

Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra*) Gençleştirme Meşçeresinde Kontrollü Yakmanın Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi

The Effect of Prescribed Burning on Soil Properties in Regeneration Stands of Anatolian Black Pine (*Pinus nigra*)

Ayşegül Gözde TIRYAKI GÜNGÖR*¹ , Ömer KÜÇÜK² , Mehmet KÜÇÜK³ , Ertuğrul BİLGİLİ⁴ 

¹Kastamonu Üniversitesi, Araç Rafet Vergili Meslek Yüksekokulu Ormancılık Bölümü, Kastamonu

²Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu

³Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin

⁴Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Eser bilgisi/Article Info

Araştırma makalesi/Research article

DOI: [10.17474/artvinofd.1744865](https://doi.org/10.17474/artvinofd.1744865)

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Ayşegül Gözde TIRYAKI GÜNGÖR

e-mail: atiryaki@kastamonu.edu.tr

Geliş tarihi / Received

17.07.2025

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

01.10.2025

Kabul tarihi / Accepted

07.10.2025

Elektronik erişim/Online available

15.10.2025

Anahtar kelimeler:

Kontrollü yakma

Karaçam

Toprak özellikleri

Keywords:

Prescribed burning

Black pine

Soil properties

Özet

Orman yangınlarının ekolojik etkileri, orman varlığımızın sürdürülebilirliği ve korunması orman ekosistemindeki değişimlerin bilinmesi ile ilişkilidir. 21. yüzyılda orman yangınlarının önemli derecede orman ekosistemini ve yangın rejimini etkileyeceği belirtilmektedir. Bu çalışmada Anadolu karaçamı gençleştirme meşçeresinde kontrollü yakmanın toprak özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Kontrollü yakma sonrası üzerindeki kül rengi ve miktarına göre toprak az, orta ve şiddetli olarak sınıflandırılmıştır. Bu üç alandan üç tekerrürlü toplam dokuz deneme alanı ve ek olarak üç kontrol alanı oluşturulmuş, 0-5cm ve 5-15cm derinlik kademelerine göre alınan örneklerde bazı toprak analizleri yapılmıştır. Kontrollü yakma alanlarında saturasyon değerinin azaldığı, ağır bünyeli topraklardan hafif bünyeli topraklara geçildiği, pH ve EC değerlerinin arttığı, organik madde ve N miktarının azaldığı, C/N oranının organik karbona bağlı olarak arttığı ayrıca P, Ca, Mg, K, Na ve kireç değerlerinin de tüm alanların en az birinde arttığı bulunmuştur. Şiddetli ve büyük orman yangınlarının toprak özellikleri üzerine olan olumsuz etkisi kontrollü yakma uygulaması yaptığımız alanlarda görülmemiştir. Aksine yangın şiddetinin düşük olması, yanıcı madde tüketiminin az olması gibi faktörler toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumlu etkilenmiştir. Özellikle besin maddesince yeterli olan topraklarda uygulanması ayrışmanın yavaş olduğu çam meşçerelerinde ölü örtü birikimini azaltmaya, tohumu toprakla buluşturmaya ve şiddetli orman yangınlarının zararını önlemeye yönelik olduğu anlaşılmaktadır.

Abstract

The ecological impacts of forest fires are related to understanding changes in forest ecosystems, which are crucial for the sustainability and protection of our forest resources. It is noted that forest fires will significantly affect forest ecosystems and fire regimes in the 21st century. This study investigated the effects of prescribed burning on soil properties in a young Anatolian black pine regeneration stand. Soil was classified as low, medium, and severe based on the color and amount of ash present after prescribed burning. A total of nine replicate trial areas were established from these three areas, along with three additional control areas. Soil analyses were performed on samples taken at depths of 0-5 cm and 5-15 cm. It was found that saturation values decreased in the prescribed burning areas, heavy soils transitioned to light soils, pH and EC values increased, organic matter and N amounts decreased, the C/N ratio increased depending on organic carbon, and P, Ca, Mg, K, Na, and lime values increased in at least one of all areas. The negative impact of severe and large forest fires on soil properties was not observed in the areas where we applied prescribed burning. On the contrary, factors such as low fire intensity and low consumption of combustible material positively affected the physical and chemical properties of the soil. It is understood that prescribed burning, especially when applied to nutrient-sufficient soils in pine forests where decomposition is slow, aims to reduce litter accumulation, bring seeds into contact with the soil, and prevent the damage caused by severe forest fires.

GİRİŞ

Ormanların insan yaşamına katkısı, doğal dengenin sağlanması, ekosistem hizmetlerini devam ettirmesi ve ekonomik olarak farklı sektörlere katkıda bulunması gibi

önemli işlevleri bulunmaktadır. Bununla birlikte ormanlar çok sayıda zararlıların tehdidi altındadır. Bunların en önemlilerinden biri de orman yangınlarıdır (Certini ve Scalenghe 2021, Küçük ve Sevinç 2023). Çam türlerinin hakimiyetindeki ekosistemlerde sistemin devamlılığı

açısından yangınlar önemli bir ekolojik faktördür (Agee 1998). Ancak çam türlerinin reçine içeriğinin fazla ve kurak yetiştirme bölgelerinde büyük ve saf meşcereler kurması yangınlardan daha fazla etkilenmesine neden olmaktadır. Yangınlardan ekosisteme zarar veren, yok eden bir yaklaşımla bahsedilirken, günümüzde daha çok ekosistemin bir parçası, hatta hayati bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Tüfekçioğlu ve Tüfekçioğlu 2021). Ekosistem dinamiklerinin anlaşılması ile birlikte kontrollü yakmayı yöneticiler kolay, ekonomik ve doğal bir yöntem olarak kullanmışlar, dolayısıyla ekosistemin doğal yapısını koruyabileceği gibi farklı yapı ve kompozisyona dönüşmesini de sağlamışlardır (Bilgili ve ark. 2021). Kontrollü yakmanın özellikle düşük şiddetli olması belirli yönetim hedeflerine ulaşmayı kolaylaştırmıştır (Hiers ve ark. 2020, Francos ve Úbeda 2021). Doğal orman yangınlarını kontrol etmek, yanıcı madde miktarını yönetmek, şiddetli orman yangınları riskini düşürmek gibi ormancılık faaliyetleri için yönetim aracı olarak kullanılmaktadır. Özellikle toprak üzerindeki yanıcı madde miktarının azalması ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak toprağı etkilemektedir (Francos ve Úbeda 2021). Kontrollü yakma uygulamasında yangın şiddeti düşüktür ve toprak özellikleri bu durumdan olumlu etkilenmektedir (Fellows ve ark. 2018, Dems ve ark. 2021). Bununla beraber ülkemizde yangının ekolojik etkilerinin anlaşılması için karaçam meşceresinde yapılan çalışmaların çok sınırlı olduğu bilinmektedir. Özellikle kızılçam meşceresinde bu tür çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Hâlbuki kızılçamdan sonra en çok yayılış alanına sahip karaçam meşceresinde iklim değişikliğinin etkisiyle son zamanla ciddi orman yangınları meydana gelmektedir. Bu iki türde yangının ekolojik etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve yangın amenajmanı çalışmalarında daha sağlıklı kararlar verebilmek için bu çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, doğal gençleştirmeye tabi tutulmuş ve idare süresini tamamlamış Anadolu karaçamı meşceresinde, kontrollü yakma uygulamasının toprak özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Örtü yangını şeklinde gerçekleştirilen bu kontrollü yakmaların, düşük, orta ve yüksek şiddet düzeylerinde toprak özelliklerinde meydana getirdiği değişimler ortaya konmuştur. Kontrollü yakma ile orman zemininde birikmiş yanıcı

madde miktarının azaltılması ve yakma sonrası oluşan külün toprağına karışması sonucunda, toprak özelliklerinde gözlenen değişimler detaylı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular hem kontrollü yakma planlamalarında hem de yangınların ekolojik etkilerinin değerlendirilmesinde önemli katkı sağlayacaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma Alanının Tanıtımı

Bu çalışma Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Araç Orman İşletme Müdürlüğü Şerifebacı Orman İşletme Şefliği Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) meşceresinde (Çkcd3) 59 no'lu bölmede kontrollü yakma uygulaması olarak yapılmıştır. Anadolu karaçamı meşceresi 41°19'26.15" kuzey enlemleri ile 33°25'32.69" doğu boylamları arasında, kapallığı %50, yükseltisi 1214 m ve doğu bakıda yer almaktadır. Meşcere yaşı 96 (yıl), ortalama boyu 24m, göğüs çapı ($d_{1.30}$) 43cm olarak ölçülmüştür. Bu meşcere silvikültür planında gençleştirmeye konu saha olarak belirlenmiştir. Orman İşletme Müdürlüğüne yapılan silvikültürel uygulamalar kontrollü yakmalardan hemen önce bitirilmiştir.

