecesi verilir. Bu aşamada temel olan; ölçütlerin birbirlerine göre etkisinin ne kadar olduğunun belirlenmesidir. Bu kapsamda, iki farklı yöntem ayrı olarak veya bir arada kullanılabilmektedir. Bunlardan ilki uzman tabanlı ağırlıklandırma, diğeri ise literatüre dayalı ağırlıklandırmadır.

Uzman tabanlı ağırlıklandırma, hedefe yönelik ideal bir veri olmadığı durumlarda ilk başvurulan yöntemlerden birisidir. Her bir ölçüt uzmanlara sorulan anketlerden elde edilen sayısal verilere göre Analitik Hiyerarşik Süreci (AHS) veya doğrudan puanlama sistemleri yardımıyla ikili veya çoklu olarak birbirleriyle karşılaştırılır ve ağırlıklandırılır (Saaty, 1980; Saaty, 2008). Ancak bu yöntemde, uzmanların niteliği ve uzmanlık dereceleri, sorulara verilen cevapların standart sapma değerlerini artırabilmektedir. Çünkü aynı soruya cevap veren uzmanlar, birbirinden tamamen farklı cevaplar da verebilmektedirler (Şatir, 2016). Buna karşın, günümüzde çok sık kullanılan bir ağırlıklandırma yöntemidir.

Literatür kaynaklı ağırlıklandırma ise, benzer çalışmalarda kullanılan veri setlerinin ideal veriye dayalı olarak yapılan önceliklendirme çalışmalarından elde edilen ağırlık katsayılarına göre yapılmaktadır. Bu yöntemdeki temel sorun, aynı konuya yönelik olarak çalışılsa da, farklı coğrafi bölgelerin kendilerine özel dinamiklerini aynı şekilde farklı bölgelere de uyarlamaya çalışılmasından kaynaklı, doğruluğun azalmasıdır.

İDEAL VERİYE DAYALI YAKLAŞIMLAR

Çok ölçütlü mekânsal karar destek sistemleri içerisindeki bilimsel olarak en geçerli yaklaşımlardır. Bu yaklaşımın temel sorunu, ideal verinin tanımlanmasıdır. İdeal veri kavramı, çalışmanın amacına göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin; tarımsal bir ürünün yetişebileceği habitatların uygunluk derecelerine göre haritalanması istendiğinde, ürün verimliliği veya yetiştiği alanlar ideal veri olarak tanımlanabilir (Şatır, 2013). Orman yangın riskinin belirlenmesinde ise, önceden yanan alanlar, riskli alanlar veya yanan alanlar temelinde oluşturulan bir yoğunluk (sıklık) haritası, yangın riskinin haritalanmasında ideal veri olarak tanımlanabilir (Satir vd., 2016a).

İdeal veriye dayalı tekniklere baktığımızda, Weight of Evidence (WOE), veya Göstergelerin Ağırlıklandırılması tekniği doğrusal teknikler içerisinde ön plana çıkmaktadır (Dickson vd., 2006; Zheng & Lv, 2016). Bu tekniğin temeli, kategorilere ayrılmış her bir ölçüt içerisindeki ideal nokta frekansına göre, ölçütler otomatik olarak standardize edilip ağırlıklandırılır. Noktasal dağılım kategoriler arasında eşit ise, ilgili ölçüt önemsiz olarak değerlenir. Eğer, ideal nokta dağılımı belirli bir kategoride toplanıyorsa, ilgili ölçüt önemli kabul edilir. Örneğin; belirli bir bölgede 10 adet yangın çıkmış ise, bu yangın noktalarının dağılımı sadece 0 – 500m yükseklik aralığında ise, yükseklik önemli bir faktör olarak değerlendirilir. Ancak, 0 – 2.000m aralığında her 500m'de eşit noktasal dağılım gösterirse, yüksekliğin yangınlarda etkisi olmadığı sonucuna ulaşılacağından dolayı yükseklik önemsiz kabul edilirdi.

Çoklu lojistik regresyon bir diğer veri bağımlı haritalama tekniği olarak orman yangın riskinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Geçmişe yönelik yangın noktalarından yararlanarak, yangın riskini etkileyen her bir ölçütün, çoklu regresyona benzer bir ağırlık-faktör bağıntısıyla tahminini gerçekleştirmektedir. Doğruluk oranı, karar ağacı, YSA, RT ve Maksimum Entropi gibi diğer makine öğrenme tekniklerine göre daha düşüktür (Pham vd., 2020).

