



Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra*) Gençleştirme Meşcerelerinde Kontrollü Yakmanın Mikroeklembacıklı Üzerine Etkileri^[*]

Ayşegül Gözde TİRYAKİ GÜNGÖR^{1*} Ömer KÜÇÜK² Meriç ÇAKIR³ Mehmet KÜÇÜK⁴ Ertuğrul BİLGİLİ⁵

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

²Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Kastamonu, Türkiye

³Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Çankırı, Türkiye

⁴Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Artvin, Türkiye

⁵Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Trabzon, Türkiye

Geliş Tarihi: 28.07.2024

Kabul Tarihi: 13.11.2025

Basım Tarihi: 30.11.2025

Atıf yapmak için: Tiryaki Güngör, A.G. Küçük, Ö., Çakır, M., Küçük, M., & Bilgili E. (2025). Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) gençleştirme meşcerelerinde kontrollü yakma uygulamalarının mikroeklembacıklılar üzerine etkileri. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(6), 986-994. <https://doi.org/10.35229/jaes.1753830>

How to cite: Tiryaki Güngör, A.G. Küçük, Ö., Çakır, M., Küçük, M., & Bilgili E. (2025). Effects of prescribed burning applications on microarthropods in anatolian black pine (*Pinus nigra*) regeneration stands. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(6), 986-994. <https://doi.org/10.35229/jaes.1753830>

*<https://orcid.org/0000-0001-7098-8227>
<https://orcid.org/0000-0003-2639-8195>
<https://orcid.org/0000-0001-8402-5114>
<https://orcid.org/0000-0002-0954-2581>
<https://orcid.org/0000-0003-1006-4991>

*Sorumlu yazar:

Ayşegül Gözde TİRYAKİ GÜNGÖR
Kastamonu Üniversitesi, Araç Rafet Vergili
Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü,
Kastamonu, Türkiye
✉: atiryaki@kastamonu.edu.tr

Öz: Kontrollü yakma, belirlenmiş yönetim hedeflerine ulaşabilmek için kullanılan bir arazi yönetim şeklidir. Özellikle orman yangınlarının önlenmesi, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilmesi gibi farklı ormancılık faaliyetleri için bilimsel bir araç olarak kullanılmaktadır. Ancak kontrollü yakma her ne kadar düşük şiddetli örtü yangın olsa dahi toprak biyolojik çeşitliliğini değiştirebilmektedir. Toprak biyoçeşitliliğinin büyük bir kısmını oluşturan mikroeklembacıklıların miktarını önemli ölçüde azalttığı, habitatlarının büyük bir kısmını tahrip ettiği bilinmektedir.

Bu çalışmada Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) gençleştirme meşceresinde yapılan kontrollü yakmanın mikroeklembacıklılar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Toprak mikroeklembacıklı örneklemesi yapılırken koridorlar oluşturulmuş, yanmış alanın içinden (üst, orta ve kenar etkisi) üç alan ve bir adet kontrol alanı olacak şekilde dört deneme alanı kurulmuştur. Modifiye berlesse hunisi ile canlılar ekstrakte edilmiştir. Ayrıca bu alanlardan alınan toprak örneklerinde sıcaklık, EC ve pH analizleri yapılmış, mikroeklembacıklıların yaşamsal faaliyetleri tespit edilmiştir. Alanlarda yakma uygulamalarından sonra mikroeklembacıklılardaki birey sayılarındaki değişim ve bu alanlara tekrar gelebilme durumları ortaya konulmuştur. Mikroeklembacıklılar çalışma süresince; %36 kontrol, %24 üst alan, %24 orta alan ve %16 kenar etkisi alanına gelebilmişlerdir. Ayrıca bu alanlarda 10 taksona ait 10 familya tespit edilmiştir. Çalışma alanlarından elde edilen bulgular incelendiğinde, karaçam meşceresinde kontrollü yakma yapılan alanlarla kontrol alanı karşılaştırıldığında kontrol alanında toprak mikroeklembacıklıların ortalama birey sayısının (74523bry.m⁻²) daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yakma uygulamasını takiben özellikle ölü örtünün alana gelme durumuna ve topraktaki neme bağlı olarak üst, orta ve kenar etkisi alanlardan en az birine gelebildikleri özellikle kontrollü yakma uygulamasını takip eden bahar aylarında miktar bakımından daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kontrollü yakma, toprak mikroeklembacıklıları, yangın ekolojisi.

