



## Anadolu Karaçam (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) meşcerelerinde kontrollü yakma uygulamalarının bazı ölü örtü, kül ve toprak özellikleri üzerine etkileri

Ayşegül Gözde Tiryaki Güngör\*<sup>1</sup> , Mehmet Küçük<sup>2</sup> , Ertuğrul Bilgili<sup>3</sup> , Ömer Küçük<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Araç Rafet Vergili Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 37800, Kastamonu

<sup>2</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, 08000, Artvin

<sup>3</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, 61000, Trabzon

<sup>4</sup>Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, 37000, Kastamonu


### MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 02/10/2023

Kabul Tarihi: 20/12/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1383034>

\* Sorumlu yazar:

 atiryaki@kastamonu.edu.tr

### ÖZ

Orman yangınlarının birçok çalışmada olumsuz etki gösterdiği ifade edilse de kontrollü yakma uygulamalarının hem yangınlarla mücadelede hem de ekolojik bir araç olarak kullanıldığını ifade eden birçok çalışma mevcuttur. Özellikle ayrışmanın yavaş olduğu ekosistemlerde, örtü yangını uygulamaları yapılarak bu konunun olumlu tarafları olduğu gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında karaçam meşcerelerinde kontrollü yakma uygulamalarının bazı toprak özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında karaçam alanlarından 10x10 m büyüklüğünde 9 örnekleme noktasından ibre, humus ve toprak örnekleme yapılmıştır. Kontrollü yakma uygulaması yapıldıktan sonra aynı alanlardan yangın şiddetine göre düşük, orta ve yüksek şiddetli olan yerlerden kül ve toprak örnekleme yapılmıştır. Toprak reaksiyonu (pH), Elektriksel iletkenlik (EC), karbon (C), azot (N) ve karbon/azot oranı (C/N) analizleri ibre, humus, kül ve toprak örneklerinde yapılırken, tekstür, kireç ve agregat stabilitesi analizleri ise sadece toprak örneklerinde yapılmıştır. Çalışma sonucunda, ölü örtü, humus ve kül örnekleri üzerinde yapılan analizler bakımından kontrollü yakma uygulamasının farklılığın önemli düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Genel itibari ile kül örneklerinde pH, EC değerlerinde artma, karbon ve azot değerlerinde ise bir azalma söz konusudur. Toprak örneklerinde ise kum, pH ve azot değerlerinde artma diğer özelliklerde ise anlamlı bir azalma görülmüştür. Çalışma sonucu verilerine göre hem ölü örtünün ortamdaki uzaklaşması hem de ölü örtünün yakma sonucunda kül olarak toprağa besin maddesi kazandırması gibi özellikler düşünüldüğünde kontrollü yakma uygulamalarının bir yönetim aracı olarak önemli bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir.

### Araştırma Makalesi

**Anahtar Kelimeler:** Yangın, yangın şiddeti, karbon, azot

## Determination of the effects of prescribed burning applications on some soil properties in Anatolian Black pine (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) stand

### ABSTRACT

Although many studies show that forest fires have negative effects, there are also many studies that show that prescribed burning is used both for fire management and as an ecological tool. Especially in ecosystems where decomposition is slow, the use of prescribed burns has been shown to have positive aspects. In this study, the effects of prescribed burning practices on some soil properties were investigated in Anatolian black pine stands. Within the scope of this study, needle, humus and soil samples were taken from black pine stands at 9 sampling points, each 10x10 m, before the fire. After prescribed burning, ash and soil samples were taken from the same areas at low, medium and high burn severity. While soil reaction (pH), electrical conductivity (EC), carbon (C), nitrogen (N) and carbon/nitrogen ratio (C/N) were analyzed on needle, humus, ash and soil samples, texture, lime and aggregate stability were analyzed on soil samples. Only soil samples were analyzed. As a result of the study, it was found that the difference in the application of prescribed burning was significant in terms of the analyses carried out on the litter, humus and ash samples. In general, there was an increase in pH and EC and a decrease in carbon and nitrogen in the ash samples. In the soil samples, an increase in sand, pH and nitrogen values and a significant decrease in other properties were observed. According to the result of the study, it can be said that prescribed burning practices have an important potential as a management tool, considering the features such as the removal of litter from the environment and the provision of nutrients to the soil as ash as a result of burning.

**Key Words:** Fire, fire severity, carbon, nitrogen

Bu makaleye atf:

Tiryaki Güngör, A.G., Küçük, M., Bilgili, E., Küçük, Ö., 2023. Anadolu Karaçam (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) meşcerelerinde kontrollü yakma uygulamalarının bazı ölü örtü, kül ve toprak özellikleri üzerine etkileri. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(2), 82-89.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

## 1. Giriş

Yangınlar ekosistemler içinde meydana gelen doğal bir süreçtir (Pereira ve ark., 2014). Orman yangınları birçok orman ekosisteminde önemli ekolojik etkilere sahiptir (Neary ve ark., 2005; Buhk ve ark., 2007; Alcañiz ve ark., 2016). Araştırmacılar Cerdà ve Mataix-Solera (2009), sıcaklığın ve kuraklığın artması, nemin azalması gibi yangınların oluşması ve yayılması için ideal koşulları sağlaması nedeniyle orman yangınlarının Akdeniz iklimine sahip bölgeler için özellikle ciddi bir sorun olduğunu ifade etmişlerdir. Yangınların ekosistem üzerindeki etkileri bitki örtüsü türüne, topografyaya, toprak tipine ve nem içeriğine, yangının yoğunluğuna, şiddetine ve yangın sonrası meteorolojik koşullara bağlıdır (Certini, 2005).

Kontrollü yakma, belirlenmiş hedeflere ulaşmak için yangının planlı kullanımı olarak tanımlanmış olup, doğal yangınlara göre daha uygun ve daha az riskli bir yaklaşımı temsil etmektedir (Outeiro ve ark., 2008). Başlangıçta bu uygulama çiftlik arazilerini ve avlanma alanlarını yenilemek için kullanılmıştır (Cerdà ve Mataix-Solera, 2009). Günümüzde yangın riskini azaltmak, yaban hayatı habitatının bakımını sağlamak, yanıcı madde miktarını yöneterek yangın rejimlerini kontrol etmek ve gençleştirme, rehabilitasyon gibi arazi yönetimi uygulamaları sırasında üretilen biyokütleyi ortadan kaldırmak için kontrollü yakma kullanılmaktadır (Alcañiz ve ark., 2016). Bitkilerin yenilenmesi, habitatların iyileştirilmesi, eğlence amaçlı kullanımların teşvik edilmesi ve hayvan otlatmanın artırılması, kontrollü yangınların olumlu etkilerinden bazılarıdır (Afif and Oliveira, 2006; Fonseca ve ark., 2011; Fontúrbel ve ark., 2016; Francos ve ark., 2016). Ancak yangın toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin çoğunu etkileyebilir (Certini, 2005; Mataix-Solera ve ark., 2012). Yangının oluşum şiddeti genellikle yangın sonrası süreçte ortaya çıkan önemli bir faktördür (González-Pérez ve ark., 2004; Mataix-Solera ve ark., 2009). Bu nedenle kontrollü yakma uygun sıcaklık, toprak ile yanıcı madde nemi koşulları altında gerçekleştirilir ve topografyanın uygun olduğu durumlarda (Molina, 2009), toprakta düşük etki sağlar (Vega ve ark., 2005). Bu bağlamda Vélez (2000) 30-30-30 temel kuralını önermiştir; bu kural %30 altındaki bağıl nem, 30 kmh<sup>-1</sup>'den yüksek rüzgâr hızı ve 30°C'nin üzerindeki sıcaklıkların yangının artmasını kolaylaştırdığı anlamına gelir.

Kontrollü yakmaların toprak üzerindeki etkileri, bölgelere göre (Guinto ve ark., 2001; Aroncena ve Opio, 2003; Bennett ve ark., 2014) değişmektedir. Normalde, pH değerlerini değiştirmeyen yangın olayları, periyodik olarak (2 yılda bir veya daha fazla) uygulanan düşük yoğunluk ve şiddette kontrol yangınları olduğu belirtilmektedir (Alcañiz vd., 2018). Yine kontrollü yakma sonrası hem EC (elektriksel iletkenlik) hem de besin alınabilirliği artış göstermektedir (Granged ve ark., 2011; Scharenbroch ve ark., 2012). Ayrıca kısa ve uzun vadede külün

toprağa karışması ile toprak bitki besin maddesi dinamiklerinde değişimler gerçekleşir (Úbeda ve ark., 2005; Brye, 2006; Outeiro ve ark., 2008; Scharenbroch ve ark., 2012). Kontrollü yakmaların toprak üzerindeki olası etkileri, yangından önce bitki örtüsü altındaki toprakların daha yüksek düzeyde toprak organik karbonuna (TOK) daha fazla agregat stabilitesine ve bazı durumlarda daha büyük agregatlara sahip olduğunu göstermiştir (O'Dea, 2007; Are ve ark., 2009). Topraktaki organik karbon miktarında, yanıcı maddenin düşük düzeyde yanması nedeniyle, düşük şiddetteki bir yangının ardından artan bir artış olduğu rapor edilmiştir (Knicker, 2007; Mataix-Solera ve ark., 2012). Ancak diğerleri, önceden belirlenmiş bir yangının ardından toprak organik karbonunda azalma olduğunu göstermiştir (Armas-Herrera ve ark., 2016).

Şiddetli kontrol edilemeyen yangınları önlemek ve kontrolsüz yangın sıklığını azaltmak için kontrollü yakmalar kullanılabilirliğinden, farklı ortamlarda kontrollü yakmaların kullanımı ve etkilerinin anlaşılmasını artırmak için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Hubbert ve ark., 2006). Kontrollü yakmaların toprak özellikleri üzerindeki uzun dönem etkilerinin belirlenmesi konusunda az çalışma yapılmıştır (Alcañiz ve ark., 2016).

Bu çalışma, Kastamonu bölgesinde karaçamın yoğun olarak var olduğu, yangın çıkma riskinin sık olduğu yerdeki deneme alanında yürütülmüştür. Kontrollü yakma uygulaması yangın mevsimi dışında düşük şiddetli örtü yangını olarak yapılmıştır. Bu çalışmada orman alanındaki ölü örtü, kül ve toprak özellikleri üzerinde yangın etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma ilk aşamada yangından hemen sonrası için yapılmıştır. Sonuçlar, karaçam özelinde orman yangınları sonucunda ortaya çıkan kısa dönem etkilerindeki riskleri ve olası yangın sonrası yapılabilecek müdahaleleri ortaya koymak karaçam ormanlarında ormancılık uygulamalarının iyileştirilmesinde önemli katkılar sunacaktır. Çalışma hipotezi olarak 2 ana başlık verilmiştir.

- Orman yangınlarının, toprak üstü kısmın yanması ile birlikte toprak özelliklerinde önemli değişiklikler sağlar.
- Toprak üstü ölü örtü kısmı ortamdaki uzaklaştırılarak tohumun toprakla buluşması sağlanır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Araştırma alanının tanıtımı

Bu çalışma Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Araç Orman İşletme Müdürlüğü Şerifebacı Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde 59 no'lu bölmede (Çkcd3) Anadolu karaçam (*Pinus nigra ssp. pallasiana*) meşceresinde kontrollü yakma uygulaması (örtü yangını) şeklinde yapılmıştır. Çalışma alanı doğu bakıda, 1214 m yükseltide, %20 eğime sahiptir ve 33°25'32.12" doğu boylamları ve 41°19'26.56" kuzey enlemleri arasında yer almaktadır.



Şekil 1. Kontrollü yakma uygulamasının öncesi-yakma anı-sonrası

## 2.2 Yakma uygulamasının gerçekleştirilmesi

Çalışmada kontrollü yakma uygulamasının yapılacağı alan önceden belirlenmiştir ve örtü yangını olarak gerçekleştirilmiştir. Bu alanın üzerinde yakma uygulaması yapılmadan önce ve kontrollü yakma uygulaması yapıldıktan bir gün sonra olmak üzere iki ayrı örnekleme yapılmıştır. Örneklemede özellikle alanlar seçilirken toprak üzerindeki yanan ölü örtünün yanma durumu dikkate alınmıştır. Yangın şiddetini temsil eden kül rengine göre düşük (kömürleşmiş siyah), orta (yanmış siyah) ve yüksek şiddetli (yanmış beyaz) olmak üzere yanan alanlardan örnekleme yapılmıştır (Ryan, 2002). 1 hektarlık yakma çalışması yapılan örnekleme alanını tamamını temsil etmesi açısından 9 adet örnekleme alanı (yangın şiddetlerine göre) dağıtılmıştır. Örnek alanların her biri 10m x 10m boyutlarında alınmıştır.