Sıklıkla kullanılan makine öğrenme teknikleri de veri bağımlı haritalama yaklaşımlarındandır. Bu yaklaşımların doğruluk oranlarına bakıldığında çoğunlukla Receiver Operating Characteristic curve (ROC curve) analizleri sonucu elde edilen Area Under the ROC Curve (AUC) değerleri 0,9'dan büyük olarak elde edilmiştir. Orman yangın riskinin haritalanması literatüründe makine öğrenme tekniklerinden en çok Karar Ağacı (KA) (Lozano vd., 2008; Hong vd., 2015), Rastgele Orman (RO) (Oliveira vd., 2012; Leuenberger, Kanevski & Vega Orozco, 2013; Arpaci vd., 2014; Guo vd., 2017; Song vd., 2017; Leuenberger vd., 2018; Gigović vd., 2019), Destek Vektör Makinaları (DVM) (Hong vd., 2015; Bui vd., 2016; Gigović vd., 2019; Eskandari vd., 2020) ve geleneksel Yapay Sinir Ağları (YSA) (Vasilakos vd., 2009; Dimuccio vd., 2011; Satir vd., 2016a) kullanılmaktadır.

Son yıllarda ise bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeye paralel olarak, geleneksel YSA'ların yerini Derin Öğrenme (DÖ) sistemleri almaya başlamıştır. Geleneksel bir YSA mimarisinde, girdi katmanı, analiz katmanı ve çıktı katmanı bulunmaktadır. Analiz katmanı en fazla iki ayrı nöron

sisteminden oluşmaktadır ve uygulama algoritmasına göre döngüsel bir sistemde, eğiticinin verdiği verileri belirli oranlarda ayırarak, kullanıcının tanımladığı hata aralığında, kendini eğitir ve girdi verilerine göre öğrendiklerini yorumlama yaparak uygular ve sonuç verisini üretir. DÖ'de ise temel farklılık ara katman sayısı ve toplam nöron sayısıdır. Ayrıca her ara katmanda farklı algoritmalar da uygulanabilmektedir. Böylece hibrit bir ağ sistemi de oluşturmak mümkündür. Günümüzde en çok kullanılan ağ sistemi Convolutional Neural Network (CNN), Evrişimsel Sinir Ağları (ESA)'dır (Bjanes, De La Fuente & Mena, 2021; Noderpour, 2021). Bu çalışmalardaki genel doğruluk oranlarının, geleneksel makine öğrenme ve YSA tekniklerine göre bir miktar yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak DÖ yöntemlerinin en önemli avantajı, az sayıda eğitim verisiyle bile yüksek doğruluklarda sonuçlar üretebilmesidir. DÖ yöntemleri, İHA'lar veya uydu verilerinden yanan alanların otomatik olarak tespit edilmesinde de aktif olarak kullanılabilmektedir (Xu vd., 2021; Pereira vd., 2021).

Bir diğer son yıllarda orman yangın risk haritalamasında kullanılan teknik ise Maksimum Entropi (MaxEnt) tekniğidir. Bu teknikte de yangın oluşum verileri noktasal olarak sisteme tanımlanır ve makine öğrenme temelli bir eğitim sistemi sonrasında haritalar üretilir. Bu yöntem genellikle tür dağılım haritalanmasında ve yersel bilimlerde tehlike modellemelerinde ve habitat modellemelerinde sıkça kullanılmaktadır (Feng & Hong, 2009; Pourghasemi & Rossi, 2018). Birçok diğer teknikte yangın olan noktaların yanı sıra, olma ihtimali olmayan bölgelerinde tanımlanması gerekirken, MaxEnt sadece yangın olan noktaları eğitim verisi olarak kullanabilmektedir. Temel mantığını yangın risk haritalaması üzerinden açıklayacak olursak; yangın oluşum noktalarının rastgele alansal dağılımları, girilen ölçütlere göre ne kadar anlamlı ise, olasılık o kadar yüksektir. Özetle, noktaların coğrafi dağılımları üzerinden tahmin yapan bir modeldir. DÖ yöntemlerine kıyasla, benzer doğruluklarda olabildiği belirlenmiştir (Banerjee, 2021).