Effects of Prescribed Burning Applications on Microarthropods in Anatolian Black Pine (*Pinus nigra*) Regeneration Stands

Abstract: Prescribed burning is a form of land management used to achieve specific management objectives. It is used as a scientific tool for various forestry activities, such as preventing forest fires and maintaining biological diversity. However, even though prescribed burning is a low-intensity ground fire, it can alter soil biological diversity. It is known to significantly reduce the number of microarthropods, which constitute a large part of soil biodiversity and to destroy a large part of their habitats.

In this study, the effects of prescribed burning on microarthropods in Anatolian black pine (*Pinus nigra*) regeneration area were investigated. During soil microarthropod sampling, corridors were created, and four experimental areas were established, consisting of three areas within the burned area (upper, middle, and edge effects) and one control area. The organisms were extracted using a modified Berlesse funnel. Additionally, temperature, EC, and pH analyses were performed on soil samples collected from these areas, and the vital activities of the microarthropods were determined. The changes in the number of individuals among the microarthropods and their ability to return to these areas after the burning applications were revealed. During the study period, microarthropods were able to return to the control area (36%), upper area (24%), middle area (24%), and edge effect area (16%). Additionally, 10 families belonging to 10 taxa were identified in these areas. When the findings from the study areas were examined, it was determined that the average number of soil microarthropods (74523individuals m⁻²) was higher in the control area compared to the areas where prescribed burning was performed in the black pine forest. Following the burning application, it was observed that they could reach at least one of the upper, middle, or edge effect zones, particularly in the spring months

*Corresponding author's:

Ayşegül Gözde TİRYAKİ GÜNGÖR
Kastamonu University, Araç Rafet Vergili
Vocational School, Department of Forestry,
Kastamonu, Türkiye
✉: atiryaki@kastamonu.edu.tr

^[*] Bu makale, Ayşegül G. Tiryaki Güngör'ün doktora tezinin bir bölümünden hazırlanmıştır.

This manuscript was produced from a part of Ayşegül G. Tiryaki Güngör's doctoral thesis.

following the controlled burning application, with higher quantities depending on the presence of dead vegetation in the area and soil moisture.

Keywords: Prescribed burning, Soil microarthropods, Fire ecology

GİRİŞ

Küresel ısınmanın etkisi ile artan sıcaklık ve uzun süreli kuraklık, orman yangınlarının sıklığını ve şiddetini artırmaktadır (Zhang & Biswas 2017), bu durum toprak biyotası ve mikrobiyolojisi üzerinde ani ve önemli etkilerle yol açmaktadır (Romeo vd., 2020; Certini vd., 2021). Orman yangınlarına hassas bölgelerde, yanıcı madde miktarını ve sürekliliğini değiştirmek ve bu yangınların çıkma ihtimalini ve çıkan yangınların, şiddetini azaltmak için kontrollü yakma yöntemleri kullanılmaktadır (Fernandes vd., 2013; Alcañiz vd., 2018). Kontrollü yakma genellikle sınırlı bir alanda, düşük şiddette ve yavaş bir şekilde ilerlediği için tercih edilmektedir. Bu yangınlar, yalnızca bitki örtüsünün bir kısmını ve ölü örtüyü yakmaktadır (Certini, 2021; Küçük vd., 2024). Doğal yangınlarla karşılaştırıldığında ise toprak özellikleri daha az etkilenmektedir (LucasBorja vd., 2019; Neary & Leonard, 2021). Kontrollü yakma düşük şiddetli de olsa toprak altındaki yüksek değerli biyotik zenginliği etkileyebilmektedir (Doamba vd., 2014). Bu alanlarda yaşayan boyutları daha küçük ve hareket kabiliyeti sınırlı toprak mikroeklembacaklıları yangına karşı daha hassastır (Kiss & Magnin, 2006). Özellikle toprak sıcaklığının artması toprak abiyotik özelliklerini değiştirmekte ve mikroeklembacaklıları doğrudan etkilemektedir (Zhou vd., 2020; Köster vd., 2021; Memoli vd., 2021; Santorufo vd., 2021; Zhang vd., 2021). Mesela ölü örtüde yaşayan Acarina ve Collembola takımlarının ölü örtünün yanmasıyla habitatları yok olmakta (Binkley & Fisher, 2020) genel yaşam alanları yangının etkilerine bağlı olarak bozulmaktadır (Massman vd., 2010).