## 2.3 Örneklerin alınması ve yapılan analizler

Bu alanların her birinde kontrollü yakma uygulamasından önce toprak üzerinde var olan ölü örtü tabakası ibre ve humus şeklinde 30cm x 30cm'lik kısımlardan çelik silindir ile 0-10 cm derinlik kademesinden toprak örneği alınmıştır. Aynı uygulama örnekleme yapılan kontrol alanlarından bu sefer yakma uygulaması sonrasında toprak üzerindeki üst tabakada yanan haldeki kül tabakası toplanarak uygulanmıştır. Kül tabakası yanan alanlarda az şiddetli, orta şiddetli ve şiddetli olan yerlerden 9'ar adet örnekleme yapılarak alınmıştır. Yine aynı yerden, aynı şekilde çelik silindir ile toprak örnekleme de yapılmıştır. Kontrollü yakma uygulamasından önce 9 adet ibre, 9 adet humus ve 9 adet toprak örneği alınmıştır. Kontrollü yakma uygulamasından sonra ise 27 adet kül ve 27 adet toprak örneği alınmıştır. İbre, humus ve kül örneklerinden her birinden 9'ar adet olmak üzere toplamda 45 örnekleme yapılmıştır. Toprak örneği olarak kontrollü yakmadan önce 9 adet kontrollü yakmadan ise 27 adet olmak üzere toplam 36 adet toprak örneğinde çalışılmıştır.

Toprak örnekleri hava kuru hale getirilip, porselen havanda öğütülmüştür. Öğütülen topraklar 2 mm'lik elekten geçirilip analize hazır hale getirilmiştir. Hava kuru hale geldikten sonra içindeki taş ve toprak parçaları temizlenip, ibre ve humus örnekleri bitki öğütme değirmeninde öğütüldükten

sonra 0,5 mm'lik elekten elenerek analize hazır hale getirilmiştir.

İbre, humus ve kül örneklerinde pH, EC, organik karbon, azot ve C/N (Karbon/Azot) analizleri yapılmıştır. pH ve EC analizleri ibre ve humus örneklerinde 1/10 örnek/su karışımında kül örneklerinde ise 1/5 örnek su karışımında ile yapılmıştır. Organik karbon Walkley-Black ıslak yakma yöntemine göre, azot ise Kjeldhal yaş yakma yöntemine göre yapılmıştır. Alınan toprak örnekleri üzerinde tekstür, toprak türü, agregat stabilitesi gibi fiziksel özelliklerin yanında pH, EC, organik madde (organik karbon), azot, C/N oranı ve toplam kireç analizleri yapılmıştır. Tekstür tayini 2 mm'lik elekten geçirilmiş toprak örneklerinde Bouyoucos'un hidrometre yöntemi kullanılarak kum, toz ve kil yüzdeleri bulunmuştur (Gülçur, 1974; Çepel, 1988). Toprak türü ise Uluslararası tekstür üçgenine göre belirlenmiştir. Agregat stabilitesi Yoder ıslak eleme yöntemine göre yapılmıştır. pH ve EC analizi 1/2,5 toprak saf su karışımına göre 10 gram toprak örneğinde yapılmıştır. Organik karbon tayini, Walkley-Black ıslak yakma yöntemine göre yapılmıştır. Organik karbondan gidilerek organik madde miktarı hesaplanmıştır (Gülçur, 1974; Kalra and Maynard, 1991). Toprakların azot içerikleri Kjeldhal yaş yakma metoduna göre belirlenmiştir (Kacar, 2009). C/N oranı organik karbon azota bölünmesi sonrası hesaplanmıştır. Kireç ölçümü ise kalsimetre yöntemine göre yapılmıştır. Azot, karbon ve kireç ölçümleri 0,5 mm'lik elekten geçirilmiş topraklarda yapılmıştır.

## 2.3 İstatistik değerlendirme

Analizi yapılan ibre, humus, kül ve toprak örneklerinde örnekler arasındaki farklılığı belirlemek için hem örnekler arasındaki farklılığın hem de yangın şiddetinin etkisini belirlemek için tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. Bu farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için Tukey testi yapılmıştır. Analize başlamadan önce verilerin normal dağılım testleri (Kolmogorow-Smirnov) yapılmıştır. Veriler normal dağılım göstermiş olup düzeltme yapılmamıştır. Bütün analizler SPSS 24 programında yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1 İbre ve kül örnekleri

Çalışma alanından yangın öncesi alınan ibre ve humus örnekleri ile yangın sonrası alınan kül örneklerine ilişkin ortalama veriler Çizelge 1’de verilmiştir. Buna göre pH, EC, organik karbon, azot ve C/N oranı gibi değerler bakımından örnek alanlar arasındaki farklılık istatistik düzeyde önemli çıkmıştır ( $P<0,05$ ).

Örneklere ait pH değerleri, en düşük ibre örneklerinde (3,98), en yüksek ise şiddetli yangın sahasından alınan kül örneklerinde (9,92) çıkmıştır (Çizelge 1). Örnek alanları arasında farklılık bakımından şiddetli yanan kül ile diğer alanlar arasında önemli farklılık çıkmıştır. Yine yangın alanları ile ibre örnekleri arasında farklılık anlamlı düzeyde çıkmıştır. Ölü örtünün ayrışması, diğer taraftan yanması sonucu katyonlar açığa çıkmakta ve pH değerlerinde bir artış söz konusu olmaktadır. Bu artış yanma şiddeti ve yanma sıklığına göre değişmektedir (Knicker, 2007). Diğer taraftan da pH değeri kül miktarına göre (Schafer ve Mack, 2010), içerdiği besin maddesi miktarına, yanıcı madde tipine ve miktarına göre değişmektedir (Neary ve ark., 2005; Alcañiz ve ark., 2018).

EC değerleri, en düşük humus örneklerinde (1141  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en yüksek ise yine şiddetli yangın alanından alınan kül örneklerinde (2915  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) bulunmuştur (Çizelge 1). Genel olarak farklılık şiddetli yanan alandaki kül örneklerinde diğer örneklere göre belirgin olarak farklılık çıkmıştır. Ölü örtü ve

humusun yanması ile açığa çıkan katyonlar pH da olduğu gibi EC değerlerini de artırmıştır (Terefe ve ark., 2008).