Deneme Alanlarının Oluşturulması, Örneklerin Alınması ve Analizlerin Yapılması

Deneme alanları, diri örtü sorunu olmayan ya da çok az olan, doğal dal budanması iyi meşcerelerden seçilmiştir. Bu şartlar altında idare süresini doldurmuş ve gençleştirme programına alınmış karaçam meşceresinde saha hazırlığı yapılmış ve örtü yangını olarak gerçekleştirilmiştir. Kontrollü yakma sonrası alan, yangın şiddetini temsilen kül miktarı ve renge göre şiddetli (yanmış beyaz), orta (yanmış siyah) ve az (kömürleşmiş siyah) olmak üzere sınıflandırılmıştır (Ryan 2002). Ayrıca kontrol alanı da bir deneme alanı olarak belirlenmiştir. Karaçam meşceresinde 1 hektarlık kontrollü yakma uygulaması yapılmış ve alandan her yangın şiddeti sınıfına ait 3 deneme alanı 3 tekerrürlü olarak (9 deneme alanı) hazırlanmıştır. Kontrol sahasından ise alanı temsil eden 3 farklı noktadan toprak örnekleme yapılmıştır. Her biri 10m x 10m büyüklüğünde olan alanlardan iki derinlik (0-5cm, 5-15cm) kademesinden, mevsim değişimleri

etkisinin belirlenmesi amacıyla sonbahar, kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar şeklinde toplam 240 adet toprak örneği alınmıştır.



Şekil 1. Toprak örneklerinin alınması

Laboratuvarında toprak örnekleri hava kurusu hale gelinceye kadar bekletilmiş, porselen havanda öğütülmüş ve 2 mm'lik elek yardımıyla elenmiş, paketlenmiş ve etiketlenmiştir. Analizler Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Toprak örneklerinde saturasyon, EC, pH, organik madde, azot, C/N oranı, P, Ca, Mg, K, Na ve toplam kireç gibi bitki besin element tayinleri yapılmıştır. Saturasyon (bünnye) tayini için 2 mm'lik elek yardımıyla elenmiş toprak su ile doygunluk yöntemi kullanılmıştır (Tüzüner 1990). pH ve EC analizi 1/2.5 toprak saf su karışımı esas alınarak göre 10 gram toprak örneği üzerinde yapılmıştır. Organik madde tayini, Walkley-Black ıslak yakma yöntemi ile organik karbon hesaplanarak organik madde miktarı bulunmuştur (Gülcur 1974). Toprakların azot içerikleri ise Kjeldhal yaş yakma yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir (Kacar 2009). C/N oranı organik karbon azota bölünmesi ile, Kireç (CaCO_3) ölçümü ise kalsimetre yöntemine göre hesaplanmıştır (Allison ve Moodie 1965). Karbon ve kireç ölçümleri 0.5 mm'lik elekten geçirilmiş toprak örnekleri baz alınarak yapılmıştır. Topraklarda yararlanılabilir fosfor miktarı Bray ve Kurtz yöntemine göre Mildred Roy Spektrometrik 20 D spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Kalra ve ark. 1991). Ayrıca toprakların Ca, Mg, K ve Na miktarları, amonyum asetat yöntemiyle belirlenmiş ve ölçümler AA-6601 SHIMADZU Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile yapılmıştır (Page ve ark. 1982).

İstatistik Değerlendirme

Yangın şiddetinin toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisini belirlemek için alınan toprak

örneklerinde SPSS programından (SPSS 2023) faydalanılmıştır. Toprak örneklerine ait veriler üzerinde varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi ikiden çok bağımsız değişkenin arasında istatistiksel olarak hem zamansal değişimler arasında hem de yangın şiddetleri arasında farklılığın olup olmadığını belirlemek için yapılmıştır. Toprak özellikleri arasındaki etkileşimi belirlemek için korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizinde ölçülen değişkenlerin birbirlerini etkileme durumlarını ve etkileme durumlarının pozitif ya da negatif yönde düzeylerini açıklamak için yapılmıştır.

BULGULAR

Kontrollü Yakmaların Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra*) Meşceresindeki Toprak Özelliklerine Etkisi

Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra*) meşceresinde kontrollü yakmaların toprak özellikleri üzerine ait ortalama veriler, 0-5 cm ve 5-15cm derinlik kademesine göre verilmiştir (Çizelge 1 ve Çizelge 2).

Saturasyon

Topraktaki 0-5 cm ve 5-15cm derinlik kademelerinde ortalama en düşük saturasyon değeri yangının şiddetli olduğu alanda (%63, %58), en yüksek ise kontrol alanında (%185, %102) ölçülmüştür. Her iki derinlik kademesinde genel ortalamalar bakımından kontrol alanına göre tüm alanlarda saturasyon değerleri düşük çıkmıştır. 0-5 cm derinlik kademesinde kontrol alanı ile az, orta ve şiddetli yangın alanlarındaki saturasyon değerleri arasında farklılık bulunmaktadır ($p < 0.05$). 5-15 cm derinlik kademesinde ise istatistiksel olarak ölçüm zamanı

bakımından az şiddetli yangın alanı ve orta şiddetli yangın alanında farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$).

Toprak Reaksiyonu (pH)

Toprağın pH değeri 0-5 cm derinlik kademesinde en yüksek orta şiddetli yangın alanında (7.06), en düşük ise kontrol alanında (5.07) olarak ölçülmüştür. 5-15 cm derinlik kademesinde ise en ilgili değerler kontrol alanında sırası ile 7.29 ve 5.83 olarak belirlenmiştir. Her iki derinlik kademesinde de bütün yangın alanlarındaki pH değerleri kontrol alanlarına nazaran yüksek olduğu bulunmuştur. Yangının etkisi 5-15 cm derinlik kademesinde şiddetli alanlar hariç tüm örnekleme noktalarındaki pH değerlerindeki farklılık istatistik olarak önemli düzeyde çıkmıştır ($p<0.05$).

Elektriksel İletkenlik (EC)

Topraktaki 0-5 cm ve 5-15 cm derinlik kademesinde ortalama EC değerleri en yüksek yangının şiddetli olduğu alanda (0.57 dS/cm. 0.58 dS/cm), en düşük ise 0-5cm derinlik kademesinde kontrol alanında (0.10 dS/cm), 5-15 cm derinlik kademesinde ise yangın en şiddetinin olduğu alanda (0.19 dS/cm) ölçülmüştür. Genel olarak yangın alanlarındaki EC değerlerinin kontrol alanlarına nazaran daha fazla olduğu bulunmuştur. 5-15 cm derinlik kademesinde ise genel olarak en düşük değer az şiddetli yangın alanında tespit edilmiştir. Kontrol, orta şiddetli ve şiddetli yangın alanlarına göre diğer tüm alanlarda EC değerleri düşük çıkmış, istatistiksel olarak sadece şiddetli yangın alanında EC değerleri bakımından ölçüm zamanları arasında farklılık anlamlı seviyede bulunmuştur ($p<0.05$). Genel ortalamalar bakımından değerlendirilme yapıldığında ise kontrol alanı ile az, orta ve şiddetli yangın alanlarındaki EC değerlerindeki farklılık istatistik olarak önemli düzeyde çıkmıştır ($p<0.05$).