Besin maddesi ve toprak canlıları üst toprakta (5-10 cm) yoğunlaştığı için bu horizonların hangi derinliğine kadar yangından etkilendiği önemlidir (Metting, 1993). Yangınların gerçekleştiği tüm alanlarda şartlara bağlı olarak yanma çoğu kez homojen olarak görülmemekte, yanan saha içerisinde farklı büyüklükte yanmamış alanlar bulunabilmektedir (Yildiz & Dönmez, 2021; Halpern & Antos, 2022). Jonsson vd., (2009) yanmamış orman alanlarının yanmış orman zemini ile bağlantılı koridorlar (birbirine belirli bir mesafede bağlı alanlar) aracılığıyla etkileşim kurabileceğini bildirmişlerdir. Bu koridorlar, toprak faunasına ait bireylerin bu alanlara yeniden gelebilme sürecinde önemli rol oynamaktadır (Rantalainen vd., 2008). Özellikle yangın geçirmiş sahalarda yanmamış alanlar arasındaki canlılar arasındaki etkileşimi anlayabilmek yangının ekolojik etkilerini daha sağlıklı bir şekilde değerlendirebilmek için önem arz etmektedir. Özellikle toprak içinde yaşayan canlıların bu süreçten etkilenmesine dair çalışmaların oldukça sınırlı olduğu, ülkemizde ise yok

denecek kadar az olduğu (Çakır, 2023) bilinmektedir. Yangının mikroeklembacaklıların üzerindeki etkisinin açıklığa kavuşturulması ekosistemin korunması açısından önemli olmasına rağmen bu konuda az sayıda çalışma bulunmaktadır (Santorufu vd., 2024). Özellikle ülkemizde karaçam, kızılçamdan sonra en geniş yayılış alanına sahip olan ibrelî türdür ve yangınların en sık görüldüğü çam türü de yine kızılçamdan sonra karaçamdır (Küçük vd., 2005). Bu türün oluşturduğu ormanlarda toprak içinde yaşayan canlıların yangın sonrası yaşamsal faaliyetlerinin araştırılması yangının ekolojik etkilerinin tam olarak bilinmesi için önemlidir.

Bu çalışma kontrollü yakma uygulamasının toprak mikroeklembacaklı sayısı, çeşitliliği ve yaşamsal faaliyetleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Yakma uygulaması yapılan alanların içinde kalan yanmamış bölgelerden yanmış alanlara mikroeklembacaklıların tekrar gelebilmesinde alanlar arası mesafeler değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Araştırma Alanının Tanıtımı: Çalışma Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı Araç Orman İşletme Müdürlüğü Şerifebacı Orman İşletme Şefliği sınırlarında bulunan 59 no'lu bölmede gerçekleştirilmiştir. Kontrollü yakma uygulamaları yapılmadan önce çalışma alanlarına ait bazı tanımlayıcı ölçümler (koordinat değerleri, meşcere tipi, bakışı, yükseltisi, kapalılığı, meşcere yaşı, ortalama boyu, ortalama göğüs çapı) yapılmıştır. Çalışma alanı 41°19'26.15" kuzey ile 33°25'32.69" doğu boylamları arasında doğu bakıda, yükseltisi 1214 m ve meşcere kapalılığı %50'dir. Meşcere yaşı 96 (yıl), ortalama boyu 24 m, ortalama göğüs çapı (d_{1.30}) 43 cm'dir. Bu meşcere silvikültür planında gençleştirmeye konu saha olarak belirlenmiştir. Orman İşletme Müdürlüğüne yapılan silvikültürel uygulamalar (hazırlama ve tohumlama kesimi) kontrollü yakmalardan hemen önce bitirilmiştir. Gençleştirme kapsamında yapılan üretim faaliyetleri içerisinde kesilen ağaçların meşcereden traktör ile sürütülerek çıkarılması esnasında toprağın üst tabakası tahrip olmuştur. (Çkcd3) Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) gençleştirme sahasında (1,8 ha) kontrollü yakma uygulaması (örtü yangını) şeklinde yapılmıştır.

