

# İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ARTAN ORMAN YANGINLARI İLİŞKİSİ

## THE RELATIONSHIP BETWEEN CLIMATE CHANGE AND INCREASING WILDFIRES

Doç. Dr. İsmail Dabanlı

**Doç. Dr. İsmail DABANLI / İstanbul Teknik Üniversitesi /**

**dabanli[at]itu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-3108-8167**

İsmail DABANLI, 2010 yılında İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümünden, 2011 yılında da İTÜ Mimarlık Bölümünden mezun oldu. 2016 yılında ABD'nin Güney Carolina eyaletinde bulunan Clemson Üniversitesi, Glenn İnşaat Mühendisliği Bölümünde iklim değişikliği ve kuraklık konularında araştırma yapmak üzere misafir araştırmacı olarak bulundu. 2017 yılında İTÜ Hidrolik ve Su Kaynakları programından Bütünleşik Doktora derecesi aldı. Aynı yıl İstanbul Medipol Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün kurulmasında Bölüm Başkan Yardımcısı olarak görev aldı. 2018 yılında Medipol Üniversitesi İklim Araştırmaları Merkezinde (İKLİMER) Müdür Yardımcısı olarak kurulmasında katkı verdi. 2019 yılında Doçent unvanı aldı. 2021 Mart ayından itibaren de İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaya devam etmektedir. İklim Değişikliği, Hidroloji, Uyum ve Kuraklık alanlarında pek çok uluslararası saygın dergilerde makaleleri olan Dabanlı halen çalışmalarına bu alanlarda devam etmektedir.

**Assoc. Prof. Dr. Ismail DABANLI / Istanbul Technical University /**

**dabanli[at]itu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-3108-8167**

Ismail DABANLI received his Bachelor and Double Major degrees from Civil Engineering Department and Architecture Department at Istanbul Technical University in 2010 and 2011 respectively. In 2016, he has joined Clemson University, Glenn Department of Civil Engineering as a visiting scholar in South Carolina (USA) for climate change and drought research. He obtained PhD degree from Istanbul Technical University, Hydraulics and Water Resources Program in 2017. In same year, he contributed to Medipol University Civil Engineering Department establishment as a Co-Head. In 2018, he become Co-Director of Climate Change Research Center at Medipol University. He received Associate Prof degree in 2019 and since March 2021, he has been working at Istanbul Technical University, Civil Engineering Department. He got lots of international papers in fields of Climate Change, Drought, Hydrology and Adaptation. Now, he focuses on his research in same fields.

## İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE ARTAN ORMAN YANGINLARI İLİŞKİSİ

### Özet

İklim değişikliği ve orman yangınları ilişkisi günümüzde en çok konuşulan ve merak edilen konuların başında gelmektedir. Artan sıcaklıklar ve kuraklıklarla birlikte yaz dönemlerinde dünyanın çeşitli bölgelerinde çıkan büyük yangınlar iklim değişikliği ile ilişkilendirilmektedir. Bu bağlamda orman yangınlarıyla iklim değişikliği arasındaki ilişkinin kavramsal olarak ortaya konulup detaylı açıklanması gerekmektedir. İklim değişikliği doğrudan orman yangınlarının başlamasına ya da orman alanlarındaki yakıtın tutuşmasına uygun zemin oluşturmakla maruz kalma riskini artırmaktadır. Bundan dolayı, orman yangını riski iklim değişikliği ile birlikte artış göstermektedir. Orman yangınlarının iklim değişikliği ile olan ilişkisi, yakıt elverişliliği, tutuşma ve genişleme evrelerinde ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Genel olarak orman yangınlarıyla doğrudan ilişkili olan iklim değişikliği parametreleri, kuraklık, sıcaklık, yağış, bağıl nem ve rüzgâr olarak sınıflandırılmaktadır. Yangın için elverişli hava şartlarının oluşumunu ve uzun süre devam etmesini ya da görülme sıklığını iklim değişikliğiyle açıklamak mümkündür. Yağış ve sıcaklık temel parametre olarak kabul edildiğinde, bunlara bağlı kuraklık, bağıl nem, zemin nemi, buharlaşma ve terleme gibi terimlerle orman yangınları arasında bağlantı kurmak kolaylaşmaktadır.

### Anahtar kelimeler:

Orman yangını, İklim değişikliği, Kuraklık, Yağış, Sıcaklık, Bağıl nem

## THE RELATIONSHIP BETWEEN CLIMATE CHANGE AND INCREASING WILDFIRES

### Abstract

A relationship between climate change and wildfires is the most wondering hot topics in nowadays. Extensive wildfires on many places on earth are linked to climate change due to the increasing temperatures and droughts. Therefore, detailed explanation and conceptual boundaries of this relationship between climate change and wildfires is required. The role of climate change is to increase vulnerability of wildfire occurrences and fuel ignitions. So, the risk of wildfire has been increasing because of the climate change impacts. Theoretical relationships are evaluated separately by classifying into several phase as fuel availability, ignitions and expansions. In general, drought, temperature, precipitation, relative humidity and wind are directly connected to wildfires as a climate change parameter. It is possible to explain weather conditions availability for fire, long lasting of wildfires and occurrence frequency by climate change impacts. If temperature and precipitations are considered as the major parameters of climate change impacts, it will be easy to understand dealings among the wildfires, drought, relative humidity, soil moisture and evapotranspiration.

### Keywords:

Wildfires, Climate change, Drought, Precipitation, Temperature, Relative humidity

## GİRİŞ

Küresel ısınma, genel anlamda yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarının uzaya geçmesini engelleyerek tekrar yeryüzüne dönmesine sebep olan sera etkisi oluşturan gazların ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , HFCs,  $\text{SF}_6$ , PFCs gibi) atmosferde birikmesi sonucu meydana gelmektedir. Sanayi devriminden itibaren yeryüzünün ortalama sıcaklığı, artan sera gazları konsantrasyonları sebebiyle sürekli artmakta, dünyanın alışlagelmiş iklim şartlarının değişmesini hızlandırmaktadır. Değişen iklim koşulları doğal çevre ve insan hayatını genelde olumsuz etkilemektedir. İklim değişikliğinden en çok etkilenecek bölgeler arasında yer alan Türkiye’de bu değişimlerin pek çok yıkıcı etkisi hali hazırda yaşanmaktadır. Bununla birlikte gelecekte de bu yıkıcı ya da olumsuz etkilerin şiddetlenerek artması beklenmektedir. Ani ve şiddetli yağışların artması, uzun süren şiddetli kuraklıklar, sıcak hava dalgaları, orman yangınlarının artması yaz döneminde karşılaşılabilecek en önemli iklim değişikliği göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Artan sıcaklıklar ve uzun dönem kuraklıklarla birleştiğinde en önemli olumsuz etkisini orman yangınları üzerinde göstermektedir. Bağlı nemin çok düşük olduğu zamanlarda sıcak hava dalgalarının etkisi altında uzun dönem kuraklık yaşayan bölgelerde yer alan orman alanlarında yangına maruz kalma riski geçmişe nazaran katlanarak artış göstermektedir.