Organik karbon değerleri bakımından ise en düşük değer şiddetli yanan kül örneklerinde (%12,60), en yüksek değer ise az şiddetli kül örneklerinde belirlenmiştir (%30,03). Farklılıklar yine belirgin olarak şiddetli yangındaki kül örneklerinde çıkarken diğer alanlardaki değerler birbirine benzer çıkmıştır (Çizelge 1). Yüksek şiddetli yangın ile birlikte karbonun bir kısmı yanarak ortamdan uzaklaşmakta bir kısmı ise kül içinde kalmaktadır. Bu yüzden, şiddet arttıkça karbon değerlerinde azalma görülmüştür (Moya vd., 2019) Yapılan çalışmalarda düşük yangın şiddeti olan alanlarda organik karbonun yüksek çıktığı (Afif and Oliveira, 2006; Brye, 2006; Shakesby ve ark., 2015), yüksek şiddetli yangın sahaslarında ise organik karbonun düşük çıktığı tespit edilmiştir (Muqaddas ve ark., 2015).

Toplam azot değerleri bakımından değerlendirildiğinde ise en düşük değer ibre örneklerinde (%1,15), en yüksek değer ise, humus örneklerinde (%1,67) tespit edilmiştir. Yangınla beraber azot değerlerinde bir azalma söz konusu olmuştur (Çizelge 1). Yine yanan alanlarda ise azotun düşük şiddette yanıp ortamdan uzaklaşması pek mümkün olmadığı için kül içinde kalmakta, sadece çok şiddetli yangınlarda yanarak gaz halinde ortamdan uzaklaşmaktadır (Alcañiz vd., 2018; Ferrer vd., 2021). Yapılan çalışmalarda düşük şiddetli yangınlarda azotun arttığı, yüksek şiddetli yangınlarda ise azotun azaldığı ifade edilmektedir (Neary ve ark., 1999; Knicker, 2007; Rein ve ark. 2008; Badia ve ark., 2017; Alcañiz ve ark., 2018; Ferrer ve ark., 2021; Wan ve ark., 2021).

**Çizelge 1.** İbre, humus ve kül örneklerindeki bazı kimyasal özelliklere ait ortalama veriler

Özellikler	Örnek Sayısı	Örnek Alan Türü					F	P
		İbre	Humus	Kül Az Şiddetli	Kül Orta Şiddetli	Kül Şiddetli		
pH	45	3,98a	5,54b	5,54b	6,36b	9,92c	105,3	0,000
EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	45	443a	114a	513a	617a	2915b	36,3	0,000
Organik Karbon (%)	45	29,41b	25,13b	30,03b	26,43b	12,60a	19,0	0,000
Azot (%)	45	1,15a	1,67c	1,43b	1,43b	1,21a	32,1	0,000
C/N oranı	45	25,81c	15,06ab	21,17bc	18,50b	10,47a	21,6	0,000

C/N değerleri bakımından değerlendirme yapıldığında, en düşük değer şiddetli yangın alanındaki kül örneklerinde (10,47), en yüksek değer ise ibre örneklerinde (25,81) söz konusu olmuştur (Çizelge1). Örnekler arasındaki farklılık belirgin olarak şiddetli kül örnekleri, ibre örnekleri ve diğer örnekler şeklinde sıralanmıştır. Karbon ve azot değerlerindeki değişimler C/N oranında belirgin farklılıklar göstermiştir. Genel itibarı ile yangınla beraber karbonun azalması diğer taraftan azotun açığa çıkıp külde depolanması C/N oranını düşürmektedir.

#### 3.2 Toprak örnekleri

Toprak tekstürü bakımından çalışma alanları yangınla beraber kilden, kumlu balçık toprak türü şeklinde değişim göstermektedir (Çizelge 2). Kum değerleri yangınla birlikte artış göstermekte, aynı zamanda yangın şiddeti arttıkça kum değerlerindeki artış da belirgin şekilde gözlemlenmiştir. Yangın partikül boyutunu etkilemez ancak yangın sonrası organik maddenin yanmasına bağlı olarak örnekleme yapılan derinlik ve toprak özelliği farklı olmaktadır. En düşük değer kontrol alanında (%53,1), en yüksek değer ise şiddetli alanda (%70,9)

çıkmıştır (Çizelge 2). Yine kil miktarı ise kontrol alanına nazaran yangın alanlarında azalmakta, yangın şiddeti ile birlikte bu azalış belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Kil miktarı en düşük şiddetli alanda (%11,4), en yüksek ise kontrol alanında (%23,7) çıkmıştır (Çizelge 2). Örnek alanlardaki kum ve kil oranlarındaki değişim istatistik bakımdan anlamlı düzeyde farklılık göstermiştir ( $P<0,05$ ). Yangın şiddeti arttıkça kil minerallerinde bozulma ve azalma söz konusu olmuştur. Yapılan çalışmalarda da yangın sıcaklığı arttıkça kil minerallerinde bozulma gerçekleştiği ifade edilmektedir. Genelde 400 °C üstündeki sıcaklıkta olan yangınlarda tekstürde bozulmalar gerçekleşmiştir. Düşük sıcaklıklı yangınlarda ise toprak tekstüründe önemli değişikliklerin olmadığı ifade edilmektedir (Neary ve ark. 2005; İnbar ve ark., 2014; Alcañiz ve ark. 2016; Heydari ve ark. 2017; Alcañiz ve ark. 2018; Moya ve ark. 2019). Toprakta ki toz değerleri en düşük yine şiddetli alanda (%17,7), en yüksek ise kontrol alanında tespit edilmiştir (%23,2) (Çizelge 2).

Agregat stabilitesi değerleri yangınla beraber azalmaktadır. Bu azalma kontrol noktası ile çok şiddetli yangın alanı arasında belirgin çıkmıştır (Çizelge 2). Agregat stabilitesi değerleri

istatistik bakımdan alanlar arasında anlamlı farklılık olduğu çıkmıştır ( $P<0,05$ ). Bu farklılık şiddetli yangın alanı ile kontrol alanı arasında belirgin düzeyde olmuştur. Yangın şiddeti arttıkça açığa çıkan sıcaklıkla birlikte organik maddenin yanması ve kil bozulması ile birlikte toprak strüktüründe değişim görülmektedir. Buda agregatlaşmayı düşürmektedir (Badia ve ark. 2014; Alcañiz ve ark. 2018). Yapılan çalışmalarda düşük şiddetli yangınlarda organik madde artışı ile kısmen de olsa topraktaki agregat stabilitesinin arttığı ya da önemli değişikliklerin olmadığı tespit edilmiştir (Jordán ve ark. 2011; Scharenbroch ve ark., 2012).