Kontrollü Yakma Uygulamasının Gerçekleştirilmesi: Kontrollü yakma uygulaması 16.10.2020 tarihinde Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı Araç Orman İşletme Müdürlüğü Şerifebacı Orman İşletme Şefliği sınırlarında (Çkcd3) Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) gençleştirme sahasında (1,8 ha) gerçekleştirilmiştir. Doğal gençleştirme için uygun

koşulların olduğu çalışma alanında ölü örtüde ibre miktarının fazla ve birikiminin gevşek yapıda olması, kesim artıklarının da bu alanlarda bulunması nedeniyle kontrollü yakma uygulaması yapılmıştır. Çalışma alanında yapılan kontrollü yakma uygulaması yangın mevsimi dışında (Neyişçi vd., 2002) yanıcı madde miktarının azaltılmasına yönelik (Fernandes ve Botelho, 2004; Küçük vd., 2009) şeritler halinde yakma tekniğine uygun olarak örtü yangını şeklinde gerçekleştirilmiştir. Diğer hat boyunca yakma tekniklerine göre maliyetinin daha düşük olması, yakma sürecinin hızlı ilerlemesi ve ara yolların oluşturulmaması (Bilgili, 2014) sebebiyle bu teknik tercih edilmiştir.

Kontrollü yakma uygulaması yapılan karaçam meşceresinde yangının mikroeklembacıklı komünite yapısına olan etkisini belirlemek amacıyla yanıcı madde miktarı ve yangın şiddeti (Byram, 1959) belirlenmiştir.

$Y\dot{S} \text{ (kW/m)} = YO \text{ (m/dak)} \times TYMM \text{ (kg/m}^2\text{)} \times H$
(18000 kJ/kg)

YŞ- Yangın şiddeti
reaksiyon sabiti
YO- Yayılma oranı
Yanıcı madde miktarı
H- Yangın şiddeti
TYMM- Tüketilen

Yangının ekosistemler üzerindeki etkisinin bir göstergesi olan yanıcı madde tüketimi; yangın şiddeti ile birlikte açığa çıkan enerjinin toprak üstü vejetasyon yapısı ve kompozisyonu üzerinde sebep olduğu etkilerin ifade edilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca topraktaki ölü örtü ve humus tabakasının tüketim miktarı, toprak altı bitki dokuları ve canlıları üzerinde sebep olduğu etkilerini ifade etmede kullanılan her iki terim de kapsayıcı bir yangın rejimi bileşenidir (Pakdemirli & Küçük, 2021).

Toprak Mikroeklembacıklıların Örneklenmesi:

Kontrollü yakma yapılan karaçam meşceresindeki toprak mikroeklembacıklıların örneklenmesi için yanmış alanın içindeki üç alan (üst, orta ve kenar etkisi) ve bir kontrol alanı dahil toplam dört deneme alanında çalışılmıştır. Her deneme alanı literatüre uygun olarak 4m² olarak belirlenmiştir. Kontrol alanı (K), ormana bağlı kenar etkisi tayini için yanmış alan üzerinde kenar etkisi alanı (KE), kenar etkisi alanına bağlı 3 m ara ile koridorlar oluşturularak orta alan (O) ve üst alan (Ü) çalışma alanı olarak kurulmuştur (Zaitsev vd., 2014) (Şekil 1).



Şekil 1. Kontrollü yakma uygulaması yapılan alanda mikroeklembacıklı deneme alanlarının oluşturulması.

Figure 1. Establishment of microarthropod experimental areas in the area where prescribed burning is applied.

Her bir deneme alanından 3 toprak örneği 3 tekerrürlü olarak 5 cm çapında ve 5 cm yüksekliğindeki çelik silindirler yardımıyla topraktan alınmıştır. Silindir ile alınan toprak örnekleri alüminyum folyo ile sarılıp paketlenmiştir. Toprak örnekleri laboratuvara götürülmüştür. Toprak mikroeklembacıklılarına ait örnekleme yangından hemen sonra yapılmış ve 2 ayda bir olmak üzere, 2 yıl boyunca devam edilmiştir. Laboratuvarda Modifiye Berlese Hunisine çelik silindirler yerleştirilmiştir. Eklembacıklıların topraktaki doğal kanalları kullanarak toplama kabına düşmeleri sağlanmıştır (Coleman vd., 2004). Topraktan çıkan ve huniden geçen toprak eklembacıklıların %70'lik etil alkol bulunan toplama kabına düşmüş ve bu kaptaki muhafaza edilmiştir (Joo vd., 2006; Robertson vd., 1999). Ekstraksiyon için çelik silindirler 3 gün boyunca Modifiye Berlese Hunisinde tutulmuştur. Toplama kabına alınan mikroeklembacıklıların Trinoküler Stereo Zoom Mikroskop-LED-45X (SZM45-