Organik Madde

Ortalama organik madde değerleri her iki derinlik kademesinde de en düşük yangının şiddetli olduğu alanda (%4.79, %2.96) en yüksek ise kontrol alanında (%10.30, %6.78) ölçülmüştür. Her iki derinlik kademesinde genel ortalamalar bakımından kontrol alanına göre tüm

alanlarda organik madde değerleri düşük çıkmıştır. 5-15 cm derinlik kademesinde istatistiksel olarak ise tüm alanlar arasında ölçüm zamanları bakımından kontrol alanında farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$). Genel ortalamalar bakımından değerlendirilme yapıldığında kontrol alanı ile az, orta ve şiddetli yangın alanlarındaki organik madde değerlerindeki farklılık istatistik olarak önemli düzeyde çıkmıştır ($p<0.05$).

Azot (N)

Topraktaki 0-5 cm ve 5-15 cm derinlik kademelerinde ortalama N değeri en yüksek orta şiddetli yangın alanında (%1.08. %0.62), en düşük 0-5cm derinlik kademesinde az şiddetli yangın alanında (%0.11), 5-15 cm derinlik kademesinde ise kontrol alanı ve az şiddetli yangın alanında (%0.11) ölçülmüştür. 0-5 cm derinlik kademesinde yangın ile birlikte azot değerinin kontrol alanına göre azaldığı belirlenmiştir. Ölçüm zamanları arasında orta şiddetli ve şiddetli yangın alanlarında istatistiksel bakımdan anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Ortalama değerler bakımından tüm deneme alanları arasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık çıkmıştır ($p<0.05$). 5-15cm derinlik kademesinde en yüksek azot değeri orta şiddetli yangın alanında tespit edilmiştir. Ölçüm zamanının az şiddetli yangın alanı hariç tüm örnekleme noktalarında etkisi önemli düzeyde çıktığı tespit edilmiştir ($p<0.05$). Genel olarak tüm deneme alanlarındaki azot değerleri bakımından farklılık anlamlı düzeyde çıkmıştır ($p<0.05$).

Karbon/Azot Oranı (C/N)

Karbon/azot oranı 0-5 cm derinlik kademesinde en yüksek az şiddetli yangın alanında (38.07), en düşük orta şiddetli yangın alanında (4.44), 5-15 cm derinlik kademesinde ise sırası ile kontrol alanında (176.02) ve orta şiddetli yangın alanında (4.06) ölçülmüştür. 0-5 cm derinlik kademesinde ortalama değerler bakımından kontrol alanında diğer alanlara göre daha fazla C/N oranının çıktığı belirlenmiştir. İstatistiksel olarak ise ölçüm zamanları bakımından az şiddetli yangın alanında farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$). Tüm dönemlerin ortalama değerleri üzerinden değerlendirildiğinde ise C/N oranı bakımından tüm örnekleme alanları arasından farklılık anlamlı düzeyde

çıkıştır ($p<0.05$). 5-15 cm derinlik kademesinde ise ortalama değerler kontrol alanına göre diğer tüm alanlarda C/N oranı değerleri düşük çıkmıştır. İstatistiksel olarak ölçüm periyotları arasında ise sadece orta şiddetli yangın alanında istatistik bakımdan anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$).

Fosfor (P)

Topraktaki 0-5 cm ve 5-15cm derinlik kademelerinde ortalama P değerleri en yüksek yangının en şiddetli olduğu alanda (23077ppm, 17919ppm), en düşük ise kontrol alanında (10978ppm, 7775ppm) ölçülmüştür. Her iki derinlik kademesinde genel ortalamalar bakımından kontrol alanına göre tüm alanlarda P değerleri yüksek çıkmıştır. İstatistiksel olarak ölçüm zamanları bakımından 0-5 cm derinlik kademesinde orta şiddetli yangın alanında, 5-15 cm derinlik kademesinde ise az şiddetli yangın alanında istatistik bakımdan anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$).

Kalsiyum (Ca)

Topraktaki ortalama Ca değeri en yüksek 0-5 cm derinlik kademesinde orta şiddetli yangın alanında (11014 ppm), en düşük az şiddetli yangın alanında (6299ppm), 5-15cm derinlik kademesinde ise en yüksek kontrol alanında (9704 ppm), en düşük orta şiddetli yangın alanında (4991ppm) ölçülmüştür. Genel ortalamalar bakımından 0-5 cm derinlik kademesinde kontrol alanına göre sadece orta şiddetli yangın alanındaki değer yüksek, diğer tüm alanlarda Ca değerleri düşük çıkmıştır. 5-15 cm derinlik kademesinde ise kontrol alanına göre diğer tüm alanlarda kalsiyum değerleri düşük çıkmıştır.

Magnezyum (Mg)

Topraktaki ortalama Mg değeri en yüksek 0-5 cm derinlik kademesinde az şiddetli yangın alanında (1187 ppm), en düşük kontrol alanında (0 ppm), 5-15cm derinlik kademesinde ise en yüksek ve en düşük kontrol alanında (4665ppm, 526ppm) ölçülmüştür. Genel ortalamalar bakımından kontrol alanına göre tüm alanlarda 0-5 cm derinlik kademesinde Mg değerleri yüksek, 5-15 cm derinlik kademesinde ise düşük çıkmıştır. İstatistiksel olarak ölçüm zamanı bakımından 0-5 cm derinlik kademesinde orta şiddetli yangın alanında, 5-15 cm derinlik kademesinde ise az şiddetli yangın alanı ve orta

şiddetli yangın alanında farklılık istatistik bakımdan anlamlı bulunmaktadır ($p<0.05$).

Potasyum (K)

Topraktaki ortalama K değeri en yüksek 0-5 cm derinlik kademesinde az şiddetli yangın alanında (10244 ppm), en düşük kontrol alanında (5199 ppm), 5-15cm derinlik kademesinde ise en yüksek kontrol alanında (11106 ppm), en düşük az şiddetli yangın alanında (7817 ppm) ölçülmüştür. Genel ortalamalar bakımından kontrol alanına göre tüm alanlarda 0-5 cm derinlik kademesinde K değerleri yüksek, 5-15 cm derinlik kademesinde ise düşük çıkmıştır. Her iki derinlik kademesinde genel ortalamalar bakımından kontrol alanı ile az, orta ve şiddetli yangın alanlarındaki potasyum değerleri arasında farklılık istatistik bakımdan anlamlı bulunmaktadır ($p<0.05$).

Sodyum (Na)

Topraktaki ortalama Na değeri 0-5 cm derinlik kademesinde en yüksek ve düşük (507 ppm, 190 ppm), yangın şiddetinin yüksek olduğu alanda, 5-15cm derinlik kademesinde ise en yüksek ve düşük orta şiddetli yangın alanlarında (417 ppm, 185 ppm) tespit edilmiştir. Genel ortalamalar bakımından kontrol alanına göre tüm alanlarda 0-5 cm derinlik kademesinde şiddetli yangın alanında sodyum değeri yüksek, diğer tüm alanlarda sodyum değerleri düşük çıkmıştır. 5-15 cm derinlik kademesinde ise kontrol alanına göre diğer alanlarda sodyum değerleri düşük çıkmıştır. İstatistiksel olarak ölçüm zamanları bakımından 5-15 cm derinlik kademesinde kontrol alanı ile az ve orta şiddetli yangın alanlarındaki sodyum değerleri arasında istatistik bakımdan anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$).

Toplam Kireç

Toplam kireç değeri 0-5 cm derinlik kademesinde en yüksek ve düşük (%2.05, %6.77) orta şiddetli yangın alanında, 5-15 cm derinlik kademesinde ise sırası ile yüksek şiddetli yangın (%11.41) ve orta şiddetli yangın alanında (%2.27) ölçülmüştür. Genel ortalamalar bakımından kontrol alanına göre 0-5 cm derinlik kademesinde şiddetli ve az şiddetli yangın alanlarında toplam kireç değeri düşük, diğer alanlarda toplam kireç değerleri yüksek, 5-15 cm derinlik kademesinde ise

kontrol alanına göre az şiddetli yangın alanı ve şiddetli yangın alanında toplam kireç değerleri yüksek, orta

şiddetli yangın alanında toplam kireç değerleri düşük çıkmıştır.

Çizelge 1. Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra*) meşçeresindeki 0-5cm derinlik kademesinden alınan toprak özelliklerine ait veriler

Özellikler	Örnek Alan Türü	Eki.20	Şub.21	May.21	Ağu.21	Eki.21	Genel Ort.	Önem düzeyi	
Saturasyon (%)	Az şiddetli	146	130	115	103	108	120	0.836	p>0.05
	Orta şiddetli	137	169	106	76	130	123	0.271	p>0.05
	Şiddetli	121	143	121	63	66	103	0.375	p>0.05
	Kontrol	177	185	110	111	113	139	0.836	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.335	0.606	0.848	0.081	0.324	0.008		
pH	Az şiddetli	5.92	6.17	6.24	5.76	6.32	6.08	0.935	p>0.05
	Orta şiddetli	6.1	6.04	7.06	6.56	6.23	6.39	0.501	p>0.05
	Şiddetli	6.46	6.47	6.4	6.96	6.63	6.58	0.284	p>0.05
	Kontrol	5.07	5.4	5.72	6.78	6.12	5.82	0.125	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.415	0.572	0.376	0.178	0.300	0.163		
Ec (dS/cm)	Az şiddetli	0.34	0.28	0.34	0.2	0.22	0.28	0.652	p>0.05
	Orta şiddetli	0.31	0.16	0.26	0.24	0.24	0.24	0.777	p>0.05
	Şiddetli	0.56	0.27	0.27	0.47	0.57	0.43	0.188	p>0.05
	Kontrol	0.1	0.23	0.3	0.28	0.21	0.22	0.207	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.059	0.895	0.814	0.087	0.000	0.580		
Organik madde (%)	Az şiddetli	7.42	7.17	7.38	7.22	5.59	6.96	0.686	p>0.05
	Orta şiddetli	7.2	8.13	6.49	6.16	7.26	7.05	0.785	p>0.05
	Şiddetli	7.68	7.52	6.74	4.79	4.96	6.33	0.49	p>0.05
	Kontrol	10.3	8.52	6.29	6.62	6.9	7.73	0.115	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.156	0.600	0.979	0.221	0.633	0.064		
N (%)	Az şiddetli	0.64	0.91	0.52	0.11	0.29	0.49	0.222	p>0.05
	Orta şiddetli	0.47	1.08	0.54	0.32	0.46	0.57	0.031	p<0.05
	Şiddetli	0.66	0.76	0.66	0.3	0.23	0.52	0.051	p<0.05
	Kontrol	0.75	0.83	0.46	0.71	0.39	0.63	0.126	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.759	0.268	0.679	0.209	0.272	0.000		
C/N oranı	Az şiddetli	7.62	4.59	9.35	38.07	11.29	14	0.001	p<0.05
	Orta şiddetli	9.5	4.44	6.89	12.37	9.44	9	0.343	p>0.05
	Şiddetli	7.38	5.88	5.83	9.93	13	8	0.365	p>0.05
	Kontrol	8.06	6.02	9.69	5.39	10.54	8	0.289	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.966	0.365	0.132	0.027	0.812	0.044		
P (ppm)	Az şiddetli	15417	12399	19138	18322	15301	16115	0.24	p>0.05
	Orta şiddetli	12356	13585	17781	16754	20551	16205	0.027	p<0.05
	Şiddetli	13697	13347	17011	23077	20568	17540	0.35	p>0.05
	Kontrol	12088	17844	13585	10978	13327	13564	0.326	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.361	0.85	0.258	0.075	0.007	0.223		
Ca (ppm)	Az şiddetli	9621	8601	9340	6299	6834	8139	0.373	p>0.05
	Orta şiddetli	6608	11014	9896	8080	8998	8919	0.082	p>0.05
	Şiddetli	8055	8465	8348	8586	7177	8126	0.976	p>0.05
	Kontrol	8619	10376	8462	8525	8034	8803	0.582	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.675	0.317	0.862	0.839	0.674	0.301		
Mg (ppm)	Az şiddetli	941	172	886	1187	1164	870	0.144	p>0.05
	Orta şiddetli	1094	263	1121	865	1034	875	0.048	p<0.05
	Şiddetli	583	457	926	1165	1155	857	0.532	p>0.05
	Kontrol	0	724	286	411	801	444	0.418	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.180	0.635	0.352	0.312	0.033	0.236		
K (ppm)	Az şiddetli	6311	6125	6201	6622	8243	6700	0.552	p>0.05
	Orta şiddetli	7858	6509	7760	6500	9276	7580	0.825	p>0.05
	Şiddetli	8137	9204	7715	8876	10244	8835	0.983	p>0.05
	Kontrol	5715	6077	5199	6014	8716	6344	0.178	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.455	0.942	0.542	0.355	0.580	0.047		
Na (ppm)	Az şiddetli	281	277	274	200	257	257	0.704	p>0.05
	Orta şiddetli	238	331	259	202	284	262	0.288	p>0.05
	Şiddetli	190	507	272	232	298	300	0.44	p>0.05
	Kontrol	391	251	193	213	399	289	0.088	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.010	0.578	0.400	0.259	0.193	0.081		
Toplam kireç (%)	Az şiddetli	3.1	2.76	2.75	2.12	3	2.75	0.35	p>0.05
	Orta şiddetli	2.05	2.67	2.68	6.77	3.21	3.48	0.39	p>0.05
	Şiddetli	2.69	3.16	3.09	2.93	3	2.97	0.86	p>0.05
	Kontrol	3.14	2.84	3.05	3.13	3.26	3.08	0.96	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.24	0.72	0.77	0.42	0.92	0.63		

Çizelge 2. Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra*) Meşçeresindeki 5-15 cm derinlik kademesinden alınan toprak özelliklerine ait veriler

Özellikler	Örnek Alan Türü	Eki.20	Şub.21	May.21	Ağu.21	Eki.21	Genel Ort.	Önem düzeyi	
Saturasyon (%)	Az şiddetli	67	85	67	62	69	70	0.018	p<0.05
	Orta şiddetli	77	76	68	62	66	70	0.021	p<0.05
	Şiddetli	76	80	69	58	61	69	0.226	p>0.05
	Kontrol	75	85	102	73	75	82	0.58	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.700	0.352	0.417	0.026	0.477	0.071		
pH	Az şiddetli	6.91	6.77	6.85	6.74	6.85	6.82	0.984	p>0.05
	Orta şiddetli	6.69	6.63	7.14	7.09	6.65	6.84	0.374	p>0.05
	Şiddetli	6.87	6.62	6.67	6.63	6.69	6.7	0.868	p>0.05
	Kontrol	6.12	6.31	5.83	7.29	7.11	6.53	0.277	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.050	0.562	0.544	0.006	0.257	0.027		
Ec (dS/cm)	Az şiddetli	0.25	0.27	0.28	0.2	0.22	0.24	0.463	p>0.05
	Orta şiddetli	0.28	0.27	0.33	0.31	0.21	0.28	0.205	p>0.05
	Şiddetli	0.58	0.2	0.22	0.19	0.21	0.28	0.002	p<0.05
	Kontrol	0.33	0.27	0.27	0.27	0.25	0.28	0.936	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.110	0.419	0.554	0.007	0.749	0.001		
Organik madde (%)	Az şiddetli	4.4	4.43	4.03	3.88	3.73	4.09	0.814	p>0.05
	Orta şiddetli	3.85	4.28	4.45	4.78	4.23	4.32	0.419	p>0.05
	Şiddetli	6.39	5.11	4.57	4.29	2.96	4.66	0.113	p>0.05
	Kontrol	5.52	6.74	6.78	4.53	4.35	5.58	0.005	p<0.05
	Önem Düzeyi	0.024	0.355	0.089	0.008	0.141	0.024		
N (%)	Az şiddetli	0.15	0.54	0.18	0.17	0.11	0.23	0.006	p<0.05
	Orta şiddetli	0.27	0.62	0.41	0.13	0.13	0.31	0	p<0.05
	Şiddetli	0.25	0.49	0.16	0.05	0.07	0.2	0.01	p<0.05
	Kontrol	0.11	0.29	0.44	0.51	0.18	0.3	0.234	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.52	0.037	0.328	0.001	0.11	0.002		
C/N oranı	Az şiddetli	16.92	4.77	13.59	19.27	20.13	15	0.359	p>0.05
	Orta şiddetli	8.5	4.06	6.31	22.76	18.88	12	0.028	p<0.05
	Şiddetli	15.04	5.99	18.37	53.51	31.41	25	0.121	p>0.05
	Kontrol	176	14.1	12.65	5.15	14.4	44	0.468	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.517	0.011	0.248	0.093	0.351	0.357		
P (ppm)	Az şiddetli	14624	14989	12962	16273	16073	14984	0.038	p<0.05
	Orta şiddetli	12342	15607	14833	15201	14988	14594	0.535	p>0.05
	Şiddetli	15515	13641	14599	17919	16613	15657	0.705	p>0.05
	Kontrol	14076	14587	7775	14458	15186	13216	0.525	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.712	0.874	0.539	0.113	0.684	0.146		
Ca (ppm)	Az şiddetli	5626	7666	5838	6241	5671	6208	0.656	p>0.05
	Orta şiddetli	6694	8061	7526	7346	4991	6923	0.369	p>0.05
	Şiddetli	8502	7469	5512	5647	5573	6540	0.488	p>0.05
	Kontrol	6498	7843	9410	9299	9704	8551	0.662	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.819	0.966	0.324	0.083	0.151	0.614		
Mg (ppm)	Az şiddetli	1131	911	1140	1155	1146	1096	0	p<0.05
	Orta şiddetli	1168	977	1155	1185	1166	1130	0	p<0.05
	Şiddetli	1158	730	1140	1156	1156	1068	0.092	p>0.05
	Kontrol	526	1146	4665	1043	960	1668	0.424	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.031	0.106	0.460	0.011	0.206	0.447		
K (ppm)	Az şiddetli	9864	10397	7817	8392	10344	9362	0.566	p>0.05
	Orta şiddetli	9050	10671	8934	8206	9405	9253	0.44	p>0.05
	Şiddetli	9633	9560	8892	10368	10380	9766	0.763	p>0.05
	Kontrol	9097	9850	10469	8945	11106	9893	0.437	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.825	0.966	0.504	0.021	0.758	0.006		
Na (ppm)	Az şiddetli	283	396	219	245	221	273	0.002	p<0.05
	Orta şiddetli	211	417	242	206	185	252	0.025	p<0.05
	Şiddetli	265	342	221	264	214	261	0.539	p>0.05
	Kontrol	331	282	234	226	353	285	0.003	p<0.05
	Önem Düzeyi	0.137	0.219	0.710	0.193	0.059	0.005		
Toplam kireç (%)	Az şiddetli	3.03	2.92	3.33	5.3	2.51	3.42	0.63	p>0.05
	Orta şiddetli	2.77	3.38	5.5	2.36	2.27	3.26	0.29	p>0.05
	Şiddetli	2.84	11.41	2.67	2.59	2.43	4.39	0.43	p>0.05
	Kontrol	3.54	3.32	3.78	2.97	2.92	3.3	0.83	p>0.05
	Önem Düzeyi	0.27	0.58	0.46	0.62	0.02	0.91		

TARTIŞMA

Saturasyon; karaçam meşçeresinde 0-5 cm derinlik kademesinde toprak genellikle ağır killi (%23.9), 5-15 cm derinlik kademesinde ise killi toprak (%22.1) olarak bulunmuştur. Alanların genel durumuna bakıldığında her iki derinlik kademesinde de (0-5 cm. 5-15 cm) yangının saturasyon değerinin azaldığı görülmüştür. Yangınla beraber ağır bünyeli topraklardan hafif bünyeli topraklara geçişi gözlemlenmiştir. Alanlarda saturasyon değerinin düşmesi kontrollü yakma uygulamasının toprakta iyileşme yaptığını doğrulamaktadır. Düşük şiddetli yangınlarda organik madde hızlı ayrılarak toprağa karışmış toprağın su tutma ve havalanma kapasitesi olumlu etkilemiştir (Melillo ve ark. 2002). Tiryaki Güngör ve ark. (2023), yaptıkları kontrollü yakmada kil miktarının kontrol alanına nazaran yangın alanlarında azaldığı, kil miktarının en düşük şiddetli yangın alanında (%11.4), en yüksek kontrol alanında (%23.7) bulunduğu, yangın şiddeti ile birlikte bu azalış belirgin şekilde ortaya çıktığını ifade etmişlerdir.

Toprak pH içeriklerine göre 4.5-5.5 (orta asitli), 5.5-6.5 (hafif asitli), 6.5-7.5 (nötr) olarak sınıflandırılmaktadır (Ülgen ve Yurtsever 1995). Karaçam meşçeresinde kontrol alanında pH değerleri 0-5 cm derinlik kademesinde 5.8 ve 5-15 cm derinlik kademesinde 6.5 olarak bulunmuştur. Topraklar hafif asitli sınıfta yer almıştır. Yakma alanlarındaki pH değerleri kontrol alanına göre artmıştır. Ayrıca 0-5 cm derinlik kademesinde kontrol alanına göre pH değeri yangının şiddetli olduğu alanda 0.8 artmıştır. Bu çalışmanın sonuçları ile benzer şekilde araştırmacılar da toprak pH değerinin yangından sonra arttığını belirtmişlerdir (Kaptanoğlu ve ark. 2018, Kaptanoğlu ve Namlı 2019, Küçük 2006). Bu artışın nedenini ise toprak yüzeyinin bitki besin maddesi bakımından zengin kül tabakası ile kaplanması ve külün kimyasal bileşiminin karbonatlar, oksitler ve baz katyonlardan oluşması olarak ifade etmişlerdir (Pereira ve ark. 2011). Xue ve ark. (2014), çalışmasında verdiği değerlerde yangın öncesi pH değerinin 4.6 olduğu yangından kısa süre sonra 5.6'ya çıktığını ancak yangından sonra dört ve yedinci yılda değerlerin 4.4-4.6 arasında olduğunu belirtmiştir.

EC değerlerine göre toprak tuzluluk sınıflandırmasında <0.98 dS/cm "tuzsuz toprak" olarak belirtilmiştir (Richards 1954). Karaçam meşçeresinde kontrol alanında EC değeri 0-5 cm derinlik kademesinde 0.22dS/cm ve 5-15 cm derinlik kademesinde 0.28dS/cm olarak bulunmuş, toprak tuzsuz topraklar sınıfında yer almıştır. Bazı çalışmalarda az şiddetli yangınlarda EC değerinde önemli bir değişimin olmadığı belirtilmiş olmasına rağmen (Akburak ve ark. 2018, Fernández-García ve ark. 2019) orman yangınlarında organik maddenin yanmasıyla ortaya çıkan katyonların ve külün toprağa karışması ile (Certini 2005) topraktaki EC değeri çalışmamıza benzer şekilde artmaktadır (Francos ve ark. 2019, Kaptanoğlu ve Namlı 2019). Yangın şiddetinin artması bu değişim daha belirgin hale getirmekte ve EC değeri yangınla beraber azalmaktadır (Brye 2006). Bu duruma yanan materyal çeşidi yanma sıcaklığı ve yanan alanın tür farklılığı sebep olarak gösterilmektedir.

Organik madde bakımından değerlendirildiğinde <%5.15 toprak yüksek miktarda organik madde içermektedir (Charman ve Roper 2000). Karaçam meşçeresinde organik madde kontrol alanında 0-5 cm derinlik kademesinde %7.73 ve 5-15 cm derinlik kademesinde ise %5.58 olarak bulunmuş, toprakların yüksek miktarda organik madde içerdiği belirlenmiştir. Yakma alanlarındaki organik madde miktarı kontrol alanlarına göre azalmaktadır. Bu durum kontrollü yakma uygulamalarında ayrılmayan organik maddenin yakılarak toprağa katılmasının bir göstergesidir. Yapılan çalışmalarda yangınla birlikte toprak organik maddesinin azaldığı (Kaptanoğlu ve Namlı 2019, Moya ve ark. 2019), değişmediği (Goberna ve ark. 2012) veya arttığı (Hu ve ark. 2020) tespit edilmiştir. Çalışmamıza benzer şekilde Aref ve ark. (2011) çalışmalarında yangından önce %9.5 olan organik maddenin yangından sonra %3.71'e gerilediği ve istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Orta şiddetli yangınlar ve örtü yangınlarının etkilerinin belirlendiği çalışmalarda ise organik madde miktarında yangın sonrası istatistiksel olarak bir fark oluşturmadığı literatürde yer almakta, yangın sonrasında toprak üzerindeki organik maddenin azalması, organik maddede bağlı bulunan N'in bu katmanda azalması anlamına gelmektedir (Tüfekçioğlu ve Tüfekçioğlu 2021).

Toplam azot değerlerine göre >0.501 (çok yüksek), %0.251-%0.500 (yüksek) ve %0.151-%0.250 (orta) sınıflandırılmaktadır (Bruce ve Rayment 1982). Karaçam meşceresinde kontrol alanında 0-5 cm ve 5-15 cm derinlik kademelerinde sırasıyla toplam azot %0.63 ve %0.30 olarak bulunmuştur. Toprak çok yüksek ve yüksek miktarda toplam azot içermektedir. Yakma alanlarındaki toplam azot miktarı kontrol alanına göre %7.41 değer azalmaktadır. Çalışmamızdan farklı olarak Tiryaki Güngör ve ark. (2023), toprak azot bakımından yangınla beraber önemli derecede artışın olduğunu belirtmiştir. En düşük azot içeriği kontrol alanında (%0.43), en yüksek azot içeriği ise yangının şiddetli olduğu alanda (%0.76) belirlenmiştir. Alanlar arasındaki farklılık azot içeriği bakımından önemli düzeyde çıkmıştır. Kahveci (2016), yapmış oldukları çalışmada çalışmamıza benzer şekilde yangının topraktaki azotu azalttığı sonucunu bulmuşlardır. Bu durum, yakma sırasında ısı enerjisinin açığa çıkması nedeniyle toplam azotun buharlaşıp alandan uzaklaşması ve yakma işlemi ile uygun ortam hem simbiyotik hem de simbiyotik olmayan yollardan azotun bağlanma hızıyla açıklanabilmektedir. Toplam azot miktarındaki artış, özellikle kontrollü yakma ile düşük yoğunlukta gerçekleşir ve bunun temel sebepleri azot açısından zengin küllerin toprağa eklenmesi ile daha fazla azot açığa çıkaran organik maddelerin daha yüksek oranda mineralleşmesidir. (Ferrer ve ark. 2021, Wan ve ark. 2021).

Karaçam meşceresinde 0-5 cm derinlik kademesinde kontrol alanına göre diğer alanlarda C/N oranında en fazla artış %12.2'dir. Bu durumun topraktaki organik karbondan kaynaklandığı düşünülmektedir. 5-15 cm derinlik kademesinde ise kontrol alanına göre diğer alanlarda en fazla azalma %16.7 olmuştur. Genellikle yangın sonrası karbonun azalması (Moya ve ark. 2019) azotun artması (Hosseini ve ark. 2017) ile birlikte C/N oranında bir azalma (Kaptanoğlu ve ark. 2018) beklenmektedir. Organik karbon içeriğindeki azalma bu duruma bağlanmakta ve yangın sonrasındaki azot mineralizasyonunda artış beklenmektedir (Tecimen ve Sevgi 2011). Tiryaki Güngör ve ark. (2023), C/N oranı değerlerinin en düşük şiddetli yangın alanında (7.9), en yüksek ise kontrol alanında (14.6) bulunmuştur. Yapılan

diğer çalışmalarda ise C/N değerinin yangından sonra artış gösterdiği ifade edilmiştir (Gundale ve ark. 2005).

Topraklar fosfor içeriklerine göre > 80.0 (mg/kg= ppm) "çok fazla" olarak sınıflandırılmıştır (FAO 1990). Karaçam meşceresinde kontrol alanda fosfor değeri 0-5 cm derinlik kademesinde 13564 ppm ve 5-15cm derinlik kademesinde 13216 ppm olarak, topraktaki fosfor miktarı çok fazla bulunmuştur. Yakma alanlarındaki fosfor miktarı kontrol alanına göre 0-5cm derinlik kademesinde en fazla %5.1, 5-15 cm derinlik kademesinde ise %3.3 artmıştır.

Topraklar kalsiyum içeriklerine göre > 2860 (mg/kg= ppm) "yüksek" olarak sınıflandırılmıştır (Loue 1968). Karaçam meşceresinde kontrol alanında kalsiyum 0-5 cm derinlik kademesinde 8803 ppm ve 5-15 cm derinlik kademesinde 8551 ppm olarak bulunmuştur. Topraklar yüksek miktarda kalsiyum içermektedir. Kalsiyum miktarı 0-5 cm derinlik kademesinde yakma alanlarında kontrol alanına göre %0.3 artmakta, 5-15 cm derinlik kademesine göre %6.54 azalmaktadır.

Topraklar magnezyum içeriklerine göre >115 (mg/kg=ppm) "yüksek" olarak sınır değerlerine göre sınıflandırılmıştır (Loue 1968). Karaçam meşceresinde kontrol alanında magnezyum değeri 0-5 cm derinlik kademesinde 444 ppm ve 5-15 cm derinlik kademesinde 1668 ppm olarak bulunmuştur. Toprak yüksek miktarda magnezyum içermektedir. 0-5 cm derinlik kademesinde yakma alanlarındaki kalsiyum miktarı kontrol alanına göre (%11.59) artmakta, 5-15 cm derinlik kademesine göre (%16.64) azalmaktadır.

Topraklar potasyum içeriklerine göre >1000 (mg/kg=ppm) "çok fazla" olarak sınıflandırılmıştır (FAO 1990). Karaçam meşceresinde kontrol alanında potasyum 0-5 cm derinlik kademesinde 6344 ppm ve 5-15 cm derinlik kademesinde 9853 ppm olarak bulunmuştur. Toprak çok fazla miktarda potasyum içermektedir. Toprakta 0-5 cm derinlik kademesinde yakma alanlarındaki potasyum miktarı kontrol alanına göre %6.11 değer artmakta, 5-15 cm derinlik kademesine göre %1.34 değer azalmaktadır.

Topraklar sodyum içeriklerine göre 68-320 (mg/kg= ppm) arasında orta, 320-460 (mg/kg= ppm) arasında yüksek olarak sınıflandırılmıştır (Metson 1961). Karaçam meşçeresinde kontrol alanında sodyum 0-5 cm derinlik kademesinde 289 ppm ve 5-15 cm derinlik kademesinde 285 ppm olarak bulunmuştur. Toprak orta miktarda sodyum içermektedir. 0-5 cm derinlik kademesinde şiddetli yakma alanlarındaki sodyum miktarı kontrol alanına göre %3.45 değer artmakta, diğer alanlarda %2.21 değer azalmaktadır. Toprak 5-15 cm derinlik kademesine göre yakma alanlarında %2.39 değer azalmaktadır.

Yakma uygulamasından sonra kül tabakası toprağa karışmakta ve toprak besin maddesi bakımından artmaktadır. Genel olarak çalışma alanlarından elde edilen bulgular ile topraktaki fosfor, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum gibi mevcut besin maddelerinin literatürde belirtildiği gibi artması beklenmektedir. Ancak bulgular değerlendirildiğinde P, Ca, Mg, K, Na miktarlarında bazı alanlarda kontrol alanlarına göre azalmaktadır bu durum istatistik olarak fark oluşturmamaktadır. Karaçam meşçeresinde genellikle P, Ca, Mg, K, Na değerleri yakma alanlarında literatüre uyumlu olarak artmaktadır. Yapılan çalışmalarda yangınlardan sonra fosfor (P) miktarında artışın olması (Kaptanoğlu ve Namlı 2019), magnezyum (Mg), kalsiyum (Ca), potasyum (K) ve sodyum (Na) gibi mevcut katyonların da kontrollü yangınlardan sonra artması (Shakesby ve ark. 2015) veya en azından düşük yoğunluklu yangınların ardından konsantrasyonunda değişiklik olmaması (Neill ve ark. 2007) beklenmektedir.

Topraklar kireç içeriklerine göre %2-%4 az kireçli, %4-%8 orta kireçli olarak sınıflandırılmıştır (Hızalan ve Ünal 1966). Karaçam meşçeresinde kontrol alanında kireç 0-5 cm derinlik kademesinde %3.08 ve 5-15 cm derinlik kademesinde %3.30 olarak bulunmuştur. Topraklar az kireçli sınıfında yer almakta ve toprak kireç sınıflandırması değişmemektedir. Karaçam meşçeresinde 0-5 cm derinlik kademesinde orta şiddetli yakma alanlarındaki kireç miktarı kontrol alanına göre %0.52 değer artmakta, diğer alanlarda %2.13 değer azalmaktadır. Toprak 5-15 cm derinlik kademesine göre orta şiddetli yakma alanında azalmakta diğer alanlarda %6.13 değer artmaktadır. Bu çalışma ile benzer şekilde Goforth ve ark. (2005), orman

yangınından sonra toprak yüzeyinde meydana gelen külde toprağa karışmak üzere yüksek miktarda kirecin birikmiş olduğunu, ibreli ağaçların yoğun olduğu kısımlardan yangın sonrası alınan küllerde daha üniform hâlde oluşan alkan oksitlerin CaCO₃ oluşumu için alınabilir hâlde bulunduğunu belirtmişlerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kontrollü yakma uygulaması sonrasında karaçam meşçeresi toprak üzerindeki kül rengi ve miktarı dikkate alınarak farklı şiddet sınıflarına ayrılmış, farklı iki derinlik kademesi (0-5 cm, 5-15 cm) olarak örneklenmiştir. Toprak, yanma koşullarına bağlı olarak 0-5 cm derinlik kademesinde daha fazla etkilenmiştir. Şiddetli ve büyük orman yangınlarının toprak özellikleri üzerine olan olumsuz etkisi kontrollü yakma uygulaması yaptığımız alanlarda görülmemiştir. Aksine yangın şiddetinin düşük olması, yanıcı madde tüketiminin az olması gibi faktörler toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini olumlu olarak etkilenmiştir. Literatürdeki sınır değerleri baz alınarak yakma sahaları kontrol alanlarına göre karşılaştırılmıştır.

Bu anlamda toprak saturasyon değerlerinin düşük çıkması, toprağın su tutma ve havalanma kapasitesine olumlu yönde etkilemiştir. Toprakta; pH ve EC değerleri artmakta, organik madde ve N miktarı azalmaktadır. C/N oranı organik karbona bağlı olarak artmaktadır. P, Ca, Mg, K, Na ve kireç değerleri de tüm alanların en az birinde artmaktadır. Elde edilen sonuçlar literatür ile ilişkilidir. Toprak özellikleri bakımından zamana bağlı olarak olumlu bir değişim meydana gelmiştir. Kontrollü yakma uygulamaları tohumu toprakla buluştururken, toprak yüzeyinde biriken ölü örtü yakma ile toprağa katılmakta ve toprak bitki besin elementlerince daha zengin olmaktadır. Ancak çalışma alanlarından elde edilen bulgular doğrultusunda toprak besin maddesi bakımından yeterli düzeydedir.

Bu açıdan değerlendirildiğinde yakma uygulamaları her ne kadar toprak özelliklerinde iyileşme meydana getirirse de özellikle besin maddesince yeterli olan topraklarda uygulanması ayrışmanın yavaş olduğu çam meşçerelerinde ölü örtü birikimini azaltmaya, tohumu toprakla buluşturmaya ve daha şiddetli orman

yangınlarının zararını önlemeye yönelik olduğu anlaşılmaktadır. Kısa mesafelerde değişebilen toprak özelliklerinden dolayı kontrollü yakma uygulamalarının toprak özellikleri üzerine uzun dönem etkilerinin belirlenmesi konusunda çalışmalar daha fazla yapılmalıdır.

Özellikle ülkemizde binlerce hektar ormanın her yıl gençlestirmesi bu alanlardaki silvikültürel faaliyetlerin hem daha kısa zamanda hem de çok daha düşük maliyetle kontrollü yakma tekniği ile işletme amaçlarına ulaştırılması mümkün olabilmektedir. Kontrollü yangınların ekolojik etkilerini ele alan çalışma sayısı oldukça sınırlı olması sebebiyle bu tür sahalarda uygulamanın nasıl bir etki oluşturduğu uygulayıcılar tarafından bilinmemektedir. Aksine doğal yangınların

ekosistem üzerinde oluşturduğu etkileri ortaya koyan çok sayıda çalışma mevcuttur. Kontrollü yakma uygulamasının düşük şiddetli olması toprak üzerindeki birikmiş yanıcı madde türü ve miktarını azaltmakta ve yüksek şiddetli orman yangınlarının toprak üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmektedir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, sorumlu yazarın Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlamış olduğu doktora tezinin bir bölümünden oluşmaktadır. Ayrıca, bu çalışma TÜBİTAK 1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında 122O425 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Agee JK (1998) Ecology and Biogeography of Pinus. Ecology and Biogeography of Pinus, D. M. In: Richardson (Ed.), Cambridge University Press, UK. Press, UK.
- Akburak S, Son Y, Makineci E, Çakır M (2018) Impacts of low-intensity prescribed fire on microbial and chemical soil properties in a Quercus frainetto forest. *Journal for Research*, 29 (3): 687–696. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0486-4>
- Allison LE, Moodie CD (1965) Carbonate. In C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1379-1396.
- Aref IM, El Atta HA, Mohamed AI Ghamde AR (2011) Effect of forest fires on tree diversity and some soil properties. *International Journal of Agriculture & Biology*, 13(5):659-664.
- Bilgili E, Küçük Ö, Sağlam B, Coşkun A (2021) Büyük Orman Yangınları, Sebepleri, Organizasyonu ve İdaresi. TÜBA, Ankara.
- Bruce RC, Rayment GE (1982) Analytical methods and interpretations used by the agricultural chemistry branch for soil and land use surveys. Queensland Department of Primary Industries Bulletin QB82004.
- Brye KR (2006) Soil physicochemical changes following 12 years of annual burning in a humid subtropical tallgrass prairie: a hypothesis. *Acta Oecologica*, 30: 407–413. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2006.06.001>
- Certini G (2005) Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143(1):1–10. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8>
- Certini G, Scalenghe R (2021) Soil is the best testifier of the diachronous dawn of the Anthropocene. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, (1): 1-4. <https://doi.org/10.1002/jpln.202000481>
- Charman PEV, Roper MM (2000) Soil Organic Matter. In: (Eds. P.E.V. Charman and B.W. Murphy) Soil: Their Properties and Management. 2nd Ed. Oxford University Press, 260-270.
- Dems CL, Taylor AH, Smithwick EA, Kreye JK, Kaye MW (2021) Prescribed fire alters the structure and composition of a mid-Atlantic oak forest up to eight years after burning. *Fire Ecology*, 17(1): 1–13. <https://doi.org/10.1186/s42408-021-00093-5>
- FAO (1990) Micronutrient. Assessment at the Country Level: An International Study. FAO Soil Bulletin by Mikko Sillanpaa. Rome.
- Fellows AW, Flerchinger GN, Lohse KA, Seyfried MS (2018) Rapid recovery of gross production and respiration in a mesic mountain big sagebrush ecosystem following prescribed fire. *Ecosystems*, 21(7):1283–1294. <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0218-9>
- Fernández-García V, Marcos E, Fernández-Guisuraga JM, Taboada A, Suárez-Seoane S, Calvo L (2019) Impact of burn severity on soil properties in a *Pinus pinaster* ecosystem immediately after fire. *International Journal of Wildland Fire*, 28(5):354–364. <https://doi.org/10.1071/WF18103>
- Ferrer I, Thurman EM, Zweigenbaum JA, Murphy SF, Webster JP, Rosario-Ortiz FL (2021) Wildfires: identification of a new suite of aromatic polycarboxylic acids in ash and surface water. *Science of the Total Environment*, 770:144661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144661>
- Franco M, Pereira P, Úbeda X (2019) Effect of pre- and post-wildfire management practices on plant recovery after a wildfire in Northeast Iberian Peninsula. *Journal of Forestry Research*, December 1-15.
- Franco M, Úbeda X (2021) Prescribed fire management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 21: 100250. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100250>
- Goberna M, García C, Insam H, Hernández MT, Verdú M (2012) Burning fire-prone Mediterranean shrublands: immediate changes in soil microbial community structure and ecosystem functions. *Microbial Ecology*, 64:242-255. <https://doi.org/10.1007/s00248-011-9995-4>
- Goforth BR, Graham RC, Hubbert KR, Zanner CW, Minnich RA (2005) Spatial distribution and properties of ash and thermally altered soils after high-severity forest fire, southern California. *International Journal of Wildland Fire*, 14: 343-354. <https://doi.org/10.1071/WF05038>
- Gundale MJ, DeLuca TH, Fiedler CE, Ramsey PW, Harrington MG, Gannon JE (2005) Restoration treatments in a Montana ponderosa pine forest: effects on soil physical, chemical and biological properties. *Forest Ecology Management*, 213: 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.015>

- Gülcur F (1974) Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No:201.
- Hızalan E, Ünal H (1966) Topraklarda Önemli Kimyasal Analizler. A. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 278, Ankara.
- Hiers JK, O'Brien JJ, Varner JM, Butler BW, Dickinson M, Furman J, Gallagher M, Godwin D, Goodrick SL, Hood SM, Hudak A (2020) Prescribed fire science: the case for a refined research agenda. *Fire Ecology*, 16(1): 1–15. <https://doi.org/10.1186/s42408-020-0070-8>
- Hosseini M, Geissen V, González-Pelayo O, Serpa D, Machado AI, Ritsema C, Keizer JJ (2017) Effects of frequent occurrence and recurrence on nitrogen and phosphorus losses by overland flow in maritime pine plantations in north-central Portugal. *Geoderma*, 289: 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.033>
- Hu M, Song J, Li S, Li Z, Hao Y, Di M, Wan S (2020) Understanding the effects of free and nitrogen addition on soil respiration of a field study by combining observations with a meta-analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 292:108106. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108106>
- Kacar B (2009) Toprak Analizleri. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kahveci Ü (2016) Yangın görmüş kızılçam meşcerelerinde azot mineralleşme potansiyelinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Kalra YP, Maynard DG (1991) Methods manual for forest soil and plant analysis. *Forestry Canada Northern Forestry Publication*. Alberta, Canada.
- Kaptanoğlu AS, Namlı A (2019) Orman yangınının ve yangın sonrası boşaltma kesimlerinin toprak özelliklerine etkisi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 6(1):29-46. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.430649>
- Kaptanoğlu AS, Tavşanoğlu Ç, Turgay OC (2018) Soil chemistry and microbial activity after a surface fire in a mixed temperate forest. *Eurasian Journal of Forest Science*, 6(4): 1-13. <https://doi.org/10.31195/ejejfs.451884>
- Küçük M (2006) Genç karaçam meşcerelerinde yangının toprak solunumu, kök kütlesi ve toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Küçük Ö, Sevinç V (2023) Fire behavior prediction with artificial intelligence in thinned black pine (*Pinus nigra* Arnold) stand. *Forest Ecology and Management*, 529:120707. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120707>
- Loue A (1968) Diagnostique Petiolaire de Prospection. Etudes Sur la Nutrition et al Fertilisation Potassiques de la Vigne. Société Commerciale des Potasses d'Alsace Services Agronomiques, 31-41.
- Melillo JM, Steudier PA, Aber JD, Newkirk K, Lux H, Bowles FP, Morrisseau S (2002) Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. *Science*, 298 (5601): 2173-2176. <https://doi.org/10.1126/science.1074153>
- Metson AJ (1961) Methods of Chemical Analysis of Soil Survey Samples. Govt. Printers, Wellington, New Zealand, Pages: 64.
- Moya D, González-De Vega S, Lozano E, García-Orenes F, MataixSolera J, Lucas-Borja ME, de Las HJ (2019) The burn severity and plant recovery relationship affects the biological and chemical soil properties of *Pinus halepensis* Mill. stands in the short and mid-terms after Wildfire. *Journal of Environmental Management*, 235: 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.029>
- Neill C, Patterson WA, Crary DW (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. Manag.*, 250, 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.023>
- Page AL, Miller RH, Keeney DR (1982) Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd Edition. Agronomy Monograph, Vol. 9. American Society of Agronomy. Madison, WI, 1142pp. 2.
- 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. *Environment Research*, 111: 237–247. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.09.002>
- Richards LA (1954) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. US Department of Agriculture, Forest Service, 60.
- Ryan KC (2002) Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems. *Silva Fennica*, 36: 13–39.
- Shakesby RA, Bento CPM, Ferreira CSS, Ferreira AJD, Stoof CR, Urbanek E, Walsh RPD (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. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.012>
- Tecimen HB, Sevgi O (2011) Heating induced changes in mineral nitrogen and organic carbon in relation with temperature and time. *J Environ Biol*, 32(3/4):295–300.
- Tiryaki Güngör AG, 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. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1383034>
- Tüfekçioğlu A, Tüfekçioğlu M (2021) Yangın Sonrası Orman Toprağında Meydana Gelen Değişim ve Etkileşimler. TÜBA, Ankara.
- Tüzüner A (1990) Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, s: 61-73.
- Ülgen N, Yurtsever N (1995) Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, Ankara, s.230.
- Wan X, Li C, Parikh SJ (2021) Chemical composition of soil-associated ash from the southern California Thomas fire and its potential inhalation risks to farmworkers. *Journal of Environmental Management*, 278:111570. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111570>
- Xue L, Li Q, Chen H (2014) Effects of a wildfire on selected physical, chemical, and biochemical soil properties in a *Pinus massoniana* forest in South China. *Forests*, 5(12): 2947-2966. <https://doi.org/10.3390/f5122947>