Topraktaki pH değerleri yangınla beraber ölü örtüdeki katyonların toprağa geçmesi ile artış göstermiştir. Özellikle bu artış şiddetli yangın alanında yüksek çıkmıştır. Kontrol alanına nazaran şiddetli alanda 0,8 birimlik artış olmasına rağmen değişim istatistik açıdan anlamlı seviyede çıkmamıştır ( $P>0,05$ ) (Çizelge 2). Toprak pH değerleri orta derecede asitten nötre doğru değişmiştir. Bazı araştırmacılar yangından sonra toprak pH değerinin önemli derecede arttığını ifade ederken (Übeda ve ark., 2005; Neill ve ark., 2007; Granged ve ark., 2011a; Scharenbroch ve ark., 2012; Switzer ve ark., 2012). Muqaddas ve ark. (2015), bazı araştırmacılar ise yangınla beraber önemli bir değişimin gerçekleşmediğini belirtmişlerdir Lavoie ve ark., 2010; Switzer ve ark., 2012; Meira-Castro ve ark., 2014; Alcañiz ve ark., 2016; Valkó ve ark., 2016). Bunun sebeplerini yanıcı madde türüne ve yangın şiddetinin göstermiş olduğu farklılığa bağlamışlardır.

Topraktaki EC değerleri ise yangınla beraber ilk başta azalmakta ama şiddetli yangın alanında oldukça yüksek çıkmaktadır (Çizelge 2). Çalışma alanları arasındaki farklılık istatistik olarak anlamlı seviyede çıkmamıştır ( $P>0,05$ ). Çalışma alanı toprakları tuzluluk bakımından tuzsuz topraklar sınıfında yer almaktadır. Yangınla beraber organik maddenin yanması ile açığa çıkan katyonlar toprağa karışmaktadır. Buda topraktaki EC değerlerini artırmaktadır (Alcañiz ve ark., 2016; Francos ve ark., 2019). Yangın şiddetinin artması ile birlikte bu değişim belirgin hale gelmiştir. Bazı durumlarda ise yangınla beraber EC değerlerinde bir azalma söz konusu olabilmektedir (Brye, 2006). Bu duruma sebep olarak ise yanan materyalin çeşidinin yanma sıcaklığının ve yanan alanın türünün farklılığı gösterilebilir. Yapılan çalışmaların çoğunda ise özellikle düşük şiddetli yangınlarda EC değerlerinde önemli değişimin olmadığı ifade edilmiştir (Heydari ve ark., 2017; Akburak ve ark., 2018; Fernández-García ve ark., 2019).

Toprakların organik karbon değerleri incelendiğinde ise, yangınla beraber genel olarak bir azalma söz konusu olmuştur. Fakat bu değişim önemsiz seviyede çıkmıştır ( $P>0,05$ ) (Çizelge 2). Yangının toprak üzerindeki etkileri oldukça değişkendir ve düşük yoğunluklu yangınların toprak organik karbonunda çok az veya daha fazla değişiklikle sonuçlandığını, yüksek yoğunluklu yangınların ise toprak organik karbonunda azalmaya neden olduğunu göstermektedir (Caon ve ark., 2014). Yapılan birçok çalışmada yangınla beraber toprak organik maddesinin

azaldığı (Moya ve ark., 2019), değişmediği (Goberna ve ark., 2012; Meria-Castro ve ark., 2015) veya arttığı (Santín ve ark., 2018; Hu ve ark., 2020) tespit edilmiştir.

Toprak azot içeriği bakımından kıyaslandığında yangınla beraber topraktaki azot içeriklerinde önemli derecede azot artışının olduğu görülmüştür. En düşük azot içeriği kontrol alanında (%0,43), en yüksek azot içeriği ise şiddetli yangın alanında (%0,76) belirlenmiştir. Azot içeriği bakımından alanlar arasındaki farklılık önemli düzeyde çıkmıştır ( $P<0,05$ ). Bu farklılık kontrol alanları ile yangın alanları arasında çıkmıştır (Çizelge 2). Yangın şiddetindeki değişimin ise azot değerleri üzerindeki etkisi önemsiz düzeyde çıkmıştır. Akburak ve ark. (2018), Türkiye'deki bir *Quercus frainetto* ormanında, Fernández-García ve ark. (2019a,b) İspanya'daki bir *Pinus pinaster* ormanı için ve Moya ve ark., (2019) yine İspanya'daki bir *Pinus halepensis* ormanı için bir yangından sonra toplam azot içeriğinde hiçbir farklılık göstermezken, Goberna ve ark., (2012) İspanya'daki *Rosmarinus officinalis* L. bitki örtüsü için, Alcañiz ve ark., (2016) İspanya'daki *Pinus halepensis* ormanında, Hosseini ve ark al., (2017) Portekiz'deki bir *Pinus pinaster* ormanında ve Liu ve ark., (2018) Çin'deki otlak bitki örtüsü için, yangın sonrası A horizonunda toplam azotun arttığını bildirdi. Toplam azottaki artış, özellikle düşük yoğunluklu yangınlardan sonra azot açısından zengin küllerin eklenmesinden ve daha yüksek miktarda azot salan organik materyalin daha yüksek oranda mineralleşmesinden kaynaklanmaktadır (Alcañiz ve ark., 2018; Ferrer ve ark., 2021; Wan ve ark., 2021).

C/N oranı değerleri incelendiğinde en düşük değer yüksek şiddetli yangın alanında (7,9), en yüksek değer ise kontrol alanında (14,6) tespit edilmiştir (Çizelge 2). Yangın ile beraber C/N oranı değerlerinde bir azalma söz konusu olmuştur. Bu azalma kontrol alanı ile yangın alanlarında belirgin düzeyde çıkmıştır. İstatistik olarak C/N oranı bakımından farklılık anlamlı düzeyde çıkmıştır ( $P<0,05$ ). Bu farklılık kontrol alanı ile yangın alanları arasında çıkmıştır. Fakat yangın şiddetinin C/N oranı üzerindeki etkisi anlamlı düzeyde çıkmamıştır (Çizelge 2). Yangından sonra karbonda azalma azotta artma söz konusu olmaktadır. Genel itibari ile yangın sonrası karbonun azalması (Moya, 2019) azotun artması (Hosseini ve ark., 2017) ile birlikte C/N oranında bir azalma olması beklenen bir sonuçtur.

Kireç değerleri bakımından orta şiddetli yangın alanı hariç az da olsa bir azalma söz konusu olmuştur. Fakat bu azalma anlamlı çıkmamıştır. En düşük kireç değeri az şiddetli yangın alanında (%1,59), en yüksek değer ise orta şiddetli yangın alanında (%2,62) çıkmıştır (Çizelge 2). Kalsiyumun buharlaşması için gerekli sıcaklık 1240 °C civarında olması gerekmektedir (Pereira ve ark., 2011). Bu büyüklükteki en yüksek toprak yüzey sıcaklığının oluşması, yangınlar sırasında oldukça nadiren görülmektedir (Gimeno-García ve ark., 2004) ayrıca meydana gelseler bile, sıcaklık uzun süre devam etmez (Yusiharni and Gilkes, 2012).

**Çizelge 2.** Alanlara ait toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin sayısal veriler

	Toprak Özelliği	Örnek Sayısı	Örnek Alan Türü			F	P	
			Kontrol	Az Şiddetli	Orta Şiddetli			Şiddetli
Fiziksel	Kum (%)	36	53,1a	61,3ab	64,2ab	70,9b	6,78	0,005
	Kil (%)	36	23,7b	16,2ab	13,4a	11,4 a	8,37	0,002
	Toz (%)	36	23,2a	22,5a	22,4a	17,7a	2,73	0,083
	Toprak Türü	36	Kil	Kil. Balçık	Ku.Ki. Balçık	Ku. Balçık		
	Agregat Stabilitesi (%)	36	88,6b	85,3ab	83,8ab	81,4a	5,32	0,012
Kimyasal	pH	36	5,56a	5,35a	5,68a	6,35a	1,74	0,205
	EC (µS/cm)	36	157a	98a	152a	542a	2,37	0,114
	Organik Karbon (%)	36	6,27a	6,54a	6,28a	5,88a	1,52	0,254
	Azot (%)	36	0,43a	0,67b	0,68b	0,74b	82,24	0,000
	C/N	36	14,6b	9,7a	9,4a	7,9a	42,20	0,000
	Kireç %	36	2,42a	1,59a	2,62a	2,23a	1,48	0,263

Kil. Balçık: Killi Balçık, Ku.Ki. Balçık: Kumlu Killi Balçık, Ku. Balçık: Kumlu Balçık

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Orman yangını ile birlikte toprakta özelliklerinde (pH, EC, organik madde, azot vb.) beklenen değişimlerin meydana gelmesi uzun zaman almaktadır. Bu değişimin ortaya konması da karmaşık ve zordur. Kontrollü yakmalarla birlikte arazi üzerindeki örtü ortadan kaldırılabilir ve aynı zamanda toprağa daha fazla besin maddesi takviyesi sağlanabilir. Yine tohumun toprağa ulaşması sağlanarak gençleştirme çalışmalarında etkin rol oynayabilir.

Bu çalışmada, 2021 yılında kontrollü olarak yapılan düşük-orta şiddetli orman yangınlarının bazı toprak özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, yangından sonra yapılan ölçümler sonucunda yangının, topraktaki kum, pH, EC ve azotu artırdığı, kil, toz, agregat stabilitesi ve C/N oranında azalmaya sebep olduğu bulunmuştur. Kireç üzerinde ise belirgin bir değişime sebep olmadığı da tespit edilmiştir. Diğer taraftan ibre, humus ve kül ölçümlerinde yangınla beraber küle dönüşümde pH ve EC değerleri artmakta, C, N ve C/N oranı değerleri ise azalmaktadır. Bu çalışma ile birlikte, orman yangınlarının sadece hava kirliliğine neden olmadığını veya bitki örtüsünü tahrip etmediğini, aynı zamanda toprak özelliklerinde de önemli değişimlere neden olduğu ortaya konulmuştur.

#### Teşekkür

Bu araştırma TÜBİTAK 1001 1220425 numaralı Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

- Afif, E., Oliveira, P., 2006. Efectos del fuego prescrito sobre el matorral en las propiedades del suelo. *Investig. Agrar. Sist. Recur. For.* 15(3), 262–270.
- Akburak, S., Son, Y., Makineci, E., Çakir, M., 2018. Impacts of low intensity prescribed fire on microbial and chemical soil properties in a *Quercus frainetto* forest. *J for Res*, 29(3), 687–696.
- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., Farguell, J., Úbeda, X., 2016. Long-term dynamics of soil chemical properties after

- a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain). *Sci. Total Environ.*, 572, 1329–1335.
- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., Úbeda, X., 2018. Effects of prescribed fires on soil properties: a review. *Sci. Total Environ.*, 613–614, 944–957.
- Are, K.S., Oluwatosin, G.A., Adeyolanu, O.D., Oke, A.O., 2009. Slash and burn effects on soil quality of an Alfisol: soil physical properties. *Soil Tillage Res.*, 103, 4–10.
- Armas-Herrera, C.M., Martí, C., Badía, D., Ortiz-Perpiñá, O., Girona-García, A., Porta, J., 2016. Immediate effects of prescribed burning in the Central Pyrenees on the amount and stability of topsoil organic matter. *Catena*, 147, 238–244.
- Aroncena, J.M., Opio, C., 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma*, 113, 1–16.
- Badía, D., Martí C., Aguirre, A.J., Aznar, J.M., González-Pérez, J.A., De la Rosa, J.M., León J, Ibarra P., Echeverría, T., 2014. Wildfire effects on nutrients and organic carbon of a Rendzic Phaeozem in NE Spain: changes at cm-scale topsoil. *Catena*, 113, 267–275.
- Badía, D., López-García, S., Martí, C., Ortiz-Perpiñá, O., Girona-García, A., Casanova-Gascón, J., 2017. Burn effects on soil properties associated to heat transfer under contrasting moisture content. *Sci. Total Environ.*, 601–602, 1119–1128.
- Bennett, L., Aponte, C., Baker, T., Tolhurst, K., 2014. Evaluating effects of prescribed fire regimes on carbon stocks in a temperate eucalypt forest. *For. Ecol. Manag.*, 328, 219–228.
- Brye, K.R., 2006. Soil physicochemical changes following 12 years of annual burning in a humid subtropical tallgrass prairie: a hypothesis. *Acta Oecol.*, 30, 407–413.
- Buhk, C., Meyn, A., Jentsch, A., 2007. The challenge of plant regeneration after a fire in the Mediterranean Basin: scientific gaps in our knowledge on plant strategies and evolution of traits. *Plant Ecol.*, 192, 1–19.
- Caon, L., Vallejo, V.R., Ritsema, C.J., Geissen, V., 2014. Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. *Earth Sci. Rev.*, 139, 47–58.
- Çepel N., 1988. Orman Ekolojisi. İ.Ü. Orman Fakülteleri Yayınları No:287, İstanbul.

- Cerdà, A., Mataix-Solera, J., 2009. Efecto de los incendios forestales sobre los suelos en España: El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Cátedra de Divulgación de la Ciencia-Fuegored, Valencia, p. 529.
- Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 43, 1–10.
- Fernández-García, V., Marcos, E., Fernández-Guisuraga, J.M., Taboada, A., Suárez-Seoane, S., Calvo, L., 2019a. Impact of burn severity on soil properties in a *Pinus pinaster* ecosystem immediately after fire. *Int J Wildland Fire*, 28(5), 354–364.
- Fernández-García, V., Miesel, J., Baeza, M.J., Marcos, E., Calvo, L., 2019b. Wildfire effects on soil properties in fire-prone pine ecosystems: Indicators of burn severity legacy over the medium term after fire. *Appl. Soil Ecol.*, 135, 147–156.
- Ferrer, I., Thurman, E.M., Zweigenbaum, J.A., Murphy, S.F., Webster, J.P., Rosario-Ortiz, F.L., 2021. Wildfires: Identification of a new suite of aromatic polycarboxylic acids in ash and surface water. *Sci Total Environ*, 770:144661.
- Fonseca, F., Leite, M., Figueiredo, T., 2011. Soil properties in burned and unburned Mediterranean shrublands of Montesinho Natural Park, Northeast Portugal. In: Gonçalves, A.B., Vieira, A. (Eds.), *Fire Effects on Soil Properties*. University of Minho, Guimarães, Portugal.
- Fontúrbel, M.T., Fernández, C., Vega, J.A., 2016. Prescribed burning versus mechanical treatments as shrubland management options in NW Spain: mid-term soil microbial response. *Appl. Soil Ecol.*, 107, 334–346.
- Franco, M., Pereira, P., Alcañiz, M., Mataix-Solera, J., Úbeda, X., 2016. Impact of an intense rainfall event on soil properties following a wildfire in a Mediterranean environment (North-East Spain). *Sci. Total Environ.*, 572, 1353–1362.
- Franco, M., Úbeda, X., Pereira, P., Alcañiz, M., 2018. Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadiretes massif (NE Iberian Peninsula). *Sci. Total Environ.*, 615, 664–671.
- Gimeno-García, E., Andreu, V., Rubio, J.L., 2004. Spatial patterns of soil temperatures during experimental fires. *Geoderma*, 118, 17–38.
- Goberna, M., García, C., Insam, H., Hernández, M.T., Verdú, M., 2012. Burning fire-prone Mediterranean shrublands: immediate changes in soil microbial community structure and ecosystem functions. *Microb. Ecol.*, 64(1), 242–255.
- Granged, A.J.P., Jordán, A., Zavala, L.M., Muñoz-Rojas, M., Mataix-Solera, J., 2011a. Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). *Geoderma*, 167–168, 125–134.
- Granged, A., Zavala, L., Jordán, A., Barcenas-Moreno, G., 2011b. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: a 3-year study. *Catena*, 164, 85–94.
- Guinto, D.F., Xu, Z.H., APN, H., Saffigna, P., 2001. Soil chemical properties and forest floor nutrients under repeated prescribed-burning in eucalypt forests of south-east Queensland, Australia. *N. Z. J. For. Sci.*, 31(2), 170–187.
- Gülçur, F., 1974. Toprağın fiziksel ve kimyasal analiz metodları. İ.Ü.Orman Fakültesi Yayın No:201, İstanbul.
- Heydari, M., Rostamy, A., Najafi, F., Dey, D.C., 2017. Effect of fire severity on physical and biochemical soil properties in Zagros oak (*Quercus brantii* lindl.) forests in Iran. *J. For. Res.*, 28, 95–104.
- Hosseini, M., Geissen, V., González-Pelayo, O., Serpa, D., Machado, A.I., Ritsema, C., Keizer, J.J., 2017. Effects of fire occurrence and recurrence on nitrogen and phosphorus losses by overland flow in maritime pine plantations in north-central Portugal. *Geoderma*, 289, 97–106.
- Hu, M., Song, J., Li, S., Li, Z., Hao, Y., Di, M., Wan, S., 2020. Understanding the effects of fire and nitrogen addition on soil respiration of a field study by combining observations with a meta-analysis. *Agric. for Meteorol.*, 292, 108106.
- Hubbert, K.R., Preisler, H.K., Wohlgemuth, P.M., Graham, R.C., Narog, M.G., 2006. Prescribed burning on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA. *Geoderma*, 130, 284–298.
- Inbar, A., Lado, M., Sternberg, M., Tenau, H., Ben-Hur, M., 2014. Forest fire effects on soil chemical and physicochemical properties, infiltration, runoff, and erosion in a semiarid Mediterranean region. *Geoderma*, 221, 131–138.
- Kacar, B., 2009. Toprak analizleri. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kalra, Y.P., Maynard, D.G., 1991. *Methods manual for forest soil and plant analysis*. Forestry Canada Northern Forestry Publication. Alberta, Canada.
- Knicker, H., 2007. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry*, 85(1), 91–118.
- Lavoie, M., Starr, G., Mack, M.C., Martin, T.A., Gholz, H.L., 2010. Effects of a prescribed fire on understory vegetation, carbon pools, and soil nutrients in a longleaf pine-slash pine forest in Florida. *Nat. Areas J.*, 30(1), 82–94.
- Liu, J., Qiu, L., Wang, X., Wei, X., Gao, H., Zhang, Y., Cheng, J., 2018. Effects of wildfire and topography on soil nutrients in a semiarid restored grassland. *Plant Soil*, 428(1), 123–136.
- Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Barcenas, G., Zornoza, R., Perez-Bejarano, A., Bodí, M.B., Mataix-Beneyto, J., Gómez, I., Garcia-Orenes, F., Navarro-Pedreño, M.M., Cerdà, A., Doerr, S.H., Úbeda, X., Outeiro, L., Pereira, P., Jordán, A., Z, L.M., 2009. Los incendios forestales y el suelo: un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental de la UHM en colaboración con otros grupos. In: Cerdà, A., Mataix-Solera, J. (Eds.), *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. Estado de la cuestión visto por los científicos españoles*. Cátedra de Divulgación de la Ciencia. Universitat de València, pp. 185–217.
- Meira-Castro, A., Shakesby, R.A., Espinha Marques, J., Doerr, S., Meixedo, J.P., Teixeira, J., Chaminé, H.I., 2014. Effects of prescribed fire on surface soil in a *Pinus pinaster* plantation, northern Portugal. *Environ. Earth Sci.*, 73(6), 3011–3018.
- Meira-Castro, A., Shakesby, R.A., Marques, J.E., Doerr, S.H., Meixedo, J.P., Teixeira, J., Chaminé, H.I., 2015. Effects of prescribed fire on surface soil in a *Pinus pinaster* plantation, northern Portugal. *Environ. Earth Sci.*, 73(6), 3011–3018.
- Molina, D., 2009. Fuego prescrito y planes de quema. (Coord.). In: Vélez, R. (Ed.), *La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias*, 2nd ed. McGrawHill, Madrid.