T2/L)'a takılmış ön mercekle (OM-0,5X) yardımıyla teşhis edilmiştir (Salmon vd., 2006). Mikroeklembacıklıların hayatta kalmaları ve popülasyon yoğunlukları, sadece besin maddelerine değil aynı zamanda toprağın özelliklerine de bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple toprak sıcaklıkları mikroeklembacıklıların örneklendiği her noktadan dijital toprak termometreleri ile ölçülmüştür. Ayrıca bir miktar toprağın anlık yaş ağırlığı hassas terazi ile toprak neminin belirlenmesi için ölçülmüştür. Laboratuvarda yaş olarak tartılan toprak örnekleri, etüv içerisinde 105°C sıcaklıkta kurutulduktan sonra tartılmış, nem içeriği ilk ve son ağırlık farkına göre belirlenmiştir (Begum vd., 2011). Toprak asidite analizi pH metre ile, EC analizi ise elektriksel iletkenlik cihazıyla ölçülmüştür (Karaöz, 1992).

İstatistik Analizler: Toprak mikroeklembacıklı birey sayılarının yıllık ve aylık değişimlerinin istatistik analizleri SPSS version 23 programında yapılmıştır.

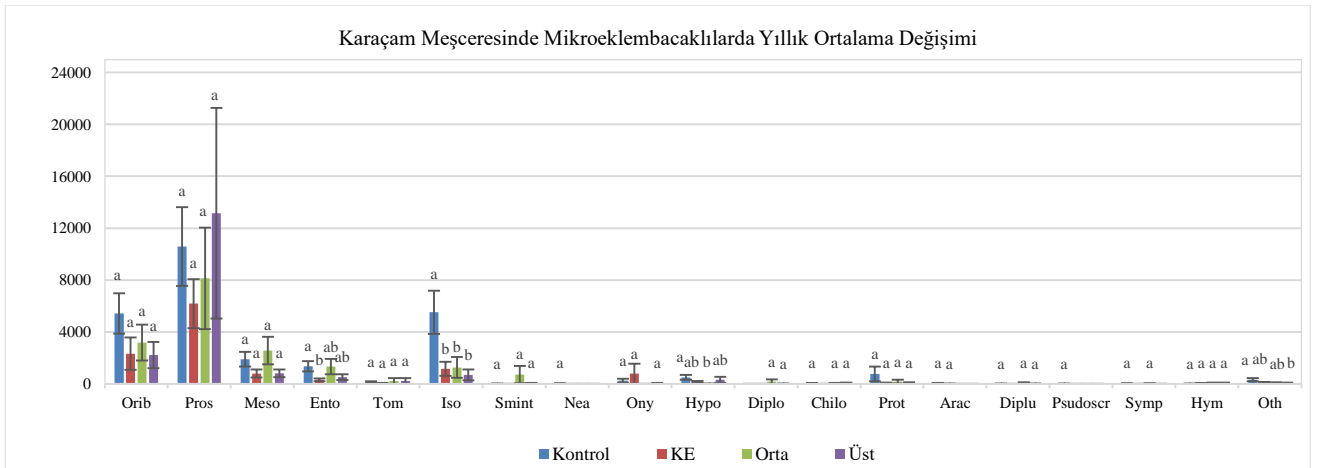
Çalışma süresi boyunca tespit edilen mikroeklembacıklı birey sayıları kontrol, üst, orta ve kenar etkisi alanları arasında, yıllık zamansal değişimleri ve alanlar arasındaki ilişkilerin anlamlı bir farkın olup olmadığını belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizinin karşılığı olan Kruskal Wallis testi yapılmıştır (Özdamar, 2010). Ayrıca Mikroeklembacıklılara ait biyoçeşitliliğin belirlenmesinde Shannon çeşitlilik indisi (H') kullanılmıştır (Shannon ve Weaver, 1949). Miktar ($A m^{-2}$) ve Shannon-Wiener çeşitlilik indisi (H') ile elde edilen veriler kullanılarak toplam birey sayