

# Effects of Climate Change on the Wildfires in the Mediterranean Basin

## İklim Değişikliğinin Akdeniz Havzası'ndaki Orman Yangınlarına Etkisi

Burcu CALDA <sup>1,2</sup> , Nazan AN <sup>1,2</sup> , Mustafa Tufan TURP <sup>1,2</sup> , Mehmet Levent KURNAZ <sup>2,3</sup> 

<sup>1</sup> Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, 34342, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Boğaziçi Üniversitesi, İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, 34342, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup> Boğaziçi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 34342, İstanbul, Türkiye

### Öz

İklim değişikliği ile birlikte son yıllarda Akdeniz Havzası'nda orman yangınlarının sayısında ciddi bir artış gözlenmiştir. Gerçekleşen bu yangınlar ormanlara doğal felaketlerden daha çok zarar vermektedir. Çıkan yangınların bir kısmı artan kurak hava koşulları nedeniyle doğal yollardan meydana gelirken, diğer bir kısmı ise ihmal ya da kasit sonucunda oluşan ve büyük ölçüde iklim elemanlarının (sıcaklık, yağış, rüzgâr, nem vb.) etkisiyle büyüklüğü değişen yangınlar olarak ortaya çıkmaktadır. Orman yangınlarının öngörülmesinde kuraklık ile orman yangınları arasındaki ilişkiyi ele alan farklı indisler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, olası orman yangınlarını öngörmek amacıyla yaygın olarak kullanılan yangın indislerinden; Haines İndisi (HI), Kanada Orman Yangın Hava İndisi (FWI), Keetch-Byram Kuraklık İndisi (KBDI), F İndisi detaylı olarak, Entegre Yangın İndisi (IFI), McArthur Mark 5 (Mk5) Orman ve Mark 4 (Mk4) Otlak Yangın Tehlike İndisi (McArthur Mark 5 (Mk5)), Fosberg Yangın Hava İndisi (FFWI), Nesterov İndisi (NI) ve Angström İndisi (AI) kısaca ele alınmıştır. İklim değişikliğinin orman yangınlarına etkisiyle ilgili yapılan çalışmalar kapsamında Antalya, Çanakkale ve Muğla Orman Bölge Müdürlüklerine bağlı orman arazilerinde 2008 ve 2009 yıllarında çıkan yangınlar Kanada Orman Yangın Hava İndisi (FWI) kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar 2008 ve 2009 yılı yangın verileri ile tutarlılık göstermiştir ve FWI değerleri bu yıllar için yangın riskini öngörmeye başarılı bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Türkiye, Akdeniz Havzası, Haines İndisi (HI), Kanada Orman Yangın Hava İndisi (FWI), Keetch-Byram Kuraklık İndisi (KBDI), F İndisi

### Abstract

Along with climate change, there has been a significant increase in the number of forest fires in the Mediterranean Basin in recent years. These fires cause more damages to forests than natural disasters. While some of the fires are caused by natural due to increasing arid weather conditions, the other part emerges as a result of negligence or intent and it appears to be that the fires vary in size because of the effects of climate elements (temperature, precipitation, wind, humidity etc.). In order to predict forest fires, different indices are used to address the relationship between drought and forest fires. In this study, widely used fire indices to predict possible forest fires; Haines Index (HI), Canada Forest Fire Weather Index (FWI), Keetch-Byram Drought Index (KBDI), F Index in detail and Integrated Fire Index, McArthur Mark 5 (Mk5) Forest and Mark 4 (Mk4) Grassland Fire Danger Index, Fosberg Fire Weather Index, Nesterov Index are briefly reviewed. In the light of studies about the impact of climate change on forest fires, the fires in 2008 and 2009 in the forest areas of Antalya, Çanakkale and Muğla Regional Forest Service have been examined by using the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI). The results have been consistent with fire data for 2008 and 2009 and FWI values have been successful in predicting fire risk for these years.

**Keywords:** Turkey, the Mediterranean Basin, Haines Index (HI), Canadian Forest Fire Weather Index (FWI), Keetch-Byram Drought Index (KBDI), F Index

## I. GİRİŞ

Orman yangınları ağaçlara ve bitki örtüsüne parazitlerden, böceklerden, sert hava şartları ve benzeri doğal felaketlerden daha çok zarar vermektedir [1]. Yıllardır büyük orman yangınları ile ilgili yapılan çalışmalar bu yangınların nedenlerinin atmosferik kararsızlık ve kuruluk ile ilgili olduğunu göstermektedir [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. İklim değişikliği ile birlikte sıcaklığın yükselmesi, kuraklığın artması, sürekli olan sıcaklık dalgaları gibi meteorolojik ve iklimsel koşullar orman yangınlarını ve yangınlara maruz kalan bölgelerin sayısını arttırmaktadır [1, 9]. Akdeniz Havzası'nda, orman yangınları özellikle yaz aylarında, kurak sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde sıklıkla görülmektedir. Bu durum gün geçtikçe önemi artarak büyüyen ekolojik bir problemdir [1].

Kurak ve sıcak iklim koşulları orman yangınlarını arttırmakla birlikte, yangının başlaması için iklim koşulları yeterli değildir. Yangın ortamdaki oksijen, sıcaklık ve yakıtın (genellikle ölü yanıcı madde olarak tanımlanan yüzeydeki otsu veya ince yanıcı materyaller) belli bir oranda bir araya gelerek yanma reaksiyonu oluşturması ile başlamaktadır ve bu üç unsur yangın üçgeni olarak adlandırılır. Bir orman yangının başlaması için gerekli olan faktörler; yüksek sıcaklık, düşük bağıl nem, şiddetli rüzgarlar ve kısa süreli şiddetli yağış ile oluşan ani fırtınalar gibi giderek sıklaşmaya başlayan sert hava koşullarıdır [1, 10]. Bu durum, orman yangınlarının önceden daha iyi öngörülebilmesi için, yangın-iklim ilişkisini daha iyi anlama ve daha güvenilir modellerin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya koymuştur [11]. Kuraklık ile orman yangınları arasındaki ilişki birçok ülke tarafından farklı indisler kullanılarak değerlendirilmektedir. ABD, Kanada ve Rusya gibi ülkelerde orman yangınları ile kurak koşullar arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılan çok sayıda indis bulunmaktadır. Keetch-Byram Kuraklık İndisi (KBDI), Kanada Orman Yangın İndisi (Canadian Forest Fire Weather Index) (FWI), Haines İndisi (Haines Forest Fire Weather Index) ve Nesterov Tutuşma İndisi bunlardan bazılarıdır [12, 13, 14, 15].

Orman yangınları ile iklim ilişkisini ele alan farklı bölgelerde yapılmış birçok çalışma, iklim değişikliği ve artan sıcaklıkların etkisine dikkat çekmektedir [6, 4, 17, 16]. Akdeniz ikliminin görüldüğü Avrupa Birliğinde bulunan 5 güney Avrupa ülkesi; Portekiz, İspanya, Güney Fransa, İtalya ve Yunanistan (EUMED, the southern countries of the European Union) çıkan bütün orman yangınları ile Amerika, Pasifik kıyı bölgelerinde Kaliforniya ve Oregon, (PWUSA, the Pacific western coast of the USA) çıkan ulusal orman yangınları sayısının sıcaklığın yüksek olduğu ve kurak olduğu yaz dönemlerinde bir artış gösterdiği kaydedilmiştir [18]. Kanada'da her yıl ortalama 2 milyon hektar ormanlık alan

büyük orman yangınları nedeniyle yok olmaktadır. Yangınlar sıcaklığın arttığı yaz sezonunda (Mayıs-Ağustos) gerçekleşmektedir [19, 20]. İklim değişikliğinin, son yıllarda Kanada'da çıkan orman yangınları üzerinde etkisi olduğu görülmüştür [21, 22]. İklim değişikliği ile birlikte orman yangınlarının sayısının artış gösterdiği bölgelerden birisi de Lübnan sedir ormanlarıdır. Araştırmalar çıkan büyük orman yangınlarının %43,46'sının iklim değişikliği nedeniyle çıktığını göstermektedir [23]. Yapılan araştırmalar gelecekte çok sıcak iklim koşulları altında, yangın sezonlarının uzayacağı ve orman yangınlarının artacağını göstermektedir [21, 24].

Köppen – Geiger iklim sınıflandırmasında, nemli orta enlem iklimleri (ılıman), 25° – 60° enlemleri aralığında bulunan bölgelerde görülmektedir. Bu bölgeler arasında Akdeniz Havzası da yer almaktadır. Orman yangınlarının sık gözlemlendiği Akdeniz Havzası, Köppen-Geiger iklim sınıflandırması Cs grubunda yer alan ve genel olarak kışları ılıman ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kurak iklim tipine sahiptir [25, 26, 27]. Akdeniz iklimi, Csa (Yazları çok sıcak ve kurak) ve Csb (Yazları sıcak ve kurak) olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Bu iklimlerin görüldüğü yerler; Fransa, İtalya, Yunanistan, Türkiye, Portekiz, İspanya, Kuzey Afrika (Fas, Tunus, Cezayir), Lübnan ve İsrail'dir. Ayrıca Akdeniz iklimi İran'ın kuzeyinde, Kaliforniya'da, Şili'de, Avustralya'da, Yeni Zelanda'da ve Güney Afrika'da da görülmektedir [1].

Akdeniz Havzası, kurak iklimler (B grubu) ve nemli karasal iklimlerin (D grubu) görüldüğü bölgeleri de kapsamaktadır [1, 27,28]. Kurak iklimler (B grubu) yıllık buharlaşmanın yıllık yağıştan daha fazla olduğu ve buna bağlı olarak sürekli olarak bir su yetersizliğinin görüldüğü iklimler olarak ifade edilir. Çöl (BW) ve Step (BS) iklimi olmak üzere iki alt gruba ayrılır [26]. Step iklimi ağırlıklı olarak İber ve Anadolu yarımadaalarında, Hazar Denizi'nin çevresinde ve Kuzey Afrika'da Sahel bölgesinde (Sahra'nın güney sınırında) görülmektedir. Akdeniz Havzası'nda, çöl ikliminin (BW) baskın olarak görüldüğü yerler ise Kuzey Afrika, Orta Doğu, Arap yarımadaalarının bulunduğu bölgelerdir. Nemli soğuk orta enlem iklimleri (D grubu), Akdeniz Havzası'nın kuzeyinde, Kafkasya'da, Balkanlar, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde görülmekte ve genel olarak nemli ve kışları şiddetli geçen iklimler olarak adlandırılmaktadır [1, 26, 27].

Akdeniz ekosistemleri, orman yangınlarının baskın olarak görüldüğü ekosistemlerdir. 1950-2000 yılları arasında Doğu İber Yarımadası'nda gerçekleşen orman yangınları ile iklim arasındaki ilişkiyi ele alan bir çalışmada, 350 meteoroloji istasyonundan alınan sıcaklık ve yağış verileri ile çıkan yangın sayısı incelenmiştir. Bu yıllar arasında bu

ekosistemlerde gerçekleşen orman yangınlarının sayısında ciddi bir artış gözlenmiştir ve bu artışın iklimsel faktörlerle ilişkili olduğu kaydedilmiştir [17]. Yazların kurak ve sıcak geçmesi bu artışta önemli bir etkidir. Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerde iklim değişikliği ile birlikte sıcaklığın arttığı ve bu sıcaklık artışı ile birlikte orman yangınlarının sayısında bir artış olduğu kaydedilmiştir [29, 30, 31]. Bu bilgilere dayanarak sıcaklığın, orman yangınlarının artmasında önemli bir faktör olduğu söylenebilir. Yangınların çıkmasında ve yayılmasında etkili olan diğer faktörler ise yakıt ve nem oranıdır [19].

Topraktaki yüksek nem içeriği bitkilerin stabil bir şekilde büyümesini sağlamak ve topraktaki nemin azaldığı alt katmanlara kadar orman yangınlarının genişlemesini engelleyerek bariyer görevi görmektedir [32]. Bu nedenle toprağın ve yakıtın nem içeriğinin, durdurulamayan büyük orman yangınları üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır [33, 34, 35, 36]. Akdeniz Havzası'nda yer alan İspanya' da 1970-2007 yılları arasında yaz aylarında gerçekleşen ve önlenemeyen orman yangınlarının iklim değişikliği ile orman yangınlarının sayısı ve yangının çıktığı bölgelerdeki iklim koşullarına bağlı olarak ilişkili olduğu görülmüştür. Bölgesel İklim Modelleri (RCMs) kullanılarak SRES A1B iklim değişikliği senaryosu (enerji kaynaklarının dengeli kullanımı) altında, iklim değişikliğinin sıcaklığı arttırdığı ve özellikle yaz aylarında havadaki bağıl nem oranını düşürdüğü gözlenmiştir [37]. Bu durum, artan sıcaklıkla birlikte yakıtta azalan nem içeriğinin yakıtın tutuşabilirliğini arttırdığı ve buna bağlı olarak yangının çıkmasına neden olduğunu göstermektedir [37, 38, 39].