- Moya, D., González-De Vega, S., Lozano, E., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Lucas-Borja, M.E., de Las, H.J., 2019. The burn severity and plant recovery relationship affect the biological and chemical soil properties of *Pinus halepensis* Mill. stands in the short and mid-terms after wildfire. *J. Environ. Manage.*, 235, 250–256.
- Muqaddas, B., Zhou, X., Lewis, T., Wild, C., Chen, C., 2015. Long-term frequent prescribed fire decreases surface soil carbon and nitrogen pools in a wet sclerophyll forest of Southeast Queensland, Australia. *Sci. Total Environ.*, 536, 39–47.
- Neary, D.G., Ryan, K.C., DeBano, L.F., 2005. Wildland fire in ecosystems: Effects of fire on soils and water (No. RMRS-GTR-42-V4), U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ft. Collins.
- Neill, C., Patterson, W.A., Crary, D.W., 2007. Responses of soil carbon, nitrogen and cations to the frequency and seasonality of prescribed burning in a Cape Cod oak-pine forest. *For. Ecol. Manage.*, 250, 234–243.
- O'Dea, M.E., 2007. Fungal mitigation of soil erosion following burning in a semi-arid Arizona savanna. *Geoderma*, 138, 79–85.
- Outeiro, L., Asperó, F., Úbeda, X., 2008. Geostatistical methods to study spatial variability of soil cations after a prescribed fire and rainfall. *Catena*, 74, 310–320.
- Pereira, P., Úbeda, X., Martín, D., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., 2011. Effects of a low severity prescribed fire on water-soluble elements in ash from a cork oak (*Quercus suber*) forest located in the northeast of the Iberian Peninsula. *Environ. Res.*, 111, 237–247.
- Rein, G., Cleaver, N., Ashton, C., Pironi, P., Torero, J.L., 2008. The severity of smouldering peat fires and damage to the forest soil. *Catena*, 74, 304–309.
- Ryan, K.C. (2002). Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems. *Silva Fennica* 36: 13–39.
- Santín, C., Otero, X.L., Doerr, S.H., Chafer, C.J., 2018. Impact of a moderate/ high-severity prescribed eucalypt forest fire on soil phosphorus stocks and partitioning. *Sci. Total Environ.*, 621, 1103–1114.
- Scharenbroch, B.C., Nix, B., Jacobs, K.A., Bowles, M.L., 2012. Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in a Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. *Geoderma*, 183, 80–91.
- Shakesby, R.A., Bento, C.P.M., Ferreira, C.S.S., Ferreira, A.J.D., Stoof, C.R., Urbanek, E., Walsh, R.P.D., 2015. Impacts of prescribed fire on soil loss and soil quality: an assessment based on an experimentally-burned catchment in central Portugal. *Catena*, 128, 278–293.
- Switzer, J.M., Hope, G.D., Grayston, S.J., Prescott, C.E., 2012. Changes in soil chemical and biological properties after thinning and prescribed fire for ecosystem restoration in a Rocky Mountain Douglas fire forest. *For. Ecol. Manage.*, 275, 1–13.
- Terefe, T., Mariscal-Sancho, I., Peregrina, F., Espejo, R., 2008. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. *Geoderma*, 143, 273–280.
- Úbeda, X., Lorca, M., Outeiro, L., Bernia, S., Castellnou, M., 2005. Effects of prescribed fire on soil quality in Mediterranean grassland (Prades Mountains, north-east Spain). *Int. J. Wildland Fire*, 14, 379–384.
- Valkó, O., Deák, B., Magura, T., Török, P., Kelemen, A., Tóth, K., Horváth, R., Nagy, D.D., Debnár, Z., Zsigrai, G., Kapocsi, I., Tóthmérész, B., 2016. Supporting biodiversity by prescribed burning in grasslands—a multi-taxa approach. *Sci. Total Environ.*, 572, 1377–1384.
- Vega, J.A., Fernández, C., Fontúrbel, T., 2005. Throughfall, runoff and soil erosion after prescribed burning in gorse shrubland in Galicia (NW Spain). *Land Degrad. Dev.*, 16 (1), 37–51.
- Vélez, R., 2000. In: Vélez, R. (Ed.), Los incendios forestales en la cuenca mediterránea. Introducción. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGraw-Hill, Spain, pp. 31–315.
- Wan, X., Li, C., Parikh, S.J., 2021. Chemical composition of soil-associated ash from the southern California Thomas fire and its potential inhalation risks to farmworkers. *J. Environ. Manage.*, 278, 111570.
- Yusiharni, E., Gilkes, R.J., 2012. Changes in the mineralogy and chemistry of a lateritic soil due to a bushfire at wundowie, Darling range, Western Australia. *Geoderma*, 191, 140–150.