Bu çalışmanın içeriği iklim değişikliği ile orman yangınları arasındaki ilişkinin kavramsal olarak ortaya konulmasından oluşmaktadır. Bu maksatla orman yangınları üzerinde etkili olan ve iklim değişikliği sebebiyle değişen parametreler tek tek ortaya konulup etkileme veya ilişki mekanizması açıklanmaya çalışılmıştır. Ortaya konulan ilişkiler görsellerle de zenginleştirilerek konunun daha anlaşılır olması hedeflenmiştir.

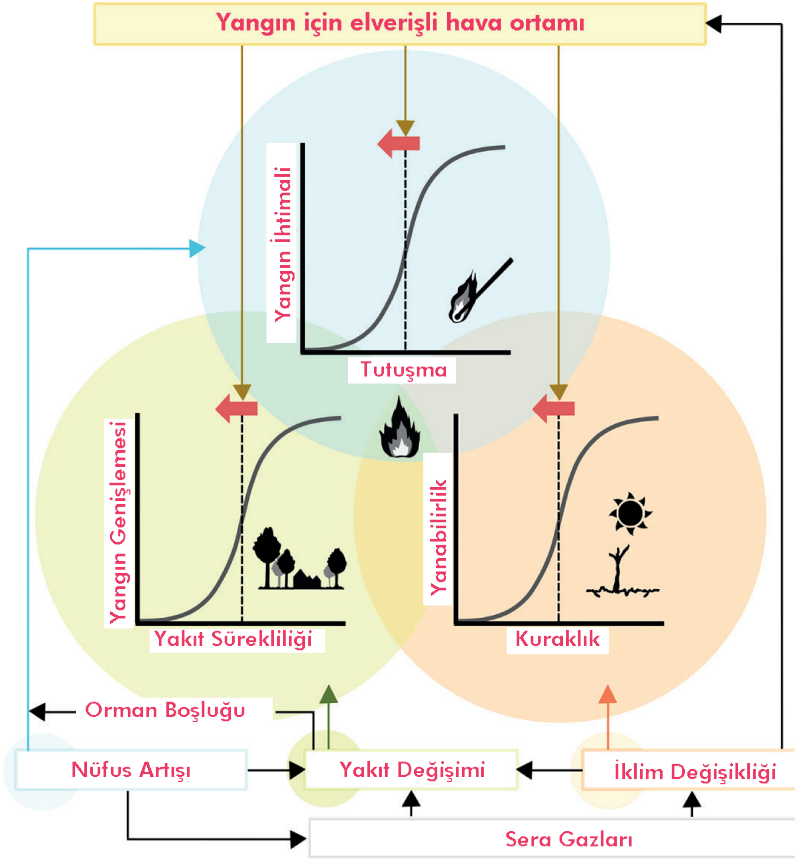
## ORMAN YANGINLARINI TETİKLEYEN İKLİM DEĞİŞKENLERİ

Orman yangınları serbest şekilde yayılmaya müsait orman içerisinde bulunan kuru yanıcı maddeleri ve canlı ağaç ve bitki örtüsünü yakan yangınlar olarak tanımlanabilir (Bilgili vd., 2006). Orman yangınları yanıcı maddenin ve ısı kaynağının varlığı ile hava şartlarının müsait olması sonucu ortaya çıkmaktadır (Ruffault vd., 2020). Orman yangınları ülkemizde genellikle örtü ve tepe yangınları olarak görülse de ülkemizde pek görülmeyen toprak yüzeyi altındaki organik madde ve köklerin yanma-

sı manasına gelen toprak yangınlarından oluşmaktadır. Örtü yangınları nispeten ince dal, yaprak ve otların yanmasıyla başlayıp alevlerin kuvvetlenmesiyle tepe yangınlarına doğru genişleyebilmektedir.

İklim değişikliği ile orman yangınları arasındaki kavramsal ilişki aşağıda verilen Şekil 1’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Buna göre yangın için elverişli hava ortamı oluştuğunda yangın başlama riski tutuşturucu ısı kaynağına bağlı olarak artmaktadır. Kuraklık orman alanlarında bulunan yanıcı maddenin varlığına paralel olacak şekilde tutuşabilirlikle doğrudan ilişkilidir. Kuraklık ne kadar şiddetli olur ve uzun sürerse tutuşabilirlik de o oranda artacaktır. Yanıcı maddenin sürekliliği, orman alanlarında boşluğun bulunmaması yangının genişlemesinde en önemli faktör olarak değerlendirilebilir. Yanıcı madde sürekliliği ne kadar artarsa orman yangınlarının genişleme ihtimali de o oranda artmaktadır. Şekil 1’de gösterilen 3 ana sistemde iklim değişikliği; yangın için elverişli hava ortamı oluşturma ve yakıt değişimi konularında kilit rol oynamaktadır. Kuraklık doğrudan iklim değişikliğiyle açıklanabilirken orman varlığının uzun dönem odunsu bitkilerin ve kısa dönem otsu bitkilerin değişimi de iklim değişikliğiyle açıklanabilir. Örneğin, geçmişte daha sulak ve kuraklık yaşamayan orman alanlarındaki bitki örtüsüyle uzun zamandan beri kuraklığa maruz kalan orman alanlarındaki bitki örtüsü yapısal ve çeşitlilik açısından değişiklik gösterecektir. Yakıt değişimi de doğrudan ormanın boşluklu olmasıyla ve yakıt sürekliliğiyle ilişki içerisindedir. Dolaylı olarak ormanın boşluklu yapısı incelendiğinde yangın ihtimali ile ters orantılı olduğu ortaya çıkmaktadır. İklim değişikliğinin kaynağının da antropojenik olduğundan yola çıkılırsa, nüfus artışı dolaylı olarak orman yangınları ihtimalini artırmaktadır. Daha fazla nüfus doğrudan yangın tutuşma faktörleriyle ilişkilendirilebilir. Bunun yanında orman alanlarının tahribatı söz konusu olduğunda yine artan nüfusun olumsuz etkisinden bahsetmek mümkündür. Dolayısıyla artan nüfus; orman alanlarındaki yakıt değişimini doğrudan etkilemektedir. Artan nüfus sera gazı salınımlarını artırarak çevreye doğrudan zarar vermektedir. Bütün yaşanan küresel iklim değişikliklerinin kaynağı olan sera gazı konsantrasyonlarının artması doğrudan yakıt değişimi ve iklim değişikliğini tetiklemektedir. Şekil 1, bütüncül olarak bakıldığında orman yangınlarının sadece tutuşturucu ile ilişkilendirilemeyeceğini, hatta daha detaya inildiğinde birbiriyle doğrudan ya da dolaylı etkileşim içinde olan pek çok

faktörün bir araya gelmesiyle ortaya çıktığını açıkça göstermektedir. Temelde bahsedilen ve gösterilen bütün faktörler orman yangınlarına maruz kalma riskini artırmakta ya da tam tersi azaltmaktadır. Maruz kalma riskinin artması yangın başlama riskinin aynı zamanda artması anlamına gelmektedir.



Şekil 1. İklim değişikliği ile orman yangınları arasındaki kavramsal ilişki (Pausas & Keeley, 2021).

Yangına maruz kalmayı artıran faktörler bir tarafta tutulursa yangın başlaması için en önemli faktör tutuşturucu ısı kaynağıdır. Tutuşturucu ısı kaynakları dünya genelinde hemen hemen ortak olsa da bazı bölgesel ve iklim şartları tutuşturucu çeşitliliğini de değiştirebilmektedir. Orman Genel Müdürlüğü 2020 istatistiklerine göre 2020 yılında meydana gelen yangınların çıkış sebepleri Şekil 2'de verilmiştir. Bu şekilden de anlaşıla-

çağı üzere orman yangınlarının yaklaşık %75'inin sebebi tam olarak bilinmemektedir. Sebebi açıklanan tutuşturucuların tamamı maruz kalma riski açısından doğrudan iklim değişikliği ile ilişkilendirilebilir. Doğal olarak çıktığı belirlenen yangınlar aslında yıldırım düşmesi sonucu çıkan yangınlar olarak sınıflandırılmaktadır. Orman alanları içerisinde meydana gelen araç kazalarının merkezinde insan faktörü ya da kusuru vardır. Benzer şekilde anız yakılması, piknik için ateş yakılması, çobanların ısınma, pişirme gibi ihtiyaçlarını karşılamak üzere yaktığı ateşler yine insan kusuru olarak değerlendirilebilir. Ancak bu tarz küçük ateşlerin yanıcı madde sürekliliği ve kuruluşuna bağlı hızla genişlemesi ve kontrolden çıkması iklim değişikliğinin dolayalı etkileri olarak değerlendirilmelidir. Çöplüklerden kaynaklanan yangınlar genelde sıcaklıkla birlikte metan sıkışması ya da benzer yanıcı gazların tutuşması perspektifinden bakılırsa yine iklim değişikliği ile ilişkilendirilebilir.

Oran olarak çok düşük de olsa avcılık faaliyetleri de tutuşma faktörleri arasında gösterilmektedir. Çok ince ve kuru olan örtüye denk gelen kurşun ve saçma gibi metal parçalar temas yüzeyinde kıvılcım çıkartma potansiyeline sahiptir. Özellikle sert kaya tabakası veya çakmak taşı gibi oluşumların üzerinde ince kuru örtü bulunuyorsa isabet eden metal kurşun çekirdek veya saçma kıvılcım çıkartıp tutuşma başlatabilir. Ülkemizde sık olarak görülmesi de özellikle Kanada, Avustralya, Kaliforniya (ABD), gibi bölgelerde çok ince "Yaşlı adam sakalı" adı verilen liken türlerinin kuru olduğunda aşırı hızlı tutuşabilir olması yangın risk potansiyelini artırıcı etkiye sahip olduğu söylenebilir. İzmir atılması ve kasti orman yangınları terör faaliyetleri kapsamında değerlendirilirse kaynağının yine doğrudan insan olduğu söylenebilir. Orman alanlarında hizmet veren iş makinalarında meydana gelen kazaların toplam yangın çıkış sebepleri arasında yaklaşık %1'lik bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Son olarak artan hava sıcaklıklarıyla birlikte genleşme ve rüzgâr hızıyla birlikte salınım hareketleri sonucu altlarında bulunan ağaç dallarına çarparak tutuşmaya sebep olan enerji nakil hatları doğrudan iklim değişikliği ile bağlantılı sebepler arasında gösterilebilir. Oran olarak bakıldığında %4 gibi oldukça yüksek bir payda bulunması, enerji nakil hatları altında kalan orman örtüsünün sürekli izlenmesi ve gerekli kesme budama vb. tedbirlerin uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır.








Şekil 2. Orman yangınlarına sebep olan tutuşturucu faktörler ve yıllık payları.

Herhangi bir ortamda ya da doğada ateş yakmak veya yangın çıkarmak için ısı (Ortalama 220-250 °C), yanıcı madde ve oksijen bulunması gerekir. Havanın oksijen muhtevası ile nemliliği, yanıcı maddenin kuruluğu ya da su muhtevası yanma olayını doğrudan etkilemektedir. Örneğin tutuşturucu mevcut olsa bile, tutuşacak yakıt nemliyse ortamın havası soğuk oksijen varlığı az, rüzgâr da yoksa ateşin tutuşması ve yayılması bir hayli zordur. Orman sıklığı, ölü ve kuru madde yoğunluğu, düşük nem oranı ya da yakıtın kuruluğu, hava koşullarının yangına elverişli olmasıyla birleştiğinde en ufak bir kıvılcım ya da tutuşturucu etkisiyle yangın başlayıp hemen büyüebilmektedir (Tablo 1). Bu noktadan bakıldığında iklim değişikliğinin yukarıda sayılan yangının başlaması ve büyümesi için gerekli ortamı hazırlamada ve maruz kalma riskini artırmada etkisi ve rolü vardır. İklim değişikliği sebebiyle ortaya çıkan orman yangınlarının tetiklenme mekanizması uzun süren kuraklık periyotlarıyla birlikte sıcaklık, düşük bağıl nem oranı, yağış ve rüzgâr yön ve hızının kombinasyonuna bağlıdır (Ruffault vd., 2017). Özellikle uzun süren aşırı kurak dönemlerde rüzgarların hızının arttığı ve bağıl nemin de düştüğü zaman aralıkları yangın başlamasına için en elverişli dönemlerdir.



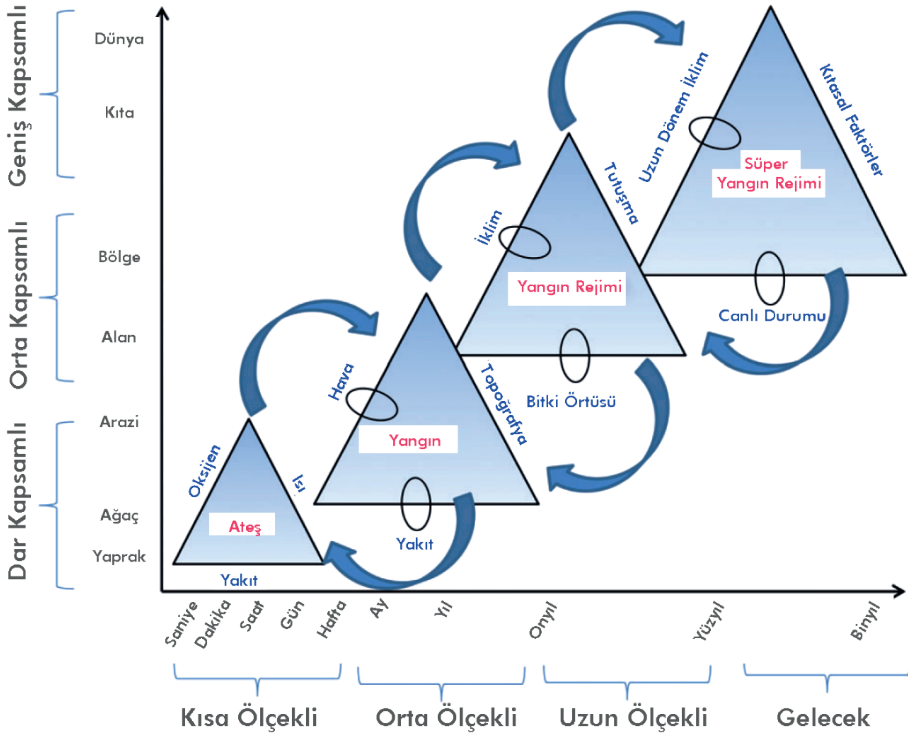
**Tablo 1.** Yangın başlaması için gerekli unsurlar.

Sürekli Sık Yakıt	Kuruluk	Hava Koşulları	Tutuşma
			
Ölü örtü ve bitkiler Canlı bitkiler	Yakıt kuruluğu	Rüzgâr Sıcaklık	Araç kazası Bilinmeyen Anız/Çoban ateşi Çöplük yangını Piknik ateşi Yıldırım düşmesi Avcılık İzmarit Kasıt İş makinası kazası Enerji nakil hatları
Otsu gövdeli bitkiler ve ince dallar	Düşük nem oranı	Bağıl nem	
			

Orman yangınları zaman ve alan değişkenleri açısından ele alındığında yangının büyüklüğü ile baskın faktörleri arasındaki ilişki Şekil 3'te ortaya konulmuştur. Buna göre zaman ölçeğini kısa, orta, uzun ve gelecek olarak sınıflandırmak mümkünken; alan ölçeğini de dar, orta ve geniş kapsamlı olarak gruplandırmak mümkündür. Kısa ölçekli yangınlar dar kapsamlı yangınlar olup saniyelerden başlayıp hafta ölçeğine kadar uzanabilmektedir. Burada meydana gelen yangınlar bir arazi içerisinde bulunan yaprak seviyesinden ağaç seviyesine kadar bitki örtüsünün yanması olarak gösterilebilir. Kapsam nispeten dar olduğu için yangın yerine ateş terimi de kullanılmaktadır.

Ateş alan olarak genişleyip bir bölgede hâkim olmaya başladığında zaman aylar ve yılları kapsayabilmektedir. Bu durumda yangının seyrine topoğrafya, hava koşulları ve yakıt varlığı etki etmektedir. Özellikle bu ölçekte hava şartları ve yakıt sürekliliği ve kuruluğu yangında baskın rol oynamaktadır. Uzun zaman ölçekli yangınlara bakıldığında bir bölgedeki hatta bir kıtadaki genel iklim koşulları, bitki örtüsü ve tutuşma mekanizmaları ön plana çıkmaktadır. Özellikle bu seviyede bitki örtüsü ve iklim koşullarının yangın rejimi içerisinde önemli ve baskın rolleri bulunmaktadır. Uzun yıllar sonra, gelecekte bahsedilecek çok geniş kapsamlı yangınlar kavramsal olarak süper yangın rejimi altında incelenebilecektir. Bu durumda sadece bitkiler değil bütün canlıların varlığı, çeşitliliği ve po-

pülasyon büyüklüğü uzun dönem iklim şartlarıyla birleştirilerek ancak açıklanabilecektir. Ayrıca, kıtasal faktörler (konum, tektonik özellikler, jeoloji, toprak yapısı vb.) özelliklerde süper yangın rejimini tanımlamada kullanılacak etmenlerdir. Süper yangın rejiminin açıklanmasında ve tanımlanmasında yine baskın olacak faktörler arasında uzun dönem iklim koşulları gelmektedir. Günümüzde yıllarca süren orman yangınları pek görülmezken aylarca söndürülemeyen çok geniş çaplı yangınların görülme sıklığı artmış vaziyettedir. Avustralya ve Amazon yangınları güncel uzun süreli yangınlara örnek gösterilebilir.



Şekil 3. Orman yangınlarının zaman ve alan ilişkisi (Harris vd., 2016).

Yangın başladıktan sonra çevreyle ve atmosferle olan ilişkisi incelendiğinde ayrıca bir çevrim başlamaktadır. Büyük yangınlar ve volkanik aktiviteler sonucu oluşan pyrokümülonimbus bulutları hızlı bir şekilde yükselirken soğumasıyla ve yeterince su buharı seviyesine ulaştıklarında ani şiddetli fırtına ve bölgesel (mevzi) yağış oluşturabilmektedir (Fromm vd., 2010). Küçük bir alanda bile şiddetli yağışın alansal dağılımı çok farklılık

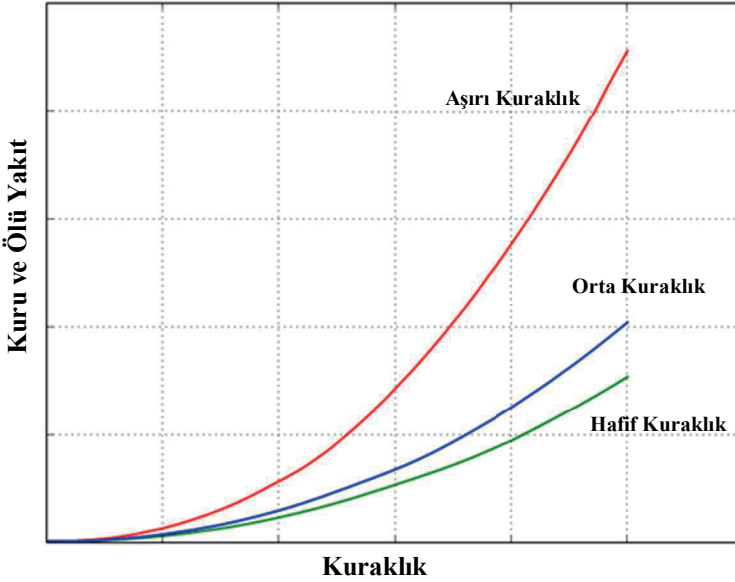
göstermektedir. Doğal olarak yağışın düştüğü bölgeye yıldırım düşse bile yangın çıkarma ihtimali zayıf olabilirken, tam tersine yakın bölgede bulunan yağış düşmemiş ya da çok az düşmüş bölgeye yıldırım düşmesi yangın çıkarma riskini artırmaktadır (Bott & Fastenrath, 2020). Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, orman yangını kaynaklı bulut oluşum mekanizmasının engebeli arazilerden meydana gelmiş ormanlık alanlarda daha sık tetiklendiği gözlemlenmiştir (Di Virgilio vd., 2019). İklim değişikliği sebebiyle dünya genelinde ortalama yıldırım görülme sıklığı her 10 °C sıcaklık artışına bağlı en az %10 artacağı yönünde tahmin edilmektedir (Harris vd., 2016).

Stratosferdeki kararsız hava değişimleri ve havanın kuruluğu orman yangınlarını etkileyebilmektedir. Hava, iklim ve çevre koşulların orman yangınları üzerindeki etkilerini belirlemek için indislerden faydalanılmaktadır. Orman yangınlarının modelleme çalışmalarında literatürde pek çok indis kullanılmaktadır. Bu kararsızlığı modelleyebilmek için bölgesel değişimleri de hesaba katan en önemli indislerden birisi sürekli Haines indisidir (Mills & McCaw, 2010). Yüksek indis değerlerinin daha sık olduğu bölgelerde, orijinal Haines indisine nazaran sürekli Haines indisini daha başarılı sonuçlar vermektedir (Di Virgilio vd., 2019). Orman alanlarının yüzeyindeki hava koşullarını (yüzeydeki hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yağış) da modelleyebilmek için orman yangını tehlike indisini (OYTI) (Noble, Bary, & Gill, 1980) yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal olarak iklim değişikliği ile sıcaklıkların artması, yağışların ve bağıl nemin azalması OYTI'yi artırıcı etkiye sahiptir. Rüzgâr hızlarının kararsızlığı, sıcaklık ve yağış kadar iklim değişikliğiyle birlikte açıklanamamaktadır.

## **Kuraklık**

İklim değişikliğinin en bariz etkilerinden birisi kuraklıktır. Genel olarak kuraklık uzun dönem su kıtlığı olarak tarif edilebilen bir iklim olayıdır (Dabanlı, Mishra, & Şen, 2017). Kuraklık öncelikle meteorolojik olarak yağışların çok az olması veya hiç olmamasıyla başlamakta, toprak nemindeki azalışla beraber terleme ve buharlaşmayla bitkilerden su kayıplarının da artmasıyla tarımsal kuraklık olarak devam etmekte ve en nihayetinde yer altı ve yer üstü su kaynaklarının azalması yönünde etkileriyle birlikte hidrolojik kuraklık olarak nihayetlenmektedir (Dabanlı, 2018). Kuraklık özellikle tarımsal etkiler göstermeye başladığında zemin nemindeki azalış doğrudan ormanları da etkileyebilmektedir. Sıcaklık-

ların yaz döneminde artmasıyla bitkilerin buharlaşma ve terlemeyle su kaybetmesi, bitki köklerinin zemin nemi azlığından dolayı ihtiyaç duyulan suya erişememesi, otsu bitkilerin ve hatta ağaçların da kurummasına sebebiyet verebilmektedir. Özellikle otsu bitkilerin kuruyarak orman alanları içerisindeki ölü yakıt stokunu artırması, kuru dal ve yaprakların birikmesi; yangın maruz kalma riskini artırmaktadır. Dolayısıyla kuraklık ne kadar uzun sürerse orman alanlarında birikecek kuru yakıt miktarı o nispette artmaktadır. Teorik olarak kuraklık türleri ve ölü kuru yakıt oranındaki ilişki aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 4). Doğal olarak hafif kuraklık yaşanan bir orman bölgesinde biriken ölü örtü miktarı sırasıyla orta ve aşırı kuraklık zamanlarında biriken ölü örtü miktarlarından daha az olmaktadır. Ancak burada kuraklığın şiddetiyle biriken ölü örtü miktarı arasındaki ilişki doğrusal değildir. Aşırı kurak zamanlarda bitkilerin su kaybı çok fazla olacağından gerek yaprakları gerekse de ince dalları kuruyarak ölü örtü miktarını hızlı bir şekilde artırmaktadır.



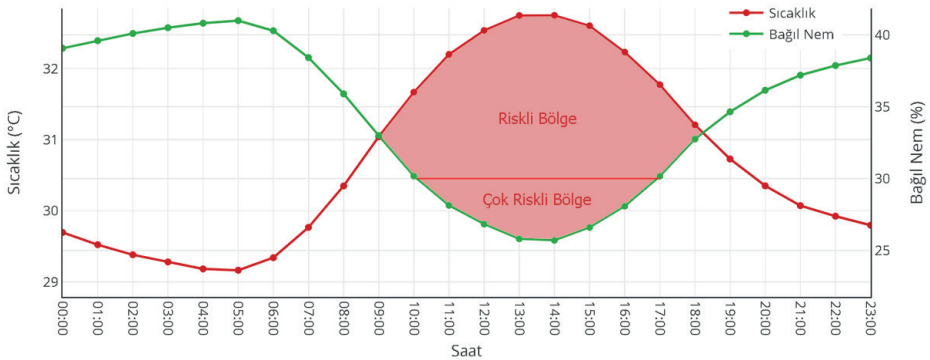
Şekil 4. Kuraklık ile orman alanlarında biriken kuru ve ölü yakıt miktarı ilişkisi.

Sadece kuru ve ölü yakıt miktarı değil aynı zamanda yeşil veya canlı örtü de kuraklıkla doğrudan ilişkilidir. Kuraklık dönemlerinde, yeşil dal ve yapraklardan su kaybı arttığından yeşil yaprakların ve dalların da tutuşma sıcaklığı düşmektedir. Yangın başladıktan sonra kuru olan

yakıtlar tamamen hızlı bir şekilde yanarken, aynı zamanda yeşil dal ve yapraklarda hızla su kaybederek yanmaktadır. Kuraklık boyunca yaprak ve gövdeler özellikle ince dallar yeşil olarak görünse de terleme yoluyla çok su kaybettiklerinden yangına dayanma mukavemetleri düşmektedir. Dolayısıyla kuraklık yeşil örtünün de daha çabuk tutuşmasını ve yanmasını tetikleyici etki göstermektedir.

## Sıcaklık

Dünyanın ortalama sıcaklığının artması ve bu artışın bölgesel faktörlerle de desteklenip daha da şiddetlenmesiyle iklim değişimi etkisi en bariz sıcaklıklar üzerinde görülmektedir. Sıcaklık buharlaşmayı artırdığı için yanıcı maddelerin ve ortamın kurummasına ve nem oranının düşmesine sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklıklar aynı zamanda yanıcı maddelerin tutuşması için gereken ısı miktarını da azaltacağı için, sıcak havalarda orman yangınları daha kolay çıkabilmekte ve yayılmaktadır. Sıcaklık ve bağıl nem birlikte değerlendirildiğinde ortalama olarak Türkiye’de yangın çıkma riskinin daha yüksek olduğu saatler ortalama sabah 9:00-18:00 aralarında olduğu Şekil 5’te sunulmuştur. Hava sıcaklığı ile bağıl nemin birlikte değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan eğriler arasında kalan alan yangın riski açısından “Riskli Bölge” olarak tanımlanabilir. Bağıl nemin yangın riski açısından ortalama sınır değer kabul edilen %30’luk bölgesi bu alandan ayrıldığında “Çok Riskli Bölge” yangın başlama ve genişleme açısından 10:00-17:00 saatleri arasının en kritik saatler olduğu, hatta daha da derine inilirse öğle 12:00-15:00 saatleri arasının en kritik zaman dilimi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Yangın riski yüksek saat aralıkları ile sıcaklık ve bağıl nem ilişkisi.

## Yağış

İklim değişikliğinin sıcaklıkla birlikte en çok etki ettiği faktörlerden birisi de yağıştır. Yağış yağmur, kar ve dolu olarak oluşsa da genelde yağış denildiğinde yağmur kastedilmekte ya da anlaşılmaktadır. Yağışların aylık ölçekte azalması ve yağış anomalisinin artması tipik iklim değişikliği çıktısı olarak özellikle iç ve güney bölgelerde görülmektedir. Şiddetli yağış sıklığının artması beraberinde taşkın ve selleri getirirken yılın uzun bir döneminde yağışların ortalama değerler altında kalması hem kuraklığı hem de bağıl nemi doğrudan etkilemektedir. Şiddetli yağışlar esnasında meydana gelen yıldırım düşmesi sonucu orman yangınlarının görülme sıklığı yağışın sadece kuraklık ve bağıl nem ile açıklanamayacağına bir göstergesidir. Büyük yangınlar sonucu oluşan pyrokümlonimbus bulutlarının hızla soğuk hava cephesiyle karşılaşarak şiddetli yağış olarak yıldırımlarla geri dönmesi de yağış-orman yangını ilişkisinin de önemli bir boyut olarak değerlendirilmektedir.

Normal koşullarda yağış miktarı ne kadar fazla olursa orman yangınının başlama ve genişleme ihtimali o derece azdır. Yağış miktarının fazla olması bağıl nemi ve yakıtların nem muhtevasını artırıcı etki yapacağından kolay tutuşma gerçekleşmemektedir. Karadeniz bölgesinde orman yangınlarının daha az görülme sebeplerinin başında yağış miktarının fazla olması ile ortamın hem bağıl nemi hem ölü yakıt stokunun azlığı ve yakıtların nem oranının yüksek oluşu gelmektedir. İklim değişikliğinin çok bariz görünmeyen etkilerinin birisi de kar örtüsü kalınlığının azalması ve kar sınırının artmasıdır. Kış aylarında daha az kar yağması yeraltı sularının beslenmesiyle doğrudan ilişkilidir. Şiddetli yağışlar sonrası yeryüzüne düşen suyun büyük bir kısmı yüzeysel akış olarak denizlere ve göllere akıp giderken; kar erimesi sonucu dönüşen suyun büyük bir kısmı yeraltı sularını beslemektedir. Çünkü genelde zeminin sızma indisi, karın erime hızından daha büyüktür. Eğer zemin %100 doygunluğa ulaşmamışsa, eriyen suların büyük bölümü zemin altı akışına ve yeraltı akışına geçer. Kar örtüsünün azalması yeraltı suyu seviyesinin diğer insan faktörlerinin de katkısıyla daha da düşmesine sebep olmaktadır. Bu durumda bitkilerin kökleri yeterince suya erişemediğinden yapraklardaki nem oranı azalabilmekte ve ağaçların gövde, dal ve yapraklarının kurumasıyla ölü örtü miktarı artabilmektedir. Dolayısıyla sadece yağmurun azalması değil aynı zamanda kar örtüsü kalınlığının da azalması, orman yangınlarına maruz kalma riski bakımından önemli bir role sahiptir.

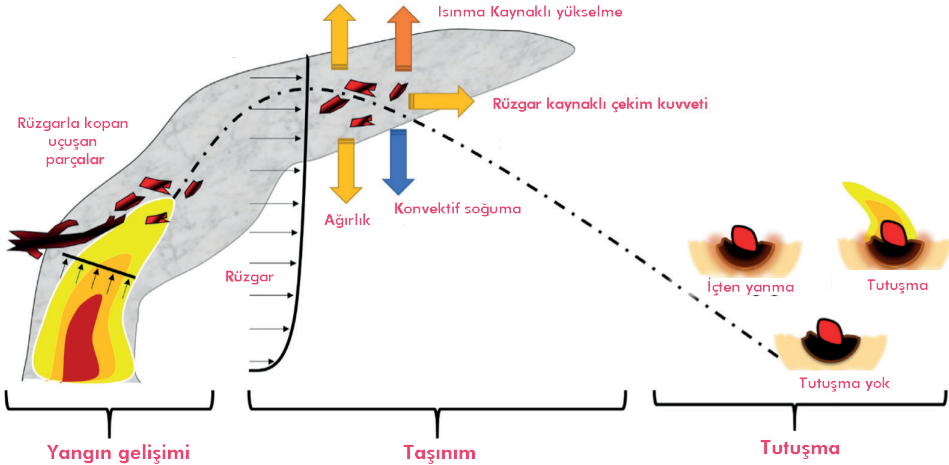
## Bağıl Nem

İklim değişikliği etkisiyle artan sıcaklıklar ve sıcak hava dalgaları yağışların da azalmasıyla birlikte kendisini bağıl nemim üzerinde hissedilir derece de göstermektedir. Ortamın bağıl nemi yangının başlamasında ve ilerlemesinde birincil etkiye sahip unsurlardandır (Boer vd., 2017). Doğal olarak bağıl nem arttıkça yangının başlaması ve ilerlemesi yavaşlamaktadır. Bununla birlikte yanıcı maddelerin özellikle ölü örtünün nemliliği yangının ilerlemesini doğrudan etkilemektedir. İğne yapraklı ağaçlardan oluşan ormanların altında bulunan ölü örtünün hava ile teması yapraklı ormanların altında bulunan ölü örtüye nispetle az olduğundan nem oranının fazla olması yangının ilerleyiş hızını etkilemektedir (Bilgili vd., 2006). Genellikle yangının başlayıp gelişebilmesi için %30'lık nem oranı sınır değer olarak görülmektedir (Bilgili, 2003). Her ne kadar bu sınır değer rijit bir sınır oluşturmaya da daha düşük bağıl nem oranları yangına maruz kalma riskini daha da artırmaktadır. Ormanlarda canlı yaprakların nem içeriği genelde ilkbahar aylarında tomurcuk patlamasından önce minimum seviyede olması tepe yangınlarının risklerini artırıcı etkiye sahip olmasına rağmen bu mevsimlerdeki bağıl nemin yüksekliği yangın başlamasını ve yayılmasını zorlaştırıcı etkiye sahiptir (Stocks vd., 1989). Yangın riskinin bağıl nem ile ilişkisini sıcaklık parametresiyle de ilişkilendirilerek verilmesi teorik olarak daha doğru olacağından bu ilişki Şekil 5'te verilmiştir. Türkiye'de genelde bağıl nem yaz aylarında güneşin doğmasıyla azalmaya başlayarak öğleden sonra da yavaş yavaş tekrar artma eğilimi göstermektedir. Ortalama olarak sabah 10:00-17:00 saatleri arası bağıl nemin hava sıcaklığına bağlı olarak düşük olduğu zaman aralıklarıdır. Yangın başlama ve gelişme riski bu saatlerde artmaktadır.

## Rüzgâr

Rüzgâr, yangının genişlemesi ve yayılması bakımından en önemli faktördür. Yangının yayılması doğrudan rüzgâr yönü ve hızına bağlıdır. Isı transferi yollarından konveksiyon yoluyla ısının iletimi orman yangınlarının yayılmasında ana faktördür. Isınan ortam ile birlikte yükselen gazların etkisiyle orman yangınların şiddeti artmaktadır. Ayrıca köz haline gelmiş ısı kaynaklarının uzun mesafelere taşınımı da konveksiyon etkisiyle meydana gelmektedir (Şekil 6). Özellikle yamaçlarda aşağıdan yukarıya doğru ya da tabandan ağaçların tepesine doğru konveksiyonla yayılım tepe yangınlarının başlamasında etkilidir. Fırtına etkisiyle yangın bölgesindeki közlerin

uzak alanlara taşınarak noktasal yangınların başlatmasında rüzgârın etkisi büyüktür. Aşağıdaki şekilde de açıkça görüldüğü üzere yangın gelişirken rüzgâr vasıtasıyla bazı parçalar kopmakta ve havada uçmaya başlamaktadır. Artan rüzgâr hızıyla birlikte uçuşan parçalar taşınım safhasına geçmekte ve yangından metrelerce uzağa taşınarak kendi ağırlıkları etkisiyle zemine veya orman örtüsü üzerine düşmektedirler. Uçuşan bu köz ya da parçalar eğer ince yapraklı kuru otlar üzerine düşerse çok hızlı bir şekilde o noktada noktasal tutuşma başlayabilmektedir. Her düşen köz parçacığı noktasal yangın başlatma kabiliyetinde olmayabilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere bazıları da içten yanarak alev almamakta sadece duman çıkarmaktadır. Eğer etrafında yetirince kuru yanıcı madde yoksa kendi kendine bu köz parçaları sönmektedir. Bir kısmı da hiç tutuşma sağlayacak enerji taşımadan zemine düşmektedir. Halk arasında kozalak patlaması olarak anılan bu noktasal yangınların kaynağı aslında rüzgarla birlikte taşınan köz parçacıklarıdır. Normalde kozalakların yanma esnasında patlayıp metrelerce uzağa taşınma özelliği yoktur. Yangının büyüklüğüne bağlı olarak oluşan alev yüksekliği, ısı girdabı bu tür parçacıkların yangınla hiç ilgisi olmayan bölgelere düşerek yeni tutuşmalar başlatma açısından önem arz etmektedir. Bu yüzden rüzgâr-lı havalarda yangının genişlemesini önlemek güçleşmektedir.