SİMÜLASYON TABANLI RİSK HARİTALAMA

Orman yangın davranışlarının önceden belirlenmesi, iki temel konuda önemli avantajlar sağlamaktadır. Bunlar, yangınların afete dönüşmesini engelleyebilecek müdahale stratejilerinin önceden belirlenmesi ve yangın anında yayılma davranışlarının takip edilebilmesidir.

Simülasyon tabanlı haritalama yaklaşımları başlangıçta deneysel modellerden elde edilen verilerle, geniş ölçekli coğrafi veri setlerinin bütünleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu modeller ana veri seti olarak; yanıcı madde, topografya, hava olayları ve yangının kendisini (başlangıç yeri ve yayılım alanını) kullanırlar. Zaman içerisinde birçok orman yangın davranış modeli, deneysel, fiziksel, matematiksel ve mantıksal verilere dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu modellerin hemen hepsi, doğru veri girildiğinde yangının, peyzaj üzerindeki yayılma davranışlarını zamansal ve mekânsal olarak yüksek doğruluklarda canlandırabilmektedirler (Sullivan, 2009). Deneysel modeller genellikle, basit girdi veri setleri, kolay anlaşılabilirlik ve pratik uygulama imkanları nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Bunlardan en çok kullanılanları; FARSITE (Finney, 1998), FlamMap (Finney, 2006), BehavePlus (Andrews, 2014), ForeFire (Balbi vd., 2009), WFDSS (Pence & Zimmerman, 2011), Prometheus (Tymstra vd., 2010), Phoenix (Tolhurst, Shields & Chong, 2008) Spark (Hilton vd., 2015) ve Wildfire Analyst (Ramirez, Monedero & Buckley, 2011; Monedero, Ramirez & Cardil, 2019) modelleridir. Bunların tamamı, saha ve laboratuvar çalışmalarıyla doğrudan elde edilen verilerden yararlanılarak, orman yangınlarının istenmeyen etkilerinin en aza indirgenmesinde kullanılmaktadır.

Bu modellerden birisi olan FARSITE, yangın simülasyonu için 8 farklı veri katmanına ihtiyaç duymaktadır. Bunlar; Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), eğim, bakı, bitki kapalılığı, yanıcı madde tipi, hava durumu, rüzgâr hızı ve yönü ve yanıcı madde nem miktarıdır (Finney, 1995). Yangın simülasyon modelleri ve üç boyutlu (3B) yüzey modeli kullanılarak, bir yangının 3B ortamında da canlandırılması mümkündür. Ülkemizde de yangın simülasyon modellerinin CBS ortamında 3B olarak modellenmesi 2000'li yıllardan beri bazı bilim insanlarınca yapılmıştır (Köse vd., 2008). Ayrıca, ülkemizde deneysel model geliştirmeye yönelik yangın davranışlarının izlenmesi de Küçük vd. (2010)'da ülkemizdeki bulunan 437 farklı noktada çıkarılan deneysel yangınlarla detaylı olarak izlenmiştir. Ancak ilgili konularda bütüncül bir yönetim yaklaşımı için teknolojik altyapının güçlendirilmesi gereklidir.

SONUÇ

Bu çalışma, orman yangın riskinin haritalanmasında kullanılan farklı yaklaşımlardan en dikkate değer olanlarının incelenmesini ve bu sayede ülkemiz için uygun bir önleme ve müdahale modeli geliştirilmesini

desteklemek için yapılmıştır. Bu kapsamda, uygulanan yöntemlerin genel sonuçları irdelenecek olursa;

MYİ'lerin günümüzde de etkili olarak kullanılabildiği ve gerçek zamanlı izlemede geniş alanlarda önemli veriler sağladığı tespit edilmiştir. Yangın risk haritalamasında, ham sonuç olarak veya farklı niteliklerdeki detaylı risk modellerine girdi olarak değerlendirilebilmektedir. Ülkemiz için önerilen modelde, diğer ülkelerdeki örneklerine benzer olarak, meteoroloji genel müdürlüğü tarafından, yangın sezonlarında otomatik olarak üretilip, yangın müdahale merkezleriyle paylaşılabilir. Günümüzde, sadece kuraklık indisi şeklinde üretilmekte olup, dünyadaki örneklerine benzer yangın indisi şeklinde revize edilmesi daha uygun olacaktır. EFFIS sistemi bu noktada bütün Avrupa'yı da kapsadığı için ülkemiz için daha kaba kalmaktadır.

Günümüzde risk haritalamada gerçek zamanlı derin öğrenme algoritmaları kullanılmaktadır. Aslında bu algoritmalar günlük hayatımızın her anında vardır. Örneğin, telefonumuzla çektiğimiz bir fotoğraftaki kişinin, başka fotoğraflarda da olup olmadığının bulunması, yüz ve plaka tanıma sistemleri vb. alanlarda kullanılmaktadır. Derin öğrenme, uyarlanabilen etkili bir karar destek sistemidir. Orman yangınlarına müdahale stratejilerinin belirlenmesinde, uygun veri setleri ve simülasyon tabanlı sistemlerle desteklenmesi halinde, otomatik müdahale stratejileri ve bölgesel uyarı sistemleri geliştirilebilir. Bu sayede, yangın öncesi uyarı, yangın anı müdahale ve yangın sonrası izleme sistemleri otomatik olarak işletilebilir. Böylece, zamanında doğru müdahale yapılıp, yaşam, ekosistem ve ekonomik kayıplar önlenebilir veya azaltılabilir.

Simülasyonlar daha çok yerel ölçeklerdeki yangın davranışlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Simülasyon tabanlı risk değerlendirmelerinin en önemli eksiği budur. Ancak, geniş çaplı risk haritalama yöntemleriyle, önceden riskli alanlar belirlenip, sonrasında afet riski olan bölgelerde yangın simülasyonları ve tatbikatları yapılabilir. Bu sayede, yangına müdahale birimlerinin koordinasyon ve iş – zaman durumları önceden tatbik edilebilir. Bu sayede, müdahale yolları, yangının yayılma yönü ve hızı önceden dakikalar hassasiyetinde belirlenebilir ve müdahale stratejileri yangından önce de tatbik edilebilir

Bütün bu sonuçlar ve öneriler doğrultusunda, ülkemiz için 3 aşamalı bir sistem benimsenmelidir: Birinci aşamada, yangın sezonundan önce geniş ölçekte risk alanlarının geçmiş verilere dayalı olarak belirlenmesi ve

MYİ'ler yardımıyla riskli bölgelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi. Bu aşamada, yangın risk modellerinin ihtiyaç duyduğu veriler UA araçları kullanılarak da elde edilebilir. İkinci aşamada, riskli olarak tespit edilen alanlarda yangın çıkması halinde afete neden olabilecek bölgelerin belirlenmesi ve önceden planlı yangın tedbirlerinin bu bölgeler için hayata geçirilmesidir. Gerçek zamanlı izleme için İHA'lardan yararlanılması ve yangının kısa sürede söndürülemeyeceği bölgelerde önceden simülasyonlar yapılarak potansiyel yangın yayılma alanlarına göre afet riski taşıyan alanlardan başlamak üzere önleyici tedbirlerin alınması bu aşamada önemlidir. Üçüncü aşama ise, en önemli aşama olan verilerin bir kaynakta toplanarak bütünleştirilmesi aşamasıdır. Günümüzde dünyadaki veri mühendislerinin en çok üzerinde durduğu konulardan birisidir. Bu kapsamda, yangın riski için farklı kurumların veya bilim insanlarının kurduğu web tabanlı veya yerel coğrafi veri platformlarının, ülkemizde yapılacak yazılımlarla bütünleştirilerek, ilgili yerlere anında aktarım ve yerinde müdahale platformlarının kurulmasıdır. Bu durum, günümüzde büyük veri işleme, depolama ve aktarma şeklinde tanımlanmakta olup, günümüzün en önemli sorunlarındandır. Çözüm için, bütün verilerin tek bir platformdan idare edilmesi ve bunun otomasyona bağlanması gerekmektedir. Çünkü sistemi kurmanın yanı sıra sürdürülebilirliği de önemlidir.

KAYNAKÇA / REFERENCES

Akıncı, H., Özalp, A.Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, 71–82. doi:10.1016/j.compag.2013.07.006

Andrews, P. (2014). Current status and future needs of the BehavePlus fire modeling system. *International Journal of Wildland Fire,* 23, 21–33. doi:10.1071/WF12167

Arpaci, A., Malowerschnig, B., Sass, O., & Vacik, H. (2014). Using multivariate data mining techniques for estimating fire susceptibility of Tyrolean forests. *Applied Geography,* 53, 258–270. doi:10.1016/j.apgeog.2014.05.015

Ayanz, S.M., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Liberta, G., Vivancos, T., … & Leray, T. (2020). Forest fires in Europe Middle East and North Africa 2019, Publication office of the EU. Luxemburg.

Balbi, J., Morandini, F., Silvani, X., Filippi, J., & Rinieri, F. (2009). Physical model for wildland fires. *Combustion and Flame*, 156, 2217–2230. doi:10.1016/j.combustflame.2009.07.010

Banerjee, P. (2021) Maximum entropy-based forest fire likelihood mapping: Analysing the trends, distribution, and drivers of forest fires in Sikkim Himalaya, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 36(4), 275-288. doi:10.21203/rs.3.rs-22646/v3

Alonso-Benzatos, A.A., Romero, O.F., Guijarro, B., Pereira, E.H., Andrade, M.I.P., Jimenez, E., Soto, J.L.L., & Carballas, T. (2003). An intelligent system for forest fire risk prediction and firefighting management in Galicia. *Expert Systems with Applications*, 25, 545 – 554. doi:10.1016/S0957-4174(03)00095-2

Berberoğlu, S., Satir, O., & Atkinson, P.M. (2009). Mapping percentage tree cover from Envisat MERIS data using linear and nonlinear techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 30(18), 4747-4766. doi:10.1080/01431160802660554

Bjanes, A., De La Fuente, R., & Mena, P. (2021). Deep learning ensemble model for wildfire susceptibility mapping. *Ecological Informatics,* 65, 101397. doi:10.1016/j.ecoinf.2021.101397

Bunruamkaew, K., & Murayama, Y. (2011). Site suitability evaluation for ecotourism using GIS&AHP: A case study of Surat Thani province, Thailand. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 21, 269 – 278. doi:10.1016/j.sbspro.2011.07.024

Bui, D.T., Le KTh., Nguyen, V.C., Le, H.D., & Revhaug, I. (2016). Tropical forest fire susceptibility mapping at the Cat Ba National Park area, Hai Phong City, Vietnam, using GIS-based Kernel logistic regression. *Remote Sensing*, 8(4), 347. doi:10.3390/rs8040347

Chalkias, C., Ferentinou, M., & Polykretis, C. (2014). GIS-based landslide susceptibility mapping on the Peloponnese Peninsula, Greece. *Geosciences*, 4, 176–190. doi:10.3390/geosciences4030176

de Groot, W.J., Wardati, & Wang, Y. (2005). Calibrating the fine fuel moisture code for grass ignition potential in Sumatra, Indonesia. *International Journal of Wildland Fire,* 14(2), 161-168. doi:10.1071/WF04054

Dickson, B.G., Prather, J.W., Xu, Y., Hampton, H.M., Aumack, E.N., & Sisk, T.D. (2006). Mapping the probability of large fire occurrence in northern Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 21, 747–761. doi:10.1007/s10980-005-5475-x

Dimuccio, L.A., Ferreira, R., Cunha, L., & Campar de Almeida, A. (2011). Regional forest-fire susceptibility analysis in central Portugal using a probabilistic ratings procedure and artificial neural network weights assignment. *International Journal of Wildland Fire,* 20(6), 776–791. doi:10.1071/WF09083

Dönmez, C., Berberoğlu, S., Erdoğan, M.A., Tanriover, A.A., & Çilek, A. (2015). Response of the regression tree model to high resolution remote sensing data for predicting percent tree cover in a Mediterranean ecosystem. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 4. doi:10.1007/s10661-014-4151-5

Dudfield, M. (2004). Art and science of forest and rural fire management. *Proceedings AFAC/Bushfire CRC Annual Conference*, Perth, October 2004. pp. 183-185.

EFFIS (2021). European Forest Fire Information System, *Seasonal trend statistic of Turkey*. https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics.portal/seasonal-trend/NOTEU/TR. (Erişim tarihi: 06.10.2021).

Ercanlı, İ., Günlü, A., Şenyurt, M., & Keleş, S. (2018). Artificial neural network models predicting the leaf area index: A case study in pure even-aged Crimean pine forests from Turkey. *Forest Ecosystems*, 5, 29. doi:10.1186/s40663-018-0149-8

Ertugrul, M., & Varol, M. (2016). Evaluation of fire activity in some regions of Aegean Coasts of Turkey via Canadian Forest Fire Weather Index System (CFFWIS). *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(2), 93 – 105. doi:10.15666/aeer/1402_093105

Eskandari, S. (2017). A new approach for forest fire risk modeling using fuzzy AHP and GIS in Hyrcanian forests of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, 190. doi:10.1007/s12517-017-2976-2

Eskandari, S., Amiri, M., Sãdhasivam, N., & Pourghasemi, H.R. (2020). Comparison of new individual and hybrid machine learning algorithms for modeling and mapping fire hazard: A supplementary analysis of fire hazard in different counties of Golestan Province in Iran. *Natural Hazards,* 104, 305–327. doi:10.1007/s11069-020-04169-4

Feng, L., & Hong, W. (2009). On the principle of maximum entropy and the risk analysis of disaster loss. *Applied Mathematical Modelling*, 33(7), 2934–2938. doi:10.1016/j.apm.2008.10.002

Finney, M.A. (1995). FARSITE Fire Area Simulator Version 1.0 User guide and technical documentation. Systems for Environmental Management Report. *Systems for Environmental Management*, Missoula, MT, p. 76.

Finney, M.A. (1998). FARSITE, fire area simulator–model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Finney, M.A. (2006). An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In Fuels management-how to measure success. In USDA forest service, Fort Collins, CO, Rocky Mountain research station proceedings RMRS-P-41, 213–220.

Fosberg, M.A. (1978). Weather in wildland fire management: The fire weather index. *Proceedings of the Conference on Sierra Nevada Meteorology*, June 19 – 21, Lake Tahoe, California, USA. Boston: American Meteorological Society.

Gigović, L., Pourghasemi, H.R., Drobnjak, S., & Bai, S. (2019). Testing a new ensemble model based on SVM and Random Forest in forest fire susceptibility assessment and its mapping in Serbia's Tara National Park. *Forests,* 10(5), 408. doi:10.3390/f10050408

Günlü, A., Sivrikaya, F., Baskent, E.Z., Keles, S., Cakir, G., & Kadiogullari, A.I. (2008). Estimation of stand type parameters and land cover using Landsat-7 ETM image: A case study from Turkey. *Sensors*, 8, 2509–2525. doi:10.3390/s8042509

Guo, F., Su, Z., Tigabu, M., Yang, X., Lin, F., Liang, H., & Wang, G. (2017). Spatial modelling of fire drivers in urban-forest ecosystems in China. *Forests,* 8(6), 180, doi:10.3390/f8060180

Hardy, C.C. (2005). Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions and context. *Forest Ecology and Management*, 211, 73 – 82. doi:10.1016/j.foreco.2005.01.029

Hasson, A.E.A., Mills, G.A., Timbal, B., & Walsh, K. (2008). Assessing the impact of climate change on extreme fire weather in Southeast Australia. CAWCR Technical Report No. 007. http://www.cawcr.gov.au/technical-reports/CTR_007.pdf. (Erişim tarihi 20.04.2016).

Hilton, J.E., Miller, C., Sullivan, A.L., & Rucinski, C. (2015). Effects of spatial and temporal variation in environmental conditions on simulation of wildfire spread. *Environmental Modeling & Software*, 67, 118–127. doi:10.1016/j.envsoft.2015.01.015

Hong, H., Pradhan, B., Xu, C., & Tien Bui, D. (2015). Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang Area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines. *Cantena,* 133, 266–281. doi:10.1016/j.catena.2015.05.019

ITTO (1997). International Tropical Timber Organization, Guidelines on fire management in tropical forest. ITTO policy development series report No:6.

Jaiswal, R.K., Mukherjee, S., Raju, KD., & 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. doi:10.1016/S0303-2434(02)00006-5

Javadian, M., Shamskooshki, H., & Momeni, M. (2011). Application of sustainable urban development in environmental suitability analysis of educational land use by using AHP and GIS in Tehran. *Procedia Engineering*, 21, 72–80. doi:10.1016/j.proeng.2011.11.1989

Köse, K., Grammalidis, N., Yılmaz, E.E., & Cetin, E. (2008). 3D Wildfire simulation system. The *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B8. Beijing, China.

Küçük, Ö., Bilgili, E., Sağlam, B., Durmaz, B.D., & Baysal, İ. (2010). Türkiye'de yangın davranışının belirlenmesine yönelik yapılan deneme yangınları. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi,* 20-22 Mayıs 2010 Cilt: III, ss.1251-1261.

Leuenberger, M., Kanevski, M., & Orozco, C.D.V. (2013). Forest fires in a random forest. Geophysical research abstracts, Vol 15, EGU General Assembly.

Leuenberger, M., Parente, J., Tonini, M., Pereira, M.G., & Kanevski, M. (2018). Wildfire susceptibility mapping: deterministic vs. stochastic approaches. *Environmental Modelling & Software,* 101, 194–203. doi:10.1016/j.envsoft.2017.12.019

Liu, Z.H., Chang, Y., He, H.S., Hu, Y.M., & Wang, W.J. (2009). Effects of different forest fuel treatments on potential forest fire regimes in Great Xing'an Mountains: A simulation study. *Chinese Journal of Ecology*, 28(8), 1462–1469.

Lozano, F.J., Suárez-Seoane, S., Kelly, M., & Luis, E. (2008). A multi-scale approach for modeling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: A case study in a mountainous Mediterranean region. *Remote Sensing of Environment*, 112, 708–719. doi:10.1016/j.rse.2007.06.006

Maffei, C., Leone, A.P., Vella, M., Meoli, G., Tosca, M., & Menenti, M. (2007). Retrieval of vegetation moisture indicators for dynamic fire risk assessment with simulated MODIS radiance. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, (IGARSS 2007)*. IEEE International, 23 – 27 July 2007.

McArthur, A.G. (1966). Weather and grassland fire behaviour. Canberra, Australia: Department of National Development, Forestry and Timber Bureau Leaflet No. 100.

McArthur, A.G. (1967). Fire behaviour in eucalypt forests. Canberra: Forestry and Timber Bureau. *The Ninth Commonwealth Forestry Conference*, India.

Michael, Y., Helman, D., Glickmand., O., Gabay, D., Brenner, S., & Lensky, I.M. (2021). Forecasting fire risk with machine learning and dynamic information derived from satellite vegetation index time-series. *Science of the Total Environment,* 764, 142844. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142844

Monedero, S., Ramirez, J., & Cardil, A. (2019). Predicting fire spread and behaviour on the fireline. Wildfire analyst pocket: A mobile app for wildland fire prediction. *Ecological Modelling,* 392, 103–107. doi:10.1016/j.ecolmodel.2018.11.016

Mutlu, M., Popescu, S.C., & Zhao, K. (2008). Sensitivity analysis of fire behavior modeling with LIDAR-derived surface fuel maps. *Forest Ecology and Management,* 256(3), 289 – 294. doi:10.1016/j.foreco.2008.04.014

Oliveira, S., Oehler, F., San-Miguel-Ayanz, J., Camia, A., & Pereira, J.M.C. (2012). Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using multiple regression and random forest. *Forest Ecology and Management,* 275, 117–129. doi:10.1016/j.foreco.2012.03.003

Papaioannou, G., Vasiliades, L., & Loukas, A. (2014). Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water Resources Management*, 29(2), 399–418. doi:10.1007/s11269-014-0817-6

Pence, M., & Zimmerman, T. (2011). The wildland fire decision support system: Integrating science, technology, and fire management. *Fire Management Today,* 71(1), 18–22.

Pereira, G.H., Fusioka, A.M, Nassu, B.T., & Minetto, R. (2021). Active fire detection in Landsat-8 imagery: A large-scale dataset and a deep-learning study. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* 178, 171–186. doi:10.1016/j.isprsjprs.2021.06.002

Pham, B.T., Jaafari, A., Avand, M., Al-Ansari, N., Dinh Du, T., Yen, H.P.H., … & Tuyen, T.T. (2020). Performance evaluation of machine learning methods for forest fire modeling and prediction. *Symmetry,* 12, 1022. doi:10.3390/sym12061022

Pourghasemi, H.R., & Rossi, M. (2018). *Natural Hazards GIS-Based Spatial Modeling Using Data Mining Techniques*. Cham: Springer.

Ramirez, J., Monedero, S., & Buckley, D. (2011). New approaches in fire simulations analysis with Wildfire Analyst. The 5th international wildland fire conference. Sun City, South Africa. doi:10.13140/2.1.2045.7766

Saaty, T. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. New York: John Wiley.

Saaty, T. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *Review of the Royal Spanish Academy of Sciences Series A Mathematics*, 102(2), 251–318. doi:10.1007/BF03191825

Satir, O., & Berberoğlu, S. (2016). Crop yield prediction under soil salinity using satellite derived vegetation indices. *Field Crops Research*, 192, 134-143. doi:10.1016/j.fcr.2016.04.028

Satir, O., Berberoglu, S., & Donmez, C. (2016a). Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(5), 1645–1658. doi:10.1080/19475705.2015.1084541

Satir, O., Berberoglu, S., & Cilek, A. (2016b). Modelling long term forest fire risk using fire weather index under climate change in Turkey. *Applıed Ecology and Environmental Research,* 14(4), 537-551. doi:10.15666/aeer/1404_537551

Şatır, O. (2013). Aşağı Seyhan Ovası'nda Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Tarımsal Alan Kullanım Uygunluğunun Belirlenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi FBE Peyzaj Mimarlığı ABD. Adana, Türkiye.

Şatir, O. (2016). Mapping the Land-Use Suitability for Urban Sprawl Using Remote Sensing and GIS Under Different Scenarios, *Sustainable Urbanization*, Intech Open, London UK. doi:10.5772/63051.

Şatır, O., & Berberoğlu, S. (2021). Evaluation of land use suitability for wheat cultivation considering geo-environmental factors by data dependent approaches. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences,* 31(3), 528 – 542.

Schmuck, G., Ayanz, S.M., Camia, A., Durrant, T., Oliveira, S.S., Boca, R., … & Schulte, E. (2010). Forest fires in Europe 2009. Publications Office of the European Union. Luxemburg 83 pp. Scientific and Technical Research series. doi:10.2788/74089.

Schneider, P., Roberts, D.A., & Kyriakidis, P.C. (2008). A VARI-based relative greenness from MODIS data for computing the fire potential index. *Remote Sensing of Environment,* 112, 1151–1167. doi:10.1016/j.rse.2007.07.010

Sharples, J.J., McRae, R.H.D., Weber, R.O., & Gill, A.M. (2009a). A simple index for assessing fuel moisture content. *Environmental Modeling & Software*, 24, 637 – 646. doi:10.1016/j.envsoft.2008.10.012

Sharples, J.J., McRae, R.H.D., Weber, R.O., & Gill, A.M. (2009b). A simple index for assessing fire danger rating. *Environmental Modeling & Software,* 24, 764 – 774. doi:10.1016/j.envsoft.2008.11.004

Simard, A.J. (1968). The moisture content of forest fuels 1. A review of the basic concepts. Canadian Department of Forest and Rural Development, Forest Fire Research Institute, Information Report FF-X-14. Ottawa, Ontario.

Stocks, B.J., Lawson, B.D., Alexander, M.E., Vanwagner, C.E., McAlpine, R.S., Lynham, T.J., & Dube, D.E. (1989). The Canadian forest fire danger rating system: An overview. *Forestry Chronicle,* 65, 450-457.

Sullivan, A.L. (2009). Wildland surface fire spread modelling, 1990 – 2007. 3: Simulation and mathematical analogue models. *International Journal of Wildland Fire*, 18(4), 387–403. doi:10.1071/WF06144

Song, Ch., Kwan, M., Song, W., & Zhu, J. (2017). A Comparison between spatial econometric models and random forest for modeling fire occurrence. *Sustainability,* 9(819), 1–21. doi:10.3390/su9050819

Tolhurst, K., Shields, B., & Chong, D. (2008). Phoenix: Development and application of a bushfire risk management tool. *The Australian Journal of Emergency Management*, 23(4), 47-54.

Tymstra, C., Bryce, R., Wotton, B., Taylor, S., & Armitage, O. (2010). Development and structure of Prometheus: the Canadian wildland fire growth simulation model. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Information Report NOR-X-417. 102 s.

Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., & Matsinos, I. (2009). Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network. *Natural Hazards,* 50(1), 125–143. doi:10.1007/s11069-008-9326-3

Viegas, D.X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A., & Sol, B. (1999). Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of Wildland Fire*, 9(4), 235-246. doi:10.1071/WF00015

Xu, R., Lin, H., Lu, K., Cao, L., & Liu, Y. (2021). A forest fire detection system based on ensemble learning. *Forests*, 12(2), 217. doi:10.3390/f12020217

Yeler, S.T. (2017). Türkiye'de ulaşım ve HES politikalarının bazı ekosistem servisleri üzerine etkilerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Van YYÜ Fen Bilimleri Ens. Peyzaj Mimarlığı ABD. Van, Türkiye.

Zheng, X., & Lv, L. (2016). A WOE method for urban growth boundary delineation and its applications to land use planning. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(4), 691–707. doi:10.1080/13658816.2015.1091461