Orman yangınları Akdeniz ekosistemlerinin önemli bir parçasıdır. Batı Akdeniz Bölgesi'nde (Valensiya Bölgesi) son yüzyıl boyunca gerçekleşen orman yangınları ve çıkış nedenlerini ele alan bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, orman yangınlarının şehirleşmeyle birlikte kırsal nüfusun azalmasına bağlı olarak yakıt miktarının ve sürekliliğinin artması (çiftlikler terk edildikten sonra bitki örtüsü ve yakıt artışı) nedeniyle mi yoksa iklim değişikliğinden dolayı mı çıktığını anlamak için kırsal nüfus ve iklimsel verilere bakılmıştır. 1970 yılından önce iklim koşullarının orman yangınlarında düşük bir etkiye sahip olduğu, 1970 yılından sonra çıkan orman yangınlarında ise iklimin önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Son yıllarda çıkan orman yangınlarında kurak hava koşullarının yangınların çıkışında önemli bir faktör olduğu ve bu durumun iklim değişikliği nedeniyle artan sıcaklıklar sonucunda daha da sık görülebileceği ifade edilmiştir [36].

Akdeniz iklim kuşağı içinde yer alan Türkiye'de, özellikle Batı Toroslar, yüzlerce orman yangınının meydana

geldiği bir bölgedir. Muğla yöresi orman yangınları açısından Türkiye'nin en hassas olduğu alanlardan biridir [40, 41]. Bu yangınların bir kısmı iklim değişikliğiyle birlikte artan kuraklık nedeniyle doğal yollardan meydana gelirken, diğer kısmı ise ihmal sonucu ya da kasıtlı çıkarılan ve büyük ölçüde iklim elemanlarının (sıcaklık, yağış, rüzgâr, nem vb.) etkisinde büyüklüğü değişen yangınlardır. Bu nedenle bölgenin iklim faktörüne bağlı doğal yangın risk haritasını belirlemek için yapılan çalışmada Keetch-Byram Kuraklık İndisi kullanılarak orman yangınlarının yaz aylarında artan kuraklık ile ilişkisine bakıldığında, Temmuz'dan Kasım'a kadar olan dönemde, kuraklık arttığında meteorolojik koşullara bağlı olarak çıkan değerler de artmaktadır [40]. Akdeniz ikliminin hâkim olduğu bölgelerde, meteorolojik kökenli yangın riskinin özellikle Ağustos ve Eylül aylarında yükseldiği ifade edilmektedir [40, 42].

Orman yangınları bitki örtüsüne zarar vermekle kalmayıp karasal ekosistemleri ve karbon döngüsünü de küresel boyutta etkilemektedir [43]. Gelecekte Akdeniz Bölgesi'nin büyük bir kısmında ve Kuzeydoğu Avrupa Bölgesi'nde gerçekleşmesi olası orman yangınları, havada bulunan CO<sub>2</sub> miktarını arttıracığı için hava kirliliğinin temel kaynağını oluşturacağı öngörülmektedir. Bu durumu iklim değişikliği ile birlikte artan hava sıcaklığı olumsuz yönde etkileyeceği ifade edilmektedir [44]. İklim değişikliği nedeniyle artan sıcaklık ve kuraklık, Akdeniz iklim kuşağında bulunan ve subtropikal Akdeniz ikliminin hâkim olduğu bölgelerde yaz aylarında, kurak sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde yangın riskini arttıracığı belirtilmiştir [1].

Önlenemeyen büyük orman yangınlarının çıkış nedenleri ele alındığında, yangınların bir kısmı iklimsel koşullardan dolayı başlarken diğer kısmının insan kaynaklı olarak başladığı gözlenmiştir [45, 46]. Bu durumu ele alan bir araştırmaya göre, İtalya'nın Sardinya Adası ve Fransa'nın Korsika Adası'nda engellenemeyen orman yangınlarının çıkış nedenleri ve yangınların büyüklüklerinin çoğunlukla arazi kullanımı ve kasten yangın çıkarma ile ilgili olduğu sonucuna varılmıştır. Orman yangınlarının iklim ile ilişkisi ise Fire Weather Index (FWI) kullanılarak bakılmıştır. Orman yangını sezonu (Mayıs-Ekim) boyunca FWI değerlerinin 30'dan 60'a yükseldiği tespit edilmiştir. FWI>40 olduğu günler ile orman yangınlarının çıktığı günler arasında bir ilişki olduğu görülmüştür [46].

## II. VERİ VE METODOLOJİ

### 2.1. Haines İndisi (HI)

Donald A. Haines 1988 yılında önlenemeyen büyük orman yangınlarının hava olayları ile ilişkisini bir indis ile

göstermiştir. Haines, bu indisi Düşük Atmosfer Şiddeti İndisi (Lower Atmospheric Severity Index) olarak adlandırmış, ancak zaman içerisinde bu indise Haines İndisi (HI) denmiştir. HI, dikey konvektif hava hareketleri yatay rüzgârlardan daha önemli olduğunda, potansiyel orman yangınlarını belirten önemli bir göstergedir [47]. HI ile havadaki nem oranı, çiy noktası sıcaklığı hesaplanabilmektedir. HI üç jeopotansiyel yükselti aralığında hesaplanmaktadır: alçak yükselti (950 – 850 hPa), orta yükselti (850-700 hPa) ve yüksek rakım (700-500hPa) [1, 48]. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak, orman yangınlarının nasıl gerçekleştiği ve yangının büyüklüğü konusunda bilgiler elde edilmektedir. HI, Kanada Orman Yangın Hava İndisi ve Keetch-Byram Kuraklık İndisi ile birlikte çok yaygın olarak kullanılan indislerden biridir [1,2, 3, 4, 5, 8]. Tatlı & Türkeş (2014) tarafından HI kullanılarak, Akdeniz Havzası ve Türkiye orman yangın risk değerlendirilmesinin yapılmıştır. Çalışma sonucunda HI'nin büyük orman yangınlarını gözlemlemek için kullanılabilir önemli bir indis olduğu ifade edilmiştir.

Bu indis ile ilgili hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmaktadır [1]:

-Doyma (çiylenme) sıcaklığı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$T_d = \left[ 237.3 \times \ln \frac{e}{6.1078} \right] / \left[ 17.27 - \ln \frac{e}{6.1078} \right] \quad (1)$$

Formülde yer alan  $e$  (gerçek buhar basıncı) ile ilgili veri olmadığı için bu değer bağıl nem (RH) ve sıcaklık (T) verileri kullanılarak önce doymuş buhar basıncı ( $e_s$ ) daha sonra gerçek buhar basıncı Clausius-Clapeyron eşitliği kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$e_s = e_0 \cdot \exp \left[ \frac{L}{R_v} \cdot \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2)$$

0 °C' de  $e_0$  (0.611 kPa) referans buhar basıncı ve  $T_0$  (273.15K) referans hava sıcaklığı formüldeki sabit değişkenlerdir. Denklemde L ( $2.5 \times 10^6$  J/kg) buharlaşma gizli ısı ve  $R_v$  ( $461 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) ise nemli havanın gaz sabitidir [26].

$$e = \frac{RH}{100} e_s \quad (3)$$

HI = A (kararlılık terimi) + B (nem terimi) formülü ile hesaplanır. Hesaplama kullanılan doyma noktası sıcaklığı ( $T_d$ ) ve sıcaklık (T) değerleri ise aşağıdaki tablolarda gösterildiği gibi hesaplanarak formüldeki yerine yazılır.

**Tablo 1.** Haines İndisi kararlılık (A) bileşen kategorisine göre hesaplama adımları

Yükseklik	Alçak $\Delta TA = T950 - T850$	Orta $\Delta TA = T850 - T700$	Yüksek $\Delta TA = T700 - T500$
Kararlılık (A) Bileşen Kategorisi	A = 1 ise $\Delta TA < 4^\circ\text{C}$	A = 1 ise $\Delta TA < 6^\circ\text{C}$	A = 1 ise $\Delta TA < 18^\circ\text{C}$
	A = 2 ise $4^\circ\text{C} \leq \Delta TA \leq 7^\circ\text{C}$	A = 2 ise $6^\circ\text{C} \leq \Delta TA \leq 10^\circ\text{C}$	A = 2 ise $18^\circ\text{C} \leq \Delta TA \leq 21^\circ\text{C}$
	A = 3 ise $\Delta TA > 7^\circ\text{C}$	A = 3 ise $\Delta TA > 10^\circ\text{C}$	A = 3 ise $\Delta TA > 7^\circ\text{C}$

**Tablo 2.** Haines İndisi nem (B) bileşen kategorisine göre hesaplama adımları

Yükseklik	Alçak $\Delta TB = T950 - Td950$	Orta $\Delta TB = T850 - Td850$	Yüksek $\Delta TB = T700 - Td700$
Nem (B) Bileşen Kategorisi	B = 1 ise $\Delta TB < 6^\circ\text{C}$	B = 1 ise $\Delta TB < 6^\circ\text{C}$	B = 1 ise $\Delta TB < 15^\circ\text{C}$
	B = 2 ise $6^\circ\text{C} \leq \Delta TB \leq 9^\circ\text{C}$	B = 2 ise $6^\circ\text{C} \leq \Delta TB \leq 12^\circ\text{C}$	B = 2 ise $15^\circ\text{C} \leq \Delta TB \leq 20^\circ\text{C}$
	B = 3 ise $\Delta TB > 9^\circ\text{C}$	B = 3 ise $\Delta TB > 12^\circ\text{C}$	B = 3 ise $\Delta TB > 20^\circ\text{C}$

HI değerleri 2 ile 6 arasında değişmektedir. HI büyük orman yangınlarının gerçekleşme olasılığı: 6 en yüksek, 5 ortalama, 4 düşük ve 4 ün altı ise çok düşük olasılık olarak belirtilmektedir (Tablo 3).

**Tablo 3.** HI aralık değerlerinin risk sınıfı olarak gösterilmesi

Risk Sınıfı	HI Aralığı
Yüksek	6
Orta	5
Düşük	4
Çok Düşük	2-3

Tatlı ve Türkeş (2014) tarafından yapılan bir araştırmada, Akdeniz Havzası'nda olası yangın riski HI kullanılarak değerlendirilmiş ve Köppen – Geiger İklim Sınıflandırmasından da yararlanılarak şu sonuçlara ulaşılmıştır: Türkiye'nin güney ve batı bölgeleri, Yunanistan, Arnavutluk, Makedonya, Güney Fransa, İtalya, Slovenya, Fas, Tunus astropikal iklim bölgeleridir ve yazları kurak geçer HI'ne göre bu bölgeler orta dereceli (HI, 5) risk alanlarıdır. Çöl iklimine sahip olan bölgeler yüksek risk alanlarıdır. HI bu bölgelerde 4, 5 ve 6 değerlerini göstermektedir. Yangın riskinin yüksek olduğu bu bölgeler, Sahra, Libya ve Ortadoğu ve Hazar Denizi Havzası'dır.



HI kullanılarak alçak (950 – 850 hPa), orta (850-700 hPa) ve yüksek (700-500hPa) olmak üzere üç farklı jeopotansiyel yükselti aralığında yangın riski Valensiya Bölgesi (Batı Akdeniz Bölgesi) için değerlendirilmiştir. 1980 – 2008 yılları arasındaki iklim verileri kullanılarak yapılan çalışmada, yüksek HI değerleri yaz mevsiminde (Haziran, Temmuz ve Ağustos) gözlenmektedir. HI değerleri, alçak yükselti (950 -850 hPa) için ortalama 4.1, orta yükselti (850-700 hPa) için 4.4 ve 5 arasında ve yüksek rakım(700-500hPa) için ise 2.8 ile 3.5 arasındadır. 29 yıllık bir periyodu ele alan bu çalışmada, yıllık ortalama HI değerlerinde ve yıllık ekstrem (5 ve 6) değerlerde bir artış olduğu gözlenmiştir. En yüksek HI değerleri orta yükselti için kaydedilmiş olsa da diğer yükselti değişkenlerinde de (alçak ve yüksek yükselti) ekstrem HI değerlerine rastlanmaktadır [8].

## 2.2. Kanada Orman Yangın Hava İndisi (FWI)

Kanada Orman Yangın Hava İndisi (FWI), orman yangınları ile ilgili yapılan araştırmalarda sıkça kullanılan orman yangını indislerinden biridir ve olası orman yangınlarını tahmin etmede başarılı bulunmaktadır [49, 50, 51, 52]. FWI ilk olarak 1970 yılında, Kanada Orman Servisi (The Canadian Forestry Service) tarafından daha öncesinde yapılan birtakım araştırmalar sonucu ortaya çıkarılmıştır. Bu indis kendinden önceki orman yangın riski indislerinin (Initial Spread Index (ISI) ve Build-Up Index (BUI)) birleşimi ile oluşturulmuştur [53]. FWI, orman tabanındaki farklı toprak katmanlarındaki nem değişimlerini dikkate almaktadır. İndis, yakıt nem değerleri ile güncel hava koşullarını birlikte değerlendirerek olası orman yangınlarını hesaplamaktadır [54].

FWI sistemi altı bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan ilk üç tanesi FFMC, DMC ve DC nem kodlarıdır:

Orman altı yüzeyini kaplayan ölü organik örtüden (dal, yaprak, kabuk vb. organik döküntü ve artıklar) oluşan ince katmanın nem içeriği kodu (Fine Fuel Moisture Code) (FFMC): Orman tabanında 0-1,2 cm derinlikte bir alanda bulunan (0,25 kg/m<sup>2</sup>) kuru otlar ve diğer yanıcı materyallerin nem oranını göstermektedir. FFMC hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılmaktadır:

**Tablo 4.** FFMC hesaplamasında kullanılan parametreler ve çıkış aralığı

Girdiler (Inputs)	Başlangıç Durumu (Initial Condition)	Çıkış Aralığı (Output Range)
Sıcaklık (T) (°C) Bağıl Nem (RH) (%) Rüzgâr Hızı (WS) (km/h) Yağış (mm)	Önceki FFMC	0 – 101

$$FFMC = \frac{59.5(250-m)}{147.2+m} \quad (4)$$

$$m = \frac{147.2(101-FFMC)}{59.5+FFMC} \quad (5)$$

m= nem içeriği (moisture content)

Kuru:

$$k_0 = 0.424 \left(1 - \left(\frac{RH}{100}\right)^{1.7}\right) + 0.0694\sqrt{WS} \left(1 - \left(\frac{RH}{100}\right)^8\right) \quad (6)$$

Islak:

$$k_0 = 0.424 \left(1 - \left(\frac{100-RH}{100}\right)^{1.7}\right) + 0.0694\sqrt{WS} \left(1 - \left(\frac{100-RH}{100}\right)^8\right) \quad (7)$$

k değeri  $\log\left(\frac{m}{gün}\right)$  hesabına göre değişebilir:

$$k = k_0(0.581e^{0.0365T}) \quad (8)$$

$$E_{kuru} = 0.942RH^{0.679} + 11e^{\frac{RH-100}{10}} + 0.18(21.1 - T)(1 - e^{-0.115RH}) \quad (9)$$

$$E_{islak} = 0.618RH^{0.753} + 11e^{\frac{RH-100}{10}} + 0.18(21.1 - T)(1 - e^{-0.115RH}) \quad (10)$$

$$m = E_{kuru} + (m_0 - E_{kuru}) \times 10^{-k_{kuru}} \quad (11)$$

$$m = E_{islak} + (E_{islak} - m_0) \times 10^{-k_{islak}} \quad (12)$$

Organik yüzey artık ve döküntülerinin altında, daha derinde bulunan ayrılmış organik maddenin nem içeriği kodu (Duff Moisture Code) (DMC): Orman tabanında 1,2 – 7 cm derinlikte bulunan (5 kg/m<sup>2</sup>) çürüyen (decomposing) organik materyallerin nem içeriğini göstermektedir. DCM hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılmaktadır:

**Tablo 5.** DMC hesaplamasında kullanılan parametreler ve çıkış aralığı

Girdiler (Inputs):	Başlangıç Durumu (Initial Condition)	Çıkış Aralığı (Output Range)
Sıcaklık (T) (°C) Bağıl Nem (RH) (%) Yağış (mm)	Önceki DMC	MAX = %300 EQ = %20

$$DMC = 244.72 - 43.43 \ln(m - 20) \quad (13)$$

Kuraklık kodu (Drought Code) (DC): Orman tabanında 7+ cm derinlikte bulunan (25kg/m<sup>2</sup>) organik nem içeriğini göstermektedir.

**Tablo 6.** DC hesaplamasında kullanılan parametreler ve çıkış aralığı

Girdiler (Inputs):	İlk Durum (Initial Condition):	Çıkış Aralığı (Output Range):
Sıcaklık (T) (°C) Yağış (mm)	Önceki DC	MAX= %400

$$D=400\ln(800/Q) \quad (14)$$

D= şimdiki DC (current DC)

Q= m equivalent

FFMC, DMC ve DC nem kodlarına rüzgâr hızı değerleri de eklenecek İlk Yayılma İndisi (Initial Spread Index) (ISI) ve Arttırma İndisi (Build-Up Index) (BUI) oluşturulmuştur FWI sisteminin diğer iki bileşeni olan bu iki indisin bileşimi ile son bileşen olan FWI (Şekil-1) elde edilmiştir [53, 54]. FWI hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılmaktadır [54]:

ISI:

**Girdiler:** WS(km/h), FFM

$$\text{Rüzgar (W) denklemleri: } f(W)=e^{0.0503W} \quad (15)$$

$$\text{FFM denklemleri: } f(F) = e^{-0.1386m} \left(1 + \frac{m^{5.31}}{4.93 \times 10^7}\right) \quad (16)$$

$$ISI=0.208f(W)f(F) \quad (17)$$

BUI:

**Girdiler:** DMC, DC

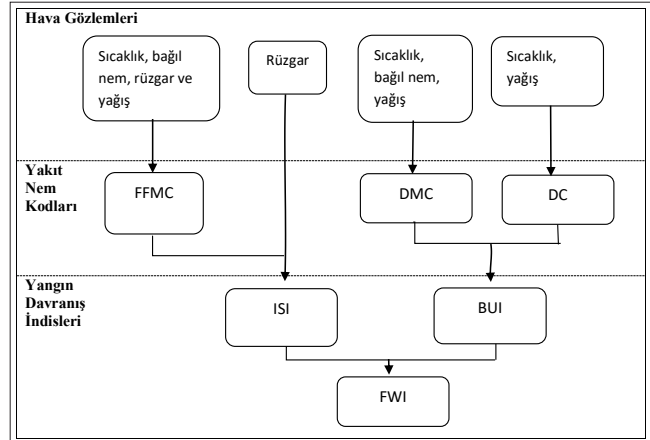
$$BUI = \frac{0.8(DMC)(DC)}{(DMC+0.4DC)} \quad (18)$$

$$BUI < 80 \quad f(D)=0.626BUI^{0.809}+2 \quad (19)$$

$$BUI > 80 \quad f(D) = \frac{1000}{25+108,64e^{-0.023BUI}} \quad (20)$$

$$\ln(FWI) = 2.72 \quad (21)$$

Eğer  $(0,1 \text{ ISI } f(D)) < 1$  olursa  $FWI = (0,1 \text{ ISI } f(D))$  şeklinde hesaplanır.

**Şekil 1.** FWI ve alt bileşenleri

FWI, yangının çıkma olasılığı çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek ve ekstrem olmak üzere altı kategoriye ayrılır ve değer aralığı Tablo-7'deki gibidir [53]:

**Tablo 7.** FWI aralık değerlerinin risk sınıfı olarak gösterilmesi

Risk Sınıfı	FWI Aralığı
Ekstrem	30+
Çok Yüksek	17 – 29
Yüksek	9 – 16
Orta	5 – 8
Düşük	2 – 4
Çok Düşük	0 – 1

Akdeniz ikliminin görüldüğü İtalya ve Yunanistan'da yangın riski, FWI kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada yangın riskini öngörmek amacıyla, İtalya için 1984 – 1995 yılları arasında Nisan – Kasım aylarını kapsayan iklim ve yangın verileri kullanılırken, Yunanistan için 1983 – 1990 yılları arasındaki meteorolojik verilerden ve günlük yangın verilerinden yararlanılmıştır. Çalışmada, FWI değeri 15 ya da daha yüksek değerler için yangın riski yüksek olarak ifade edilirken, FWI değeri 45 ya da daha yüksek değerler için ekstrem olarak ifade edilmiştir. Araştırma sonucunda bu iki FWI değerlerinin (15, 45) eşik değerleri olarak seçilmesinin, hesaplanan FWI değerleri ile gözlemlenen yangınlar arasındaki ilişkiyi göstermek için uygun olduğu ifade edilmiş ve bu bilginin diğer analizlerle birlikte kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Araştırma, FWI'nin yangın riskini öngörmedeki başarısı orman altı yüzeyini kaplayan ölü organik örtüden (dal, yaprak, kabuk vb. organik döküntü ve artıklar) oluşan ince katmanın nem içeriğinden kaynaklıdır. İnce katmanın nem içeriğinin tutuşturma (ignition) potansiyelinin bir göstergesi olması bunun nedeni olarak gösterilmektedir. Araştırma sonucunda, Akdeniz ikliminin görüldüğü

İtalya ve Yunanistan'da yangın riski öngörmede FWI'nin yararlı olduğu ifade edilmiştir [55].

Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan Yunanistan'ın (Girit) birbirini takip eden iki yangın sezonu dikkate alınarak FWI bu bölge için yangın riskini değerlendirmedeki potansiyeline bakılmıştır. Çalışmada, FWI yangın risk sınıflarını ifade etmek amacıyla kullanılan aralık değerlerini Akdeniz iklimine uygun hale getirmek amacıyla lojistik regresyon uygulanmıştır. Değer aralıkları 0–38 Düşük, 39–48 Orta, 49–59 Yüksek, > 60 Ekstrem şeklinde yeniden düzenlenmiştir. Araştırmada yeni sınıflandırmanın gerekliliği, mevcut Kanada yangın risk sınıflarının Girit'teki kuru ve aşırı yangına eğilimli Doğu Akdeniz iklimi için uygun olmamasıyla açıklanmıştır. Değişiklikten sonra, FWI değerlerinin yangın riskini öngörmede daha başarılı olduğu ve doğruluğunun orman yangınları verileri ile kıyaslanarak kanıtlandığı ifade edilmiştir. Araştırma sonucunda yeni FWI yangın risk sınıflarının, Doğu (kuru) Akdeniz Bölgesi'nde yangın riski değerlendirmesi için bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte, gelecekteki araştırmalar için FWI'nin Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerde uygulanabilirliği konusunda daha net olmak için geniş ölçekte ve daha uzun bir süre boyunca benzer çalışmalar yapılması gerektiği belirtilmiştir [50].

### 2.3. Keetch – Byram Kuraklık İndisi

Keetch-Byram Kuraklık İndisi (KBDI), 1968 yılında John J. Keetch ve George M. Byram tarafından potansiyel orman yangınlarını hesaplamak amacıyla geliştirilmiştir. İndis, toprak nemi ile iklim koşullarına bağlı olası kuraklığı tahmin etmek için kullanılan bir kuraklık indisidir [41]. KBDI, toprak nem içeriği, maksimum hava sıcaklığı, potansiyel evapotranspirasyon ve yağış değerlerini kullanarak iklim faktörüne bağlı doğal yangın risk haritasını belirlemek için kullanılmaktadır [40, 41, 56]. KBDI aşağıdaki varsayımlara dayanılarak kurulmuştur [41, 56]:

Bir ormanlık alandaki nem kaybı oranı o bölgedeki bitki örtüsünün yoğunluğuna bağlıdır.

Vejetasyonun terleme ile kaybettiği nem yıllık yağış miktarını etkiler. Bu duruma bağlı olarak vejetasyondaki azalma nem oranının azalmasına neden olduğundan yıllık yağışın da azalmasına neden olur.

Buharlaşma-terleme (evapotranspirasyon) miktarı artıkça topraktaki nem azalır. Bu nedenle toprak nem oranı buharlaşma-terleme ilişkilerine bağlıdır.

Toprak nem miktarının zamanla azalması, en küçük nem düzeyi olarak kullanılan bitkinin kuruma noktası nemine denk gelir. Benzer koşullar altında belirli bir zamanda

toprağın kuruma noktası nemi toprak tabakasındaki su miktarı ile doğru orantılıdır.

Kuraklığın oluştuğu toprak tabakasının derinliği 20 santimetrelilik tarla kapasitesine denk gelir. Bu değer 20 santimetre olması zorunlu olmamakla birlikte orman yangınlarının kontrolü açısından bu değer uygundur. Bunun nedeni ise birçok bölgede bitki örtüsünün yaz boyunca terleme ile çok su kaybetmesi olasılığındadır.

Yangın çıkma olasılığı hesaplanırken sıcaklık (T) ve yağış (P) değerleri kullanılarak aşağıdaki denklemler kullanılır:

1. Durum: Eğer  $P=0$  mm ve  $T_{max} \leq 6.78$  °C  $I(t)=I(t-1)$
2. Durum: Eğer  $P=0$  mm ve  $T_{max} > 6.78$  °C  $I(t)=I(t-1)+kf(t)$
3. Durum: Eğer  $P > 0$  mm ve  $\sum P \leq 5.1$  mm  $I(t)=I(t-1)+kf(t)$
4. Durum: Eğer  $P > 0$  mm ve  $\sum P > 5.1$  mm

$$kf(t) = \frac{[800 - I(t-1)] \cdot [(0.968 \cdot \exp(0.0875 \cdot T_{max}) + 1.5552) - 8.3]}{1000} \quad (22)$$

Denklemden yer alan P, kuraklık etmenidir ve yağış miktarı mm olarak hesaplanır.  $T_{max}$ , günlük maksimum hava sıcaklık değerini ifade eder ve °C olarak hesaplanır.

**Tablo 8.** Keetch - Byram İndisine göre yangın olasılıkları [41]

Sınıf	İndis Değeri	Yangın Olasılığı
0	0 – 99	Yok
1	100 – 199	Düşük
2	200 – 299	Orta düzeyde
3	300 – 399	Yüksek düzeyde
4	400 – 499	Oldukça yüksek düzeyde
5	500 – 599	Oldukça yüksek düzeyde
6	600 – 699	Kesin yangın çıkar
7	700 – 799	Kesin yangın çıkar

KBDI ile iklim faktörlerine bağlı olarak çıkabilecek orman yangını ihtimali hesaplanabilmektedir. Yangın çıkma olasılığının büyüklüğüne Tablo 8 'de yer alan değerlere göre karar verilmektedir. Orman yangınları açısından Türkiye'nin en hassas bölgelerinden biri olan Muğla ili için KBDI kullanılarak yapılan hesaplamalar, indisin orman yangınlarını yakalama yüzdesinin yüksek sonuçlar verdiğini göstermiştir. KBDI değerlerine göre yılın ilk dört ayı 100'ün altındadır. Bu nedenle yılın ilk dört ayı yangın riskinin görülmediği dönem olarak ifade edilmiştir. Muğla Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) sınırları içerisinde 2008 yılında çıkan orman yangınlarının değerlendirildiği araştırma da KBDI'nin

orman yangınlarını, yangının çıkışı, yayılması ve büyümesine uygun hava ve iklim koşullarını öngörmeye başarılı olduğu ifade edilmiştir [41].

Batı Toroslar, Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye'nin orman yangınları açısından çok etkilenen bölgelerinden biridir. Bu bölgede doğal yangın riskini öngörmek amacıyla KBDI kullanıldığı bir araştırma sonucuna göre, Temmuz – Kasım ayları arasında kuraklık artmakta ve meteorolojik koşullara bağlı olarak yangın risk değerleri de artmaktadır. Yangın riski Batı Toroslar' da özellikle Ağustos ve Eylül aylarında yükselmektedir. Araştırmada Eylül ayında yangın riski artışının sıcaklıktan ziyade yağış ile ilgili olduğu çünkü KBDI değerinin azalmasının (formüle göre) ancak yağış artışı ile mümkün olacağı ifade edilmiştir. Eylül ayında KBDI değerlerinin 450 (oldukça yüksek düzey) 'den 753 (ekstrem) 'e kadar çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca KBDI kullanılarak elde edilen sonuçlar ile bu bölgede 2011 yılında meydana gelmiş olan yangın sayıları aylık düzeyde karşılaştırılarak KBDI doğruluğu test edilmiştir. 280 hektarlık orman bölgesinin 210 hektarı KBDI değerlerine göre yangın riskinin çok yüksek olduğu Temmuz – Kasım ayları arasında çıkan orman yangınları nedeniyle kaybedilmiştir. Çalışma sonucunda Akdeniz iklim kuşağında yangın riskini belirlemede KBDI'nin güvenilir olduğu ifade edilmiştir [40].

#### 2.4. F İndisi (Simple Fire Weather Index – F Index)

F İndisi, Sharples vd. (2009a) tarafından yangın tehlikesi sınıflandırması için oluşturulmuş basit bir indistir. İndis, yakıt nemi (sıcaklık ve bağıl nem kullanılarak hesaplanır) ve rüzgar hızını birleşiminden yararlanarak olası orman yangını riskini aşağıdaki formülü kullanarak hesaplamaktadır:

$$F = \frac{\max(U_0, U)}{FMI} \quad (23)$$

U, km / s cinsinden rüzgar hızını ifade etmektedir.  $U_0$ , rüzgar hızı sıfır olsa bile, yangın tehlike derecesinin sıfırdan büyük olmasını sağlamak için kullanılan eşik rüzgar hızı değeridir. Yakıt Nem İndisi (Fuel Moisture Index) (FMI), Sharples vd.(2009b) tarafından oluşturulmuş ölçsüz (dimensionless) yakıt nem indisidir. FMI mevcut diğer yakıt nem modelleri ile karşılaştırılmış ve FMI'nin karmaşık modeller tarafından üretilene eşdeğer bir yakıt nem değerini sağladığı gösterilmiştir. FMI aşağıdaki formül kullanarak hesaplamaktadır [58, 59]:

$$FMI=10-0.25(T-H) \quad (24)$$

FMI yakıt nem indisini formülünde (24), T değeri kuru termometre sıcaklığını (°C) ve H değeri ise bağıl nemi (%)

ifade etmektedir [57]. F indisi, yangının çıkma olasılığını düşük, orta, yüksek, çok yüksek ve ekstrem olmak üzere beş kategoriye ayırmaktadır ve değer aralığı Orman Yangın Tehlike İndisi (FFDI) indisi yangın riski değer aralığı temel alınarak hazırlanmış ve Tablo-9'daki gibidir [57]:

**Tablo 9.** F İndisine göre yangın risk sınıflandırması

Yangın Riski	F İndis Değeri
Düşük	0.0 – 0.7
Orta	0.7-1.5
Yüksek	1.5 – 2.7
Çok Yüksek	2.7 – 6.1
Ekstrem	> 6.1

F İndisi, rüzgar hızı, bağıl nem ve kuru termometre sıcaklığı değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. İndis, orman yangını risk haritalandırmasında iklim faktörlerini değerlendirmek için kullanılabilir yeni ve etkili bir yangın hava indisidir [58]. Türkiye'de iklim değişikliği nedeniyle uzun süreli orman yangını riski, bugün (1990 – 2010) ve gelecek (2061 – 2080) için F İndisi (Basit Yangın Hava İndisi) kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, F İndisi değerleri ile çıkan yangın sayıları arasında güçlü bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Olası yangın riski RCP 4.5 senaryosuna göre değerlendirilmiş ve Türkiye genelinde yangın riskinin %21,1 oranında artacağı ifade edilmiştir. Araştırmada ayrıca, yangın riski oranı arttığında, özellikle Türkiye'nin Akdeniz kıyı kesimi ve Doğu Karadeniz Bölgesi gibi sıcak noktalarında bitki örtüsü değişimi beklenmekte olduğu belirtilmiştir. [60]. 2018 yılında farklı orman yangın indislerinin Akdeniz Bölgesi'nde yangın riskini tahmin etmede başarısı istatistik analiz yapılarak değerlendirilmiştir. F İndisinin yer aldığı çalışmada, indisin Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleşebilecek yangınları tahmin etmedeki başarısı Spearman korelasyon analizine göre ortalama bir değer (skor <3) göstermiştir [61].

#### 2.5 McArthur Mark 5 Orman Yangın Tehlike İndisi (McArthur Mark 5 Forest Fire Danger Index) (FFDI)

McArthur Mark 5 (Mk5) Orman ve Mark 4 (Mk4) Otlak Yangın Tehlike İndisi ( McArthur Mark 5 (Mk5) Forest and Mark4 (Mk4) Grassland Fire Danger Index), Avustralya'da iyi bilinen ve yaygın olarak kullanılan yangın indisi olup, çayır ve okaliptüs ormanları temel alınarak karakterize edilmiştir. McArthur, tipik yakıtlarla yapılan 800 test yangınlarından sonra ölçülen yangın davranış verilerine dayanarak indisi tasarlamıştır. İndis, Avustralya bitki örtüsünün yangın yayılma yükünü tahmin etmek için geliştirilmiş olmasına rağmen birçok bölgede kullanılmıştır [61,62].



Avustralya'da yaygın olarak kullanılmakta olan McArthur Mark 5 orman yangın ölçer, Orman Yangın Tehlike İndisi (Forest Fire Danger Index) (FFDI) olarak adlandırılmaktadır [57] FFDI'nin formülasyonu ilk olarak 1960 yılında McArthur tarafından bulunan (Mark 3) ve daha sonra Noble ve ark. tarafından 1980 yılında son hali olan FFDI (Mark 5) geliştirilmiştir. İndisin hesaplamaları aşağıdaki şekilde yapılmaktadır [57, 62, 63]:

$$FFDI = 2 \exp(-0.45 + 0.987 \ln(D) - 0.0345 H + 0.0338 T + 0.0234V) \quad (25)$$

FFDI formülünde (25), T değeri hava sıcaklığını (Bazı kaynaklarda kuru hazne hava sıcaklığı ya da maksimum hava sıcaklığı olarak da ifade edilmektedir.) (°C). H değeri bağıl nemi (%) V değeri rüzgar hızını (kmh<sup>-1</sup>) ve D değeri kuraklık faktörünü göstermektedir ve KBDI [56] kullanılarak topraktaki nem açığını aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$D = 0.191 \cdot (I + 104) \cdot (N + 1)^{1.5} / (3.52 \cdot (N + 1)^{1.5} + P - 1) \quad (26)$$

Kuraklık faktörünü (D) gösteren denklemde (26), I değeri KBDI'ni (mm), N değeri son yağıştan bu yana geçen gün sayısı ve P değeri ise yağış miktarını (mm) göstermektedir. FFDI, yangın çıkma olasılığını düşük-orta, yüksek, çok yüksek, şiddetli, ekstrem, felaket (kırmızı kod) olmak üzere altı kategoriye ayırmaktadır ve değer aralığı Tablo-10'daki gibidir [63]:

**Tablo 10.** FFDI İndisine göre yangın risk sınıflandırması

Yangın Riski	FFDI İndis Değeri
Düşük – Orta	<11
Yüksek	12 – 24
Çok Yüksek	25 – 49
Şiddetli	50 – 74
Ekstrem	75 – 99
Felaket (Kırmızı kod)	100 – 150

FFDI Akdeniz ekosisteminde de kullanılmakta ve olası yangınları öngörmeye başarılı olduğu ifade edilmektedir. [64] 2017 yılında yapılan bir araştırmada, İspanya'nın Murcia bölgesi için FFDI'nin de içinde bulunduğu farklı yangın indisleri kullanılarak olası yangın riski hesaplanmıştır. Hesaplama 2000 – 2007 yılları arasındaki yangın ve iklim verileri kullanılmış ve bu veriler 48 meteoroloji istasyonundan alınmıştır. Araştırmada kullanılan verilerin periyoduna, mevcut yangın verilerinin ve yangın söndürme organizasyonunun yüksek homojenliğine göre karar verildiği ifade

edilmiştir. Bu indislerin yangın riskini öngörmedeki başarıları Spearman korelasyon analizi kullanılarak gösterilmiştir. Araştırma sonunda FFDI, 3'ün altında bir değer ile orta dereceli olarak sınıflandırılmış ve bu bölge için başarılı sonuçlar vermediği ifade edilmiştir [63].

## 2.6. Literatürde Yer Alan Diğer Yangın İndisleri

Entegre Yangın İndisi (IFI) (Integrated Fire Index), Akdeniz Bölgesi'nin iklim ve vejetasyon özellikleri dikkate alınarak geliştirilmiş ve kalibre edilmiş bir yangın risk sınıflandırması indisidir. IFI, hava ve yakıt girdilerine dayalı deneysel bir yangın risk indeksi olmakla beraber yangın sezonunda günlük yangın tehlikesi tahmini için Bölgesel Sivil Koruma Servisi tarafından Sardinya'da kullanılmıştır [65]. 2018 yılında yapılan bir çalışmada indisin Akdeniz Bölgesi'nde olası yangınları tahmin etmede başarılı olduğu ifade edilmiştir [61].

Fosberg Yangın Hava İndisi (FFWI), iklim verilerinden, sıcaklık, nispi nem ve rüzgar hızından, yararlanarak olası yangın riskini tahmin eden basit bir indistir. FFWI sonradan yakıt verisinin eklenmesi, indisin olası yangın riskini tahmin etmede başarısını arttırmıştır. Bu yakıt verisi, yaygın olarak kullanılan KBDI'nin bir fonksiyonu olarak hesaplanarak eklenmektedir. Fosberg Yangın Hava İndisinin orijinali ile yakıt verisi eklenerek hesaplanan versiyonu, Florida'da 20 yıllık bir dönemi değerlendirmek üzere karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda indisin yakıt verisinin eklendiği versiyonun daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [57, 66].

Nesterov İndisi (NI), 1949 yılında Nesterov tarafından geliştirilen gözlemsel kuraklık indisidir. Rusya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. İndis tarihsel verilere dayanarak yangın ve hava arasındaki ilişkiyi yansıtan gözlemsel bir fonksiyon olarak türetilmiştir. NI snotik gündüz sıcaklık, bağıl nem ve yağış verilerinden faydalanarak hesaplama yapmaktadır. NI az miktarda yağıştan sonra hızla sıfıra düşmesi nedeniyle tutuşma potansiyelini öngörmeye başarılı bir indistir [14, 67, 68].

Angström İndisi (AI) yangın riskini değerlendirmek amacıyla İsveç için geliştirilmiş basit bir kuraklık indisidir ve İskandinavya'nın her yerinde kullanılmıştır. İndis, tüm dünyada da yangın risk değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Hesaplamalar sadece bağıl nem ve hava sıcaklığı verilerinden yararlanılarak yapılmaktadır. İspanya'nın Murcia bölgesinde yarı kurak iklimler için en uygun yangın hava indisini belirlemek amacıyla dört farklı yangın hava indeksi, FFDI, AI, FWI ve FMI karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda Angström İndisi'nin kıyı bölgelerde daha yüksek sıcaklıklar, düşük yağış miktarı ve daha geniş çeşitlilikte

yangını riskini öngörmeye iyi sonuçlar verdiği ancak yarı kurak iklimler için en uygun indisin FWI olduğu belirtilmiştir. [63, 67, 69]. 1968 – 2010 yılları arasında İspanya’da yangın rejimindeki değişimlerin ele alındığı bir çalışmada AI sadece bağıl nem ve sıcaklık değerlerini kullandığı için vejetasyonun olmadığı dönemlerdeki (Aralık – Nisan) hesaplamalarda yangın riski değerlendirmesinde kullanılmıştır. Çalışmada bu dönemlerde olası yangınları öngörmeye AI ‘nin çok uygun olduğu ifade edilmiştir [70].

### III. ANTALYA, ÇANAKKALE VE MUĞLA ORMAN BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ’NE BAĞLI ORMAN ARAZİLERİNDE 2008 VE 2009 YILLARINDA ÇIKAN YANGINLARIN KANADA ORMAN YANGIN HAVA İNDİSİ (FWI) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Antalya, Çanakkale ve Muğla illeri orman yangınları açısından Türkiye’nin hassas alanları arasında yer almaktadır [40, 41, 71]. Bu illerin 2008 ve 2009 yılı iklim verileri (sıcaklık (°C), bağıl nem (%), rüzgâr hızı (km/h), yağış (mm)) kullanılarak FWI ile yangın riski hesaplanmıştır. Hesaplamalar R Studio programında cffrds paketi kullanılarak yapılmıştır [72]. Paket içinde yer alan Kanada Orman Yangın Tehlike Değerlendirme Sistemi için İklim Rehberi’nde (Weather Guide for the Canadian Forest Fire Danger Rating System) Avrupa’da bulunan ülkelerin, Türkiye de dahil edilerek Kanada standart değerlerini kullanabileceği ifade edilmiştir [73]. Hesaplanan değerlerin risk sınıflandırması çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek ve ekstrem olmak üzere altı kategoriye göre hazırlanmıştır. Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS)’nin kullandığı FWI risk sınıflandırması ve Van Wagner’in (1987) araştırmasında verilen risk eşik değerleri baz alınmıştır. Aylara göre frekansların dağılımını gösteren yangın risk dağılımı aşağıdaki gibidir.

#### 3.1. Muğla Orman Arazisi için 2008 ve 2009 Yıllarında Çıkan Yangınların FWI ile Değerlendirilmesi

2008 yılında en fazla orman yangını (348 orman yangını) Muğla orman arazisinde çıkmış ve bu yangınların büyük bir kısmı Temmuz ile Ağustos aylarında görülmüştür. 2008 yılı verilerine uygulanan KBDİ analiz sonuçlarına göre yaz ayları (Haziran, Temmuz, Ağustos) yangın risk sınıflandırmasında kesin yangın olur (600 – 800) sınıfında yer almaktadır [41]. Aynı yılın iklim verileri kullanılarak FWI ile yangın riski hesaplanmıştır. FWI değerlerinin aylara göre frekans dağılım tablolarına (Tablo11 ve Tablo12) bakıldığında indis değerlerinin yüksek olduğu aylar KBDİ değerlerinin yangın riskini yüksek olarak gösterdiği aylar ile örtüşmektedir. KBDİ değerlerine göre yılın ilk dört ayı yangın riskinin olmadığı (100 altında değerler) aylar olarak ifade

edilmiştir [41]. FWI değerlerinin aylara göre frekans dağılım tablolarına (Tablo11 ve Tablo12) bakıldığında yılın ilk üç ayı yangın riski düşük ve çok düşük olarak görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre yılın dördüncü ayında ise EFFIS risk sınıfına göre çok düşük ve düşük değerler görülmekte ve yine aynı ayda Van Wagner risk sınıfına göre ise çok düşük, düşük, orta ve yüksek risk sınıflarında dağılım görülmektedir. İki indisin değerleri de yılın ilk üç ayı için düşük yangın risk ihtimaline işaret etmektedir ancak Nisan ayına bakıldığında, FWI ve KBDİ değerleri farklılık göstermektedir ve FWI değerlerine göre yangın ihtimali düşük ve orta seviyede risk olabileceği ifade edilmektedir.

**Tablo 11.** Muğla 2008 yılı FWI hesaplama sonuçlarının EFFIS risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	EFFIS FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (30+)	Çok Yüksek (38 – 50)	Yüksek (21,3 – 38)	Orta (11,2 – 21,3)	Düşük (5,2 – 11,2)	Çok Düşük (<5,2)
Ocak	0	0	0	0	0	31
Şubat	0	0	0	0	0	29
Mart	0	0	0	0	0	31
Nisan	0	0	0	0	9	21
Mayıs	0	0	3	9	13	6
Haziran	0	3	21	6	0	0
Temmuz	0	4	27	0	0	0
Ağustos	0	0	28	2	1	0
Eylül	0	0	16	4	4	6
Ekim	0	0	0	4	17	10
Kasım	0	0	0	0	14	16
Aralık	0	0	0	0	0	31
<b>Toplam Frekans:</b>	0	7	95	25	58	181

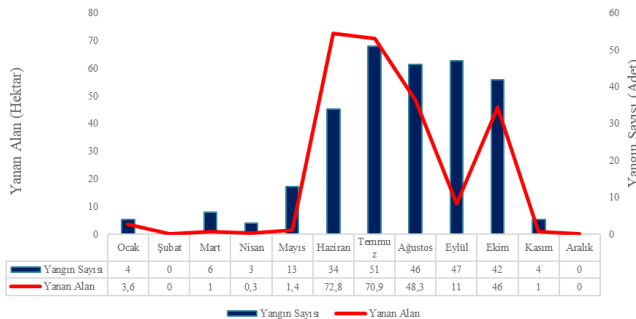
FWI analiz sonuçlarına (Tablo11 ve Tablo12) göre yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) yangın çıkma olasılığı çok yüksektir. Yangın riskinin yüksek olduğu aylar EFFIS risk sınıflandırmasına göre yüksek (22,3 – 38) ve çok yüksek (38 – 50), Van Wagner risk sınıflandırmasına göre ise yüksek (9 – 16), çok yüksek (17 – 29) ve ekstrem (30+) aralığındadır. FWI değerlerinin frekanslarının verildiği Tablo 11 ve Tablo 12’ye göre yangın riskinin yüksek olduğu yaz ayları, 2008 yılı çıkan yangınların büyük bir kısmının görüldüğü aylar ile tutarlılık göstermektedir.

**Tablo 12.** Muğla 2008 yılı FWI hesaplama sonuçlarının Van Wagner risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	Van Wagner FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (30+)	Çok Yüksek (17-29)	Yüksek (9-16)	Orta (5-8)	Düşük (2-4)	Çok Düşük (0-1)
Ocak	0	0	0	0	0	31
Şubat	0	0	0	0	4	25
Mart	0	0	0	0	9	22
Nisan	0	0	1	8	5	16
Mayıs	0	6	12	7	2	4
Haziran	10	18	2	0	0	0
Temmuz	18	13	0	0	0	0
Ağustos	8	21	1	1	0	0
Eylül	0	20	1	3	3	3
Ekim	0	0	11	10	5	5
Kasım	0	0	2	12	3	13
Aralık	0	0	0	0	5	26
<b>Toplam Frekans:</b>	36	78	30	41	36	145

2008 yılı iklim verileri kullanılarak hesaplanan FWI değerlerinin EFFIS risk sınıflandırması (Tablo 11) ve Van Wagner'in (1987) araştırmasında verilen risk eşik değerleri (Tablo 12) temel alınarak hazırlanan frekans tablolarına bakıldığında, olası yangın riskinin yüksek olduğu ayların (Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül) aynı olduğu görülmektedir. Tablo 12'de çok ekstrem risk sınıflarında yer alan değerler görülürken, bu değerler EFFIS risk sınıflandırmasına göre hazırlanan frekans tablosunda görülmemektedir. Van Wagner risk sınıflandırmasına göre Ekim ve Kasım aylarında da yüksek risk görülürken, EFFIS risk sınıflandırmasına göre Ekim ayında yangın riski orta, Kasım ayında ise düşüktür. FWI analiz sonuçlarına göre çok düşük değerlerin gözlemlendiği aylar aynıdır.

Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'nde 2009 yılında oluşan orman yangınlarının aylara göre dağılımına bakıldığında, en fazla yangın Haziran – Ekim ayları arasında çıkmıştır. Muğla'da 2009 yılında en fazla yangın Temmuz da çıkarken Haziran ayı, 72,8 hektarlık yanan alan ile 2009 yılında Muğla'da en fazla ormanlık alan kaybının yaşandığı ay olmuştur (Şekil 2).

**Şekil 2.** Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'nde 2009 yılında çıkan orman yangınlarının aylara göre dağılımı

Muğla 2009 yılı meteoroloji verilerine uygulanan FWI sonuçlarına göre iki farklı risk sınıflandırmasında (Tablo 13 ve Tablo 14) da Haziran – Eylül ayları arasında yangın riski yüksektir. Özellikle Temmuz ayı FWI verilerine göre en riskli aydır. 2009 yılı oluşan yangın verilerine göre de en fazla yangın 51 orman yangını ile Temmuz ayında çıkmıştır.

**Tablo 13.** Muğla 2009 yılı FWI hesaplama sonuçlarının Van Wagner risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	Van Wagner FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (30+)	Çok Yüksek (17-29)	Yüksek (9-16)	Orta (5-8)	Düşük (2-4)	Çok Düşük (0-1)
Ocak	0	0	0	0	0	31
Şubat	0	0	0	0	0	28
Mart	0	0	0	0	3	28
Nisan	0	0	0	4	7	19
Mayıs	0	0	10	7	4	10
Haziran	5	19	6	0	0	0
Temmuz	20	11	0	0	0	0
Ağustos	7	20	2	2	0	0
Eylül	0	9	12	3	3	3
Ekim	0	0	12	7	4	8
Kasım	0	0	0	0	16	14
Aralık	0	0	0	1	1	29
<b>Toplam Frekans:</b>	32	59	42	24	38	170

Muğla 2009 yılı FWI yangın riski frekanslarının aylara göre dağılımı Van Wagner'in (1987) araştırmasında verilen risk eşik değerleri (Tablo 13) ve EFFIS'in kullandığı risk sınıflandırması (Tablo 14) temel alınarak hazırlanan tablolara bakıldığında olası yangın riski Haziran-Eylül ayları arasında yüksektir. İki risk sınıflandırmasında da Temmuz ayı yangın riskinin en yüksek olduğu aydır ve 2009 yılı çıkan orman yangın verisine göre de en fazla yangın bu ayda görülmüştür.

**Tablo 14.** Muğla 2009 yılı FWI hesaplama sonuçlarının EFFIS risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	EFFIS FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (50+)	Çok Yüksek (38-50)	Yüksek (21,3-38)	Orta (11,2-21,3)	Düşük (5,2-11,2)	Çok Düşük (<5,2)
Ocak	0	0	0	0	0	31
Şubat	0	0	0	0	0	28
Mart	0	0	0	0	0	31
Nisan	0	0	0	0	4	26
Mayıs	0	0	0	6	10	15
Haziran	0	0	17	13	0	0
Temmuz	0	9	21	1	0	0
Ağustos	0	1	23	5	2	0
Eylül	0	0	7	10	7	6
Ekim	0	0	0	10	9	12
Kasım	0	0	0	0	0	30
Aralık	0	0	0	0	1	30
<b>Toplam Frekans:</b>	0	10	68	45	33	209

### 3.2. Çanakkale Orman Arazisi için 2008 ve 2009 Yıllarında Çıkan Yangınların FWI ile Değerlendirilmesi

Akdeniz iklim bölgesinde yer alan Çanakkale, Türkiye’de orman yangın riskinin yüksek olduğu bölgelerden biridir. Orman Genel Müdürlüğü’nün 2008 yılı yangın verilerine göre yaz döneminde kurak koşulların etkisiyle çıkan büyük orman yangınları görülmüştür. 2008 yılı en fazla ormanlık alan kaybının yaşandığı senelerden biri olarak ifade edilmiştir. Araştırmada orman yangın riskinin Haziran – Eylül ayları arasında yüksek olduğu ve Temmuz ayının en fazla orman yangını görülen ay olarak belirtilmiştir [71]. 2008 yılı Çanakkale iklim verileri kullanılarak FWI ile yapılan analiz sonuçları, 2008 yılı Çanakkale yangın verileri ile benzer sonuçlar göstermiştir. FWI değerlerine (Tablo 15 ve Tablo 16) göre yaz ayları yüksek risk aralığını göstermektedir.

**Tablo 15.** Çanakkale 2008 yılı FWI hesaplama sonuçlarının EFFIS risk sınıflandırmasına göre frekansları

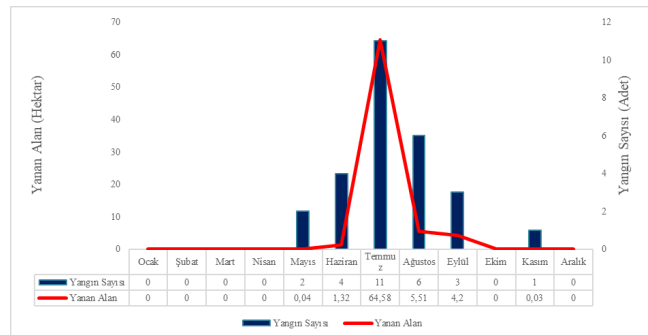
Aylar	EFFIS FWI Risk Sınıfı					
	Eks-trem (50+)	Çok Yüksek (38 – 50)	Yüksek (21,3 – 38)	Orta (11,2 – 21,3)	Düşük (5,2 – 11,2)	Çok Düşük (<5,2)
Ocak	0	0	0	0	0	31
Şubat	0	0	0	0	1	28
Mart	0	0	0	0	7	24
Nisan	0	0	0	2	7	21
Mayıs	0	0	1	20	8	2
Haziran	1	3	10	13	2	1
Temmuz	1	5	24	1	0	0
Ağustos	3	5	18	3	1	1
Eylül	0	1	13	3	2	11
Ekim	0	0	0	2	15	14
Kasım	0	0	0	4	12	14
Aralık	0	0	0	0	0	31
<b>Toplam Frekans:</b>	<b>5</b>	<b>14</b>	<b>66</b>	<b>48</b>	<b>55</b>	<b>178</b>

EFFIS ve Van Wagner risk sınıflandırması tablolarına bakıldığında, 2008 yılı yangın riski ekstrem değerlerinin aylara göre dağılımının benzer olduğu görülmektedir. EFFIS risk sınıflandırmasına göre yaz ayları (Haziran, Temmuz, Ağustos) yangın riski yüksek görülürken, Van Wagner risk sınıflandırmasına göre Haziran – Eylül ayları arasında risk yüksektir. 2008 yılı FWI analiz sonuçlarına göre düşük ve çok düşük risk sınıfında yer alan değerler iki risk sınıflandırmasında da kış aylarında (Aralık, Ocak, Şubat) görülmektedir.

**Tablo 16.** Çanakkale 2008 yılı FWI hesaplama sonuçlarının Van Wagner risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	Van Wagner FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (30+)	Çok Yüksek (17 – 29)	Yüksek (9 – 16)	Orta (5 – 8)	Düşük (2 – 4)	Çok Düşük (0 – 1)
Ocak	0	0	0	0	2	29
Şubat	0	0	0	1	2	26
Mart	0	0	0	7	13	11
Nisan	0	0	3	8	8	11
Mayıs	0	2	22	5	2	0
Haziran	10	10	8	1	1	0
Temmuz	15	15	1	0	0	0
Ağustos	19	9	1	1	0	1
Eylül	3	13	1	2	7	4
Ekim	0	0	5	13	6	7
Kasım	0	0	6	12	0	12
Aralık	0	0	0	0	3	28
<b>Toplam Frekans:</b>	<b>47</b>	<b>49</b>	<b>47</b>	<b>50</b>	<b>44</b>	<b>129</b>

Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü’nde 2009 yılında oluşan orman yangınlarının aylara göre dağılımına bakıldığında, Haziran – Eylül ayları arasında orman yangınları fazla görülmektedir. Çanakkale’de 2009 yılında en fazla yangın Temmuz ayında çıkmıştır. Temmuz ayı, 64,58 hektarlık yanan alan ile 2009 yılında Çanakkale’de en fazla ormanlık alan kaybının yaşandığı ay olmuştur (Şekil 3). 2009 yılı yangın verileri 2008 yılı ile benzer sonuçlar vermiştir. İki sene üst üste en fazla yangın ve ormanlık alan kaybı aynı ayda görülmektedir.



**Şekil 3.** Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü’nde 2009 yılında çıkan orman yangınlarının aylara göre dağılımı

Çanakkale 2009 yılı meteoroloji verilerine uygulanan Kanada Orman Yangın Hava İndisi (FWI) sonuçlarına göre iki FWI risk sınıflandırmasında (Tablo 17 ve Tablo 18) da Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları yangın riskinin yüksek olduğu aylardır. Özellikle Ağustos ayı risk sınıflandırmasında ekstrem, çok yüksek değerleri göstermektedir. 2009 yılı oluşan yangın verilerine göre en fazla yangın

Haziran – Eylül ayları arasında çıkmıştır ve FWI frekans tablolarında (Tablo 17 ve Tablo 18) da Haziran – Eylül ayları yangın riskinin yüksek olduğu aylardır.

**Tablo 17.** Çanakkale 2009 yılı FWI hesaplama sonuçlarının Van Wagner risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	Van Wagner FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (30+)	Çok Yüksek (17 – 29)	Yüksek (9 – 16)	Orta (5 – 8)	Düşük (2 – 4)	Çok Düşük (0 – 1)
Ocak	0	0	0	0	1	30
Şubat	0	0	0	1	0	27
Mart	0	0	0	0	2	29
Nisan	0	0	0	0	16	12
Mayıs	0	4	11	2	7	2
Haziran	0	11	9	7	4	2
Temmuz	9	14	8	4	0	0
Ağustos	24	7	0	0	0	0
Eylül	2	4	8	6	3	7
Ekim	0	1	8	9	5	8
Kasım	0	0	0	1	6	23
Aralık	0	0	0	3	2	26
<b>Toplam Frekans:</b>	35	41	44	33	46	166

Çanakkale FWI yangın riski frekanslarının aylara göre dağılımı Van Wagner'in (1987) araştırmasında verilen risk eşik değerleri (Tablo 17) ve EFFIS' nin kullandığı risk sınıflandırması (Tablo 18) temel alınarak hazırlanan tablolara bakıldığında olası yangın riski iki sınıflandırmada da yaz aylarında yüksektir.

**Tablo 18.** Çanakkale 2009 yılı FWI hesaplama sonuçlarının EFFIS risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	EFFIS FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (50+)	Çok Yüksek (38 – 50)	Yüksek (21,3 – 38)	Orta (11,2 – 21,3)	Düşük (5,2 – 11,2)	Çok Düşük (<5,2)
Ocak	0	0	0	0	0	31
Şubat	0	0	0	0	0	28
Mart	0	0	0	0	0	31
Nisan	0	0	0	0	2	28
Mayıs	0	0	0	12	10	9
Haziran	0	0	7	13	4	6
Temmuz	0	7	12	12	0	0
Ağustos	7	6	18	0	0	0
Eylül	0	1	4	5	10	10
Ekim	0	0	1	5	12	13
Kasım	0	0	0	0	1	29
Aralık	0	0	0	0	3	28
<b>Toplam Frekans:</b>	7	14	42	47	42	213

İki risk sınıflandırmasında da Ağustos ve Temmuz ayları, yangın riskinin çok yüksek olduğu aylardır ve 2009 yılı

orman yangını verisine göre en fazla yangın Temmuz ayında görülmüştür. İki sınıflandırma aralığında da Ocak ayı yangın riski düşüktür. Orta ve düşük risk sınıflarının aylara göre dağılımı iki risk sınıflandırmasında farklılıklar göstermektedir.

### 3.3. Antalya Orman Arazisi için 2008 ve 2009 Yıllarında Çıkan Yangınların FWI ile Değerlendirilmesi

Türkeş ve Altan'nın (2012) araştırmasına göre, 2008 yılı Antalya Orman Genel Müdürlüğü kayıtlarında 212 orman yangını kaydedilmiştir. En fazla yanan alan (17,026 hektar) Antalya'da gözlemlenirken, çıkan yangın sayısı göre Antalya ilinin Muğla ilinden sonra ikinci sırada olduğu ifade edilmiştir. Akdeniz ikliminin etkili olduğu Antalya ilinde yazların sıcak ve kurak geçmesi orman yangınlarının yaz aylarında etkili olmasına neden olmaktadır. 2008 yılı verilerine uygulanan FWI analiz sonuçlarına göre, yaz aylarının (Haziran, Temmuz, Ağustos) yüksek risk sınıfında olduğu gözlenmiştir (Tablo 19 ve Tablo 20).

**Tablo 19.** Antalya 2008 yılı FWI hesaplama sonuçlarının EFFIS risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	EFFIS FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (50+)	Çok Yüksek (38 – 50)	Yüksek (21,3 – 38)	Orta (11,2 – 21,3)	Düşük (5,2 – 11,2)	Çok Düşük (<5,2)
Ocak	0	0	0	0	0	31
Şubat	0	0	0	0	0	29
Mart	0	0	0	0	1	30
Nisan	0	0	0	0	4	26
Mayıs	0	0	0	10	15	6
Haziran	0	0	14	16	0	0
Temmuz	0	0	26	5	0	0
Ağustos	0	0	11	20	0	0
Eylül	0	0	1	17	3	9
Ekim	0	0	0	5	16	10
Kasım	0	0	0	2	9	19
Aralık	0	0	0	0	3	28
<b>Toplam Frekans:</b>	0	0	52	75	51	188

FWI yangın riski frekanslarının aylara göre dağılımı EFFIS'in kullandığı risk sınıflandırması (Tablo 19) ve Van Wagner (1987) tarafından Kanada Orman Servisi'ne (Canadian Forestry Service) hazırlanan teknik raporda verilen risk eşik değerleri (Tablo 20) temel alınarak hazırlanan tablolara bakıldığında olası yangın riskinin yüksek olduğu aylar iki sınıflandırmada da Haziran – Eylül ayları arasındadır. Tablo 20 'de çok yüksek ve ekstrem değerlerin frekansları görülürken, bu değerler EFFIS risk sınıflandırmasına göre hazırlanan frekans tablosunda görülmemektedir. İki sınıflandırma

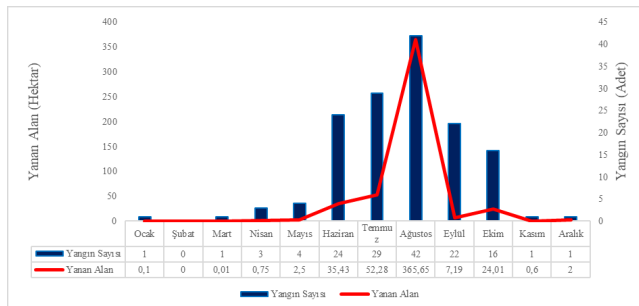


aralığında da çok düşük değerlerin gözlemlendiği aylar aydır. Orta risk sınıflandırmasının görüldüğü aylara bakıldığında iki sınıflandırma arasında farklılıklar gözlenmektedir. EFFIS risk sınıfı kullanılarak hazırlanan frekans tablosuna bakıldığında Mayıs – Kasım ayları arasında orta derece risk gözlenirken, Van Wagner risk sınıfı kullanılarak hazırlanan frekans tablosunda orta derece yangın riski Mart, Nisan, Mayıs, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında görülmektedir.

**Tablo 20.** Antalya 2008 yılı FWI hesaplama sonuçlarının Van Wagner risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	Van Wagner FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (30+)	Çok Yüksek (17-29)	Yüksek (9-16)	Orta (5-8)	Düşük (2-4)	Çok Düşük (0-1)
Ocak	0	0	0	0	10	21
Şubat	0	0	0	0	8	21
Mart	0	0	0	3	14	14
Nisan	0	0	0	4	8	18
Mayıs	0	5	8	12	6	0
Haziran	5	15	10	0	0	0
Temmuz	3	28	0	0	0	0
Ağustos	6	24	1	0	0	0
Eylül	0	18	0	3	4	5
Ekim	0	0	8	14	4	5
Kasım	0	0	7	5	3	15
Aralık	0	0	0	5	10	16
<b>Toplam Frekans:</b>	14	90	34	46	67	115

Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nde 2009 yılında oluşan orman yangınlarının aylara göre dağılımına bakıldığında, Haziran – Ekim ayları arasında orman yangınlarının sayısında artış olduğu görülmektedir. Antalya'da 2009 yılında en fazla yangın Ağustos ayında çıkmıştır. Ağustos ayı, 365,65 hektar yanan alan ile 2009 yılında Antalya'da en fazla ormanlık alan kaybının yaşandığı ay olmuştur (Şekil 4).



**Şekil 4.** Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nde 2009 yılında çıkan orman yangınlarının aylara göre dağılımı

Antalya 2009 yılı meteoroloji verilerine uygulanan FWI sonuçlarına göre Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları yangın riskinin yüksek olduğu aylardır. Özellikle Ağustos ayı risk sınıflandırmasında ekstrem ve çok yüksek değerleri görülmektedir (Tablo 21 ve Tablo 22). 2009 yılı oluşan yangın

verilerine göre en fazla yangın yaz aylarında çıkmıştır ve FWI frekans tablolarında (Tablo 21 ve Tablo 22) da yaz ayları riskin yüksek olduğu aylardır.

**Tablo 21.** Antalya 2009 yılı FWI hesaplama sonuçlarının Van Wagner risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	Van Wagner FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (30+)	Çok Yüksek (17-29)	Yüksek (9-16)	Orta (5-8)	Düşük (2-4)	Çok Düşük (0-1)
Ocak	0	0	0	0	1	30
Şubat	0	0	0	0	0	28
Mart	0	0	0	0	3	28
Nisan	0	0	0	5	9	16
Mayıs	0	0	6	10	3	12
Haziran	3	18	9	0	0	0
Temmuz	10	19	2	0	0	0
Ağustos	14	17	0	0	0	0
Eylül	0	8	8	3	3	8
Ekim	0	0	13	8	1	9
Kasım	0	0	0	0	10	20
Aralık	0	0	0	1	1	29
<b>Toplam Frekans:</b>	27	62	38	27	31	180

2009 yılı, FWI yangın riski frekanslarının aylara göre dağılımı Van Wagner'in (1987) araştırmasında verilen risk eşik değerleri (Tablo 21) EFFIS'nin kullandığı risk sınıflandırması (Tablo 22) temel alınarak hazırlanan tablolara bakıldığında olası yangın riskinin yüksek olduğu aylar (Haziran, Temmuz ve Ağustos) örtüşmektedir. İki risk sınıflandırmasında da Ağustos ayı için çok yüksek ve ekstrem değerler görülmektedir ve 2009 yılı çıkan orman yangın verisine göre de en fazla yangın bu ayda çıkmıştır. İki sınıflandırma aralığında da kış aylarında (Aralık, Ocak ve Şubat) yangın riski düşüktür.

**Tablo 22.** Antalya 2009 yılı FWI hesaplama sonuçlarının EFFIS risk sınıflandırmasına göre frekansları

Aylar	EFFIS FWI Risk Sınıfı					
	Ekstrem (50+)	Çok Yüksek (38-50)	Yüksek (21,3-38)	Orta (11,2-21,3)	Düşük (5,2-11,2)	Çok Düşük (<5,2)
Ocak	0	0	0	0	0	31
Şubat	0	0	0	0	0	28
Mart	0	0	0	0	0	31
Nisan	0	0	0	0	3	27
Mayıs	0	0	0	5	11	15
Haziran	0	0	7	21	2	0
Temmuz	0	1	17	13	0	0
Ağustos	7	3	19	2	0	0
Eylül	0	0	0	10	9	11
Ekim	0	0	0	0	21	10
Kasım	0	0	0	0	0	30
Aralık	0	0	0	0	1	30
<b>Toplam Frekans:</b>	7	4	43	51	47	213

Antalya, Çanakkale ve Muğla illeri için hesaplanan FWI değerlerinin EFFIS ve Van Wagner risk sınıflandırmasına (1987) göre toplam frekanslarına bakıldığında çalışmada seçilen iller kapsamında Muğla ilinin yüksek risk sınıflandırmasındaki değerinin diğer illere kıyasla iki risk sınıflandırmasında da yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22). Muğla ilini Çanakkale ili takip etmektedir. FWI hesaplama sonuçlarının frekans tabloları 2008 ve 2009 yılı orman yangınları kayıtları ile tutarlılık göstermektedir.

#### IV. SONUÇ

İklim değişikliğinin Akdeniz Havzası orman yangınlarına etkisi son yıllarda giderek artmaktadır. Bu sorunun temelinde iklim değişikliği ile birlikte Akdeniz ikliminin hakim olduğu bölgelerde yazların daha sıcak ve kurak geçmeye başlaması yatmaktadır [1, 9, 17, 18]. Bu durum orman yangınlarının sayısının artmasına neden olmaktadır. Akdeniz Havzası'nda orman yangınlarının artışı ile ilgili yapılan tüm çalışmalar, bu artışa iklim değişikliği ile artan sıcak ve kurak havanın neden olduğunu doğrulamaktadır ve gelecekte olası yangın sayısının artabileceği ifade edilmektedir. Büyük orman yangınları sadece ağaçların yanması değil aynı zamanda ormanlarda yaşayan canlıların da zarar görmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle, yangın hava indisleri kullanılarak olası orman yangınlarının çıkabileceği bölgelerin öngörülmesi ve bu bölgelerde gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Her ülke yangın risk değerlendirmelerini yaparken farklı indisler kullanmaktadır, fakat bazı indisler dünyada yaygın olarak kullanılmakta ve yangın risk değerlendirmeleri başarılı bulunmaktadır. HI, FWI ve KBDI, F İndisi ve FFDI yaygın olarak kullanılan indislerden bazılarıdır. Bu indisler iklim değişikliği ile birlikte sıcak ve kurak havanın gelecekte Akdeniz Havzası'nda çıkabilecek orman yangınlarının sayısını nasıl etkileyebileceği ve olası yangınların hangi bölgelerde çıkabileceği ele alınan çalışmalarda kullanılabilir. Yapılan araştırmalar bu yangın indislerinin olası yangın çıkışlarını tahmin etmede başarılı olduğunu göstermiştir. HI, havadaki nem oranı ve çiğlenme sıcaklığını dikkate alarak hesaplama yapmaktır. Bu indis kullanılarak yapılan çalışmalarda, HI'nin büyük orman yangınlarını öngörmeye başarılı olduğu ifade edilmiştir. FWI yaygın olarak kullanılan ve yapılan araştırmalara göre yarı kurak iklimlerde olası yangın risk değerlendirmelerinde başarılı olduğu ifade edilen diğer bir indistir. FWI toprak katmanlarındaki nem ve yakıt nemi değişikliğine bağlı olarak olası yangın riskini öngörmektedir. Diğer bir yaygın olarak kullanılan orman yangın indisi KBDI'dir. KBDI ile olası orman yangınları, yangının çıkışı, yayılması ve büyümesine uygun hava

ve iklim koşullarını öngörülebilir, böylece gerekli önlemler alınabilir. Yapılan çalışmalar olası yangın risk değerlendirmeleri için bu indisin kullanılmasının başarılı sonuçlar vereceğini ifade etmiştir. F İndisi diğer yangın hava indislerine göre daha basit bir indistir. Sadece rüzgar hızı, bağıl nem ve kuru hazne hava sıcaklığı değerleri kullanılarak basit bir şekilde gelecek orman yangını riski hesaplanabilir. Türkiye için F indisi kullanılarak yapılan bir çalışmada, indisin yangın risk değerlendirmesinde başarılı olduğu ifade edilmiştir, ama Akdeniz Bölgesi'nde çıkabilecek orman yangınlarının farklı indisler kullanılarak değerlendirildiği farklı bir çalışmada F İndisi çok başarılı bulunmamıştır. FFDI Avusturya için ciddi çalışmalar sonucunda geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılan bir indistir. İndis okalipütis ormanları temel alınarak geliştirilmesine rağmen Akdeniz Bölgesi'nde de yangın risk değerlendirmelerinde kullanılmakta ve olası yangınları öngörmeye iyi sonuçlar verdiği ifade edilmektedir. Orman yangın risk tahmini, HI, FWI, KBDI, F İndisi ve FFDI kullanılarak yapılabileceği gibi farklı ülkeler tarafından yaygın olarak kullanılan IFI, FFWI, NI ve AI gibi indisler kullanılarak da yapılabilir. Bu çalışmada Antalya, Çanakkale ve Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı orman arazilerinde 2008 ve 2009 yıllarında çıkan yangınlar FWI kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar 2008 ve 2009 yılı yangın verileri ile tutarlılık göstermiştir. FWI analiz sonuçlarına göre Antalya, Çanakkale ve Muğla illeri için yaz ayları yangın riskinin yüksek olduğu, kış ayları ise yangın riskinin çok düşük olduğu aylardır. 2008 yılı iklim verileri kullanılarak FWI ile yapılan analiz sonuçları, Türkerş ve Altan tarafından yapılan 2008 yılında Muğla ve Çanakkale'de çıkan orman yangınlarının KBDI ile değerlendirildiği araştırmaların sonuçları kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda yangın riskinin yüksek olduğu dönemleri göstermede KBDI ve FWI değerlerinin benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. 2009 yılı iklim verileri kullanılarak FWI ile yapılan analiz sonuçları ise 2009 yılı çıkan yangın verileri ile karşılaştırılmış ve yangınların yoğun olarak çıktığı yaz aylarında FWI analiz sonuçları yangın riskini yüksek göstermiştir. FWI değerleri yangın riskini öngörmeye 2008 ve 2009 yangın verilerine göre başarılı bulunmuştur. İklim değişikliği ile birlikte sıcaklık artışlarının kuraklığı, ekstrem hava olaylarını beraberinde getirmesi sonucunda orman yangınları riski daha da artabilir. Yangın risk bölgelerinin, bulunulan ekosisteme en uygun yangın hava indisleri kullanılarak başarılı bir şekilde değerlendirilmesi gelecekte karşılaşılabilecek olası büyük orman yangınlarının önüne geçilmesine yardımcı olabilir ya da gerekli önlemler alınarak hasar en aza indirilebilir.

## TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan meteorolojik verileri sağlayan T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü ile bu verilerin düzenlenmesine katkıda bulunan Boğaziçi Üniversitesi İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezinden Aytaç PAÇAL'a, orman yangın verilerinin kullanımına izin veren T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz. Bu çalışmanın yazarlarından Nazan AN, Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 14824 kodu ile; Mustafa Tufan TURP, Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 15042 kodu ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Tatlı, H., & Türkeş, M. (2014). Climatological evaluation of Haines forest fire weather index over the Mediterranean Basin. *Meteorological Applications*, 21(3), 545-552.
- [2] Werth, J., & Werth, P. (1998). Haines Index climatology for the western United States. *Fire management notes (USA)*.
- [3] Jenkins, M. A. (2002). An examination of the sensitivity of numerically simulated wildfires to low-level atmospheric stability and moisture, and the consequences for the Haines Index. *International Journal of Wildland Fire*, 11(4), 213-232.
- [4] McCaw, L., Marchetti, P., Elliott, G., & Reader, G. (2007). Bushfire weather climatology of the Haines Index in southwestern Australia. *Australian Meteorological Magazine*, 56(2).
- [5] Winkler, J. A., Potter, B. E., Wilhelm, D. F., Shadbolt, R. P., Piromsopa, K., & Bian, X. (2007). Climatological and statistical characteristics of the Haines Index for North America. *International Journal of Wildland Fire*, 16(2), 139-152.
- [6] Trouet, V., Taylor, A. H., Carleton, A. M., & Skinner, C. N. (2009). Interannual variations in fire weather, fire extent, and synoptic-scale circulation patterns in northern California and Oregon. *Theoretical and Applied Climatology*, 95(3-4), 349-360.
- [7] Peace, M., McCaw, L., & Mills, G. (2012). Meteorological dynamics in a fire environment; a case study of the Layman prescribed burn in Western Australia. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 62(3), 127.
- [8] Barberà, M. J., Nicolòs, R., Estrela, M. J., & Valiente, J. A. (2015). Climatology of the stability and humidity terms in the Haines Index to improve the estimate of forest fire risk in the Western Mediterranean Basin (Valencia region, Spain). *International Journal of Climatology*, 35(7), 1212-1223.
- [9] Cardil, A., Molina, D. M., Ramirez, J., & Vega-García, C. (2013). Trends in adverse weather patterns and large wildland fires in Aragón (NE Spain) from 1978 to 2010. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5), 1393-1399.
- [10] Johnson EA, Miyanishi K. (2001). Forest Fires: Behavior and Ecological Effects. *Academic Press: San Diego, CA*.
- [11] Ruffault, J., Moron, V., Trigo, R. M., & Curt, T. (2017). Daily synoptic conditions associated with large fire occurrence in Mediterranean France: evidence for a wind-driven fire regime. *International Journal of Climatology*, 37(1), 524-533.
- [12] Türkeş, M., Tatlı, H., Altan, G., Öztürk, M. Z. (2011a). Analysis of forest fires for the year of 2010 in Çanakkale and Muğla with the Keetch-Byram drought index. In: *Proceedings of the National Geographical Congress with International Participation (CD-R)*, ISBN 978.975.6686-04-1, 7-10 September 2011, Türk Coğrafya Kurumu – İstanbul University.
- [13] Altan, G., Türkeş, M., Tatlı, H. (2011). Çanakkale ve Muğla 2009 yılı orman yangınlarının Keetch-Byram Kuraklık İndisi ile klimatolojik ve meteorolojik analizi. In: *5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book*: 263-274. *Istanbul Technical University*, 27-29 April 2011, Istanbul. Turkey.
- [14] Altan, G. (2011). Muğla ve Çanakkale İllerinde 2000-2008 döneminde gerçekleşen büyük orman yangınlarının klimatolojik ve meteorolojik analizi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*.
- [15] Yamak, Ç. (2006). *Investigation over a national meteorological fire danger approach for Turkey with geographic information systems*. A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Geodetic and Geographic Information Technologies. 142 p.
- [16] Pausas, J. G., & Vallejo, V. R. (1999). The role of fire in European Mediterranean ecosystems. In *Remote sensing of large wildfires* (pp. 3-16). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [17] Pausas, J. G. (2004). Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic change*, 63(3), 337-350.
- [18] Urbietta IR, Zavala G, Bedia J, Gutierrez JM, San Miguel-Ayanz J, Camia A, Keeley JE, Moreno JM. (2015). Fire activity as a function of fire-weather seasonal severity and antecedent climate across spatial scales in southern Europe and Pacific western USA. *Environmental Research Letters*, 10(11), 114013.
- [19] Flannigan, M. D., Krawchuk, M. A., de Groot, W. J., Wotton, B. M., & Gowman, L. M. (2009). Implications of changing climate for global wildland fire. *International journal of wildland fire*, 18(5), 483-507.
- [20] Lagerquist, R., Flannigan, M. D., Wang, X., & Marshall, G. A. (2017). Automated prediction of extreme fire weather from synoptic patterns in northern Alberta, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(9), 1175-1183.
- [21] Gillett, N. P., Weaver, A. J., Zwiers, F. W., & Flannigan, M. D. (2004). Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. *Geophysical Research Letters*, 31(18).
- [22] Wang, X., Thompson, D. K., Marshall, G. A., Tymstra, C., Carr, R., & Flannigan, M. D. (2015). Increasing frequency of

- extreme fire weather in Canada with climate change. *Climatic Change*, 130(4), 573-586.
- [23] Mhaweji, M., Faour, G., Abdallah, C., & Adjizian-Gerard, J. (2016). Towards an establishment of a wildfire risk system in a Mediterranean country. *Ecological informatics*, 32, 167-184.
- [24] Flannigan, M. D., Amiro, B. D., Logan, K. A., Stocks, B. J., & Wotton, B. M. (2006). Forest fires and climate change in the 21 st century. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(4), 847-859.
- [25] Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions*, 4(2), 439-473.
- [26] Türkes, M. (2016). *Genel Klimatoloji: Atmosfer, Hava ve İklimin Temelleri*. İstanbul, Türkiye: Kriter Yayınevi.
- [27] Türkes, M. (2010). *Klimatoloji ve meteoroloji*. Kriter Yayınevi.
- [28] Zittis, G., & Hadjinicolaou, P. (2017). The effect of radiation parameterization schemes on surface temperature in regional climate simulations over the MENA-CORDEX domain. *International Journal of Climatology*, 37(10), 3847-3862.
- [29] Schroter, D.; Cramer, W.; Leemans, R.; Prentice, I. C.; Araujo, M. B.; Arnell, N. W.; Bondeau, A.; Bugmann, H.; Carter, T. R.; Gracia, C. A.; de la Vega-Leinert, A. C.; Erhard, M.; Ewert, F.; Glendinning, M.; House, J. I.; Kankaanpää, S.; Klein, R. J. T.; Lavorel, S.; Lindner, M.; Metzger, M. J.; Meyer, J.; Mitchell, T. D.; Reginster, I.; Rounsevell, M.; Sabate, S.; Sitch, S.; Smith, B.; Smith, J.; Smith, P.; Sykes, M. T.; Thonicke, K.; Thuiller, W.; Tuck, G.; Zaehle, S.; Zierl, B. (2005). Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 310(5752): 1333-1337.
- [30] Westerling, A. L., Hidalgo H. G., Cayan D. R., and Swetnam T. W. (2006). Warming and earlier spring increase western U. S. forest wildfire activity. *Science* 313(5789):940-943.
- [31] Bedia J., Golding N., Casanueva A., Iturbide M., Buontempo C., & Gutiérrez J. M. (2017). Seasonal predictions of Fire Weather Index: Paving the way for their operational applicability in Mediterranean Europe. *Climate Services*.
- [32] Abatzoglou, John T., & Kolden, Crystal A. (2013). Relationships between climate and macroscale area burned in the western United States. *International Journal of Wildland Fire* 22(7):1003-1020.
- [33] Blackwell, B., M.C. Feller, and R. Trowbridge. (1992). Conversion of dense lodge pole pine stands in west-central British Columbia into young lodge pole pine plantations using prescribed fire. 1. Biomass consumption during burning treatments. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 572 – 581.
- [34] Valette, J. C., Gomendy, V., Maréchal, J., Houssard, C., & Gillon, D. (1994). Heat-transfer in the soil during very low-intensity experimental fires-the role of duff and soil-moisture content. *International Journal of Wildland Fire*, 4(4), 225-237.
- [35] Dimitrakopoulos AP, Mitsopoulos ID, & Gatoulas K. (2010). Assessing ignition probability and moisture of extinction in a Mediterranean grass fuel type. *International Journal of Wildland Fire* 19: 29-34.
- [36] Pausas, J. G., & Fernández-Muñoz, S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic change*, 110(1-2), 215-226.
- [37] Turco M, Llasat M-C, von Hardenberg J, & Provenzale A (2014). Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment. *Climatic Change* 125:369-380.
- [38] Cardil, A., Eastaugh, C. S., & Molina, D. M. (2015). Extreme temperature conditions and wildland fires in Spain. *Theoretical and applied climatology*, 122(1-2), 219-22.
- [39] Marcos, R., Turco, M., Bedía, J., Llasat, M. C., & Provenzale, A. (2015). Seasonal predictability of summer fires in a Mediterranean environment. *International journal of wildland fire*, 24(8), 1076-1084.
- [40] Kum G., & Sönmez M.E. (2016). Determination of Meteorological Forest Fire Risks in Mediterranean Climate of Turkey. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(2), 181-192.
- [41] Türkes, M., & Altan, G. (2012). Analysis of the year 2008 fires in the forest lands of the Muğla Regional Forest Service by using drought indices. *Journal of Human Sciences*, 9(1), 912-931.
- [42] Sarris, D., Christopoulou, A., Angelonidi, E., Koutsias, N., Fulé, P. Z., & Arianoutsou, M. (2014). Increasing extremes of heat and drought associated with recent severe wildfires in southern Greece. *Regional environmental change*, 14(3), 1257-1268.
- [43] Bedía J, Herrera S, Gutiérrez J M, Benali A, Brands S, Mota B and Moreno J M. (2015). Global patterns in the sensitivity of burned area to fire-weather: implications for climate change *Agric. Forest Meteorol.* 214-215 369-7.
- [44] Knorr W., Dentener F., Hantson S., Jiang L., Klimont Z., & Arneth A. (2016). Air quality impacts of European wildfire emissions in a changing climate.
- [45] Syphard, A. D., Radeloff, V. C., Keeley, J. E., Hawbaker, T. J., Clayton, M. K., Stewart, S. I., & Hammer, R. B. (2007). Human influence on California fire regimes. *Ecological applications*, 17(5), 1388-1402.
- [46] Ager, A. A., Preisler, H. K., Arca, B., Spano, D., & Salis, M. (2014). Wildfire risk estimation in the Mediterranean area. *Environmetrics*, 25(6), 384-396.
- [47] Haines, D. A. (1989). A lower atmosphere severity index for wildlife fires. *National Weather Digest*, 13, 23-27.
- [48] Werth, P., & Ochoa, R. (1993). The evaluation of Idaho wildfire growth using the Haines Index. *Weather and Forecasting*, 8(2), 223-234.
- [49] Beverly, J. L., & Wotton, B. M. (2007). Modelling the probability of sustained flaming: predictive value of fire weather index components compared with observations of site



- weather and fuel moisture conditions. *International Journal of Wildland Fire*, 16(2), 161-173.
- [50] Dimitrakopoulos, A. P., Bemmerzouk, A. M., & Mitsopoulos, I. D. (2011). Evaluation of the Canadian fire weather index system in an eastern Mediterranean environment. *Meteorological Applications*, 18(1), 83-93.
- [51] Chelli S., Maponi P., Campetella G., Monteverde P., Foglia M., Paris E., Lolis A., & Panagopoulos T. (2015). Adaptation of the Canadian fire weather index to Mediterranean forests. *Natural Hazards*, 75(2), 1795-1810.
- [52] Carvalho, A., Flannigan, M. D., Logan, K., Miranda, A. I., & Borrego, C. (2008). Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System. *International Journal of Wildland Fire*, 17(3), 328-338.
- [53] Van Wagner, C. E., & Forest, P. (1987). Development and structure of the Canadian forest fireweather index system. In *Can. For. Serv., Forestry Tech. Rep.*
- [54] Canadian Fire Weather Index System (FWI system), <https://www.frames.gov/files/6014/1576/1411/FWI-history.pdf>.
- [55] Good, P., Moriondo, M., Giannakopoulos, C., & Bindi, M. (2008). The meteorological conditions associated with extreme fire risk in Italy and Greece: relevance to climate model studies. *International Journal of Wildland Fire*, 17(2), 155-165.
- [56] Keetch, J. J., & Byram, G. M. (1968). A drought index for forest fire control. *Res. Pap. SE-38. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 35 p., 38.*
- [57] Sharples, J. J., McRae, R. H. D., Weber, R. O., & Gill, A. M. (2009a). A simple index for assessing fire danger rating. *Environmental Modelling & Software*, 24(6), 764-774.
- [58] Sharples, J. J., McRae, R. H. D., Weber, R. O., & Gill, A. M. (2009b). A simple index for assessing fuel moisture content. *Environmental Modelling & Software*, 24(5), 637-646.
- [59] Satir, O., Berberoglu, S., & Donmez, C. (2016). Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(5), 1645-1658.
- [60] Satir, O., Berberoglu, S., & Cilek, A. (2016). Modelling long-term forest fire risk using fire weather index under climate change in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(4), 537-551.
- [61] Sirca, C., Salis, M., Arca, B., Duce, P., & Spano, D. (2018). Assessing the performance of fire danger indexes in a Mediterranean area. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 11(5), 563.
- [62] Noble, I. R., Gill, A. M., & Bary, G. A. V. (1980). McArthur's fire-danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology*, 5(2), 201-203.
- [63] Pérez-Sánchez, J., Senent-Aparicio, J., Díaz-Palmero, J. M., & de Dios Cabezas-Cerezo, J. (2017). A comparative study of fire weather indices in a semiarid south-eastern Europe region. Case of study: Murcia (Spain). *Science of the Total Environment*, 590, 761-774.
- [64] San-Miguel-Ayanz, J., Carlson, J. D., Alexander, M., Tolhurst, K., Morgan, G., Sneeuwjagt, R., & Dudley, M. (2003). Current methods to assess fire danger potential. In *Wildland fire danger estimation and mapping: The role of remote sensing data* (pp. 21-61).
- [65] Sirca, C., Spano, D., Duce, P., Delogu, G., Cicalò, G. O., & Viegas, D. X. (2007). Performance of a newly developed integrated fire rating index in Sardinia, Italy. In *Proceedings of the 4th International WildLand FireConference. Seville, Spain*(pp. 13-17).
- [66] Goodrick, S. L. (2002). Modification of the Fosberg fire weather index to include drought. *International Journal of Wildland Fire*, 11(4), 205-211.
- [67] Ganatsas, P., Antonis, M., & Marianthi, T. (2011). Development of an adapted empirical drought index to the Mediterranean conditions for use in forestry. *Agricultural and forest meteorology*, 151(2), 241-250.
- [68] Venevsky, S., Thonicke, K., Sitch, S., & Cramer, W. (2002). Simulating fire regimes in human-dominated ecosystems: Iberian Peninsula case study. *Global Change Biology*, 8(10), 984-998. doi:10.1046/j.1365-2486.2002.00528.x.
- [69] Angström, A. (1949). Swedish Meteorological Research 1939-1948. *Tellus*, 1(1), 60-64. doi:10.1111/j.2153-3490.1949.tb01930.x.
- [70] Moreno, M. V., Conedera, M., Chuvieco, E., & Pezzatti, G. B. (2014). Fire regime changes and major driving forces in Spain from 1968 to 2010. *Environmental Science & Policy*, 37, 11-22.
- [71] Türkeş, M., & Altan, G. (2012). Çanakkale'nin 2008 yılı büyük orman yangınlarının meteorolojik ve hidroklimatolojik analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 10(2), 195-218.
- [72] Wang, X., Wotton, B. M., Cantin, A. S., Parisien, M. A., Anderson, K., Moore, B., & Flannigan, M. D. (2017). cffdrs: an R package for the Canadian forest fire danger rating system. *Ecological Processes*, 6(1), 5.
- [73] Lawson, B. D., & Armitage, O. B. (2008). Weather guide for the Canadian forest fire danger rating system.