**Şekil 6.** Yangının gelişim, taşınım ve uçuşan köz parçalarının noktasal yangın başlatma mekanizması (Manzello vd., 2020).

İklim değişikliğinin rüzgâr hızı ve yönleri üzerindeki etkisinin bariz baskın bir tanımı yapılamamaktadır. Rüzgâr bölgesel koşullarla birlikte



sıcaklık ve genel atmosferik döngüye bağlı gerçekleşmektedir. Atmosferik döngü içerisinde yer alan kutup çevrimleri, Hadley çevrimleri, ticaret rüzgarları iklim değişikliğinden etkilenmektedir. Ancak bunların yerel ölçekte hissedilir ve baskın bir şekilde büründüğü net olarak görülememektedir. Örneğin küresel ısınma sonucu Hadley çevrimlerinin çapının genişlemesi, Ekvator bölgesinden orta enlemlere doğru daha sıcak ve kuru havanın taşınmasını sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, kuraklık ve sıcaklık üzerinde genel sirkülasyonların etkisi açıklanabilmektedir. Orman yangınlarında ise ölçek küreselden ziyade yerel rüzgâr ve topoğrafik şartlara bağlıdır.

## SONUÇ

İklim değişikliği yangın tutuşmasından, genişlemesine ve söndürülmesine kadar tüm safhaları etkilemektedir. Doğrudan iklim değişikliği nedeniyle orman yangınları çıkmamaktadır. İklim değişikliğinin rolü, yangına maruz kalma riskini artırmakla daha net açıklanabilmektedir. Sıcaklıkların artmasıyla birlikte yağışların azalması kuraklıkla neticeleşen süreçleri başlatmaktadır. Uzun ve şiddetli kuraklık dönemleri, düşük bağıl nem ve rüzgâr orman yangınları riskini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca ormanların gelişimi, ölü örtü varlığı, yakıt sürekliliği ve yakıtların nemliliği de iklimsel değişimlerle izah edilebilmektedir. İklim değişikliği ile orman yangınları arasındaki ilişki geçmiş verilere dayalı istatistiki olarak ortaya konulabilirken, gelecekte meydana gelecek orman yangınlarının modellenmesi ise yukarıda geniş şekilde izah edilen orman yangınlarına etki eden iklimsel parametrelerin gelecek projeksiyonları yapılarak kavramsal yaklaşımlar kurmak suretiyle ortaya konulabilir. Özet olarak söylemek gerekirse küresel ısınma ne kadar çok artarsa orman alanlarında ölü ve kuru örtü o nispette artacak ve tutuşabilirlik de daha kolaylaşarak orman yangını riski artacaktır.

## KAYNAKÇA / REFERENCES

- Bilgili, E. (2003). Stand development and fire behavior. *Forest Ecology and Management*, 179(1-3), 333-339. doi:10.1016/S0378-1127(02)00550-9
- Bilgili, E., Durmaz, B. D., Sağlam, B., Kucuk, O., & Baysal, I. (2006). Fire behaviour in immature calabrian pine plantations. *Forest Ecology and Management*, 234, S112. doi:10.1016/j.foreco.2006.08.148

- Boer, M.M., Nolan, R.H., Resco De Dios, V., Clarke, H., Price, O.F., & Bradstock, R.A. (2017). Changing weather extremes call for early warning of potential for catastrophic fire. *Earth's Future*, 5(12), 1196-1202. doi:10.1002/2017EF000657
- Bott, L.-M., & Fastenrath, S. (2020). Australian bushfires: Current trends, causes, and social-ecological impacts. *Zeitschrift Für Australienstudien/Australian Studies Journal*, 127-136. doi:10.35515/zfa/asj.3334/201920.07
- Dabanlı, İ., Mishra, A.K., & Şen, Z. (2017). Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey. *Journal of Hydrology*, 552, 779-792. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.07.038
- Dabanlı, I. (2018). Drought hazard, vulnerability, and risk assessment in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 538. doi:10.1007/s12517-018-3867-x
- Di Virgilio, G., Evans, J.P., Blake, S.A.P., Armstrong, M., Dowdy, A.J., Sharples, J., & McRae, R. (2019). Climate change increases the potential for extreme wildfires. *Geophysical Research Letters*, 46, 8517-8526. doi:10.1029/2019GL083699
- Fromm, M., Lindsey, D.T., Servranckx, R., Yue, G., Trickl, T., Sica, R., ... Godin-Beekmann, S. (2010). The untold story of pyrocumulonimbus. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(9), 1193-1209. doi:10.1175/2010BAMS3004.1
- Harris, R.M.B., Remenyi, T.A., Williamson, G.J., Bindoff, N.L., & Bowman, D.M.J.S. (2016). Climate-vegetation-fire interactions and feedbacks: Trivial detail or major barrier to projecting the future of the Earth system? *WIREs Climate Change*, 7, 910-931. doi:10.1002/wcc.428
- Manzello, S.L., Suzuki, S., Gollner, M.J., & Fernandez-Pello, A.C. (2020). Role of firebrand combustion in large outdoor fire spread. *Progress in Energy and Combustion Science*, 76, 100801. doi:10.1016/j.pecs.2019.100801
- Mills, G.A., & McCaw, L. (2010). Atmospheric stability environments and fire weather in Australia-Extending the Haines Index. Australia: Australian Government, Bureau of Meteorology.
- Noble, I.R., Bary, G.A.V., & Gill, A.M. (1980). McArthur fire danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology*, 5(2), 201-203. doi:10.1111/j.1442-9993.1980.tb01243.x
- Pausas, J.G., & Keeley, J.E. (2021). Wildfires and global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19(7), 387-395. doi:10.1002/fee.2359
- 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. doi:10.1002/joc.4680
- Ruffault, J., Curt, T., Moron, V., Trigo, R.M., Mouillot, F., Koutsias, N., ... & Belhadj-Khedher, C. (2020). Increased likelihood of heat-induced large wildfires in the Mediterranean Basin. *Scientific Reports*, 10(1), 13790. doi:10.1038/s41598-020-70069-z
- Stocks, B.J., Lynham, T.J., Lawson, B.D., Alexander, M.E., Wagner, C.E.V., McAlpine, R.S., & Dubé, D.E. (1989). Canadian forest fire danger rating system: An overview. *The Forestry Chronicle*, 65(4), 258-265. doi:10.5558/tfc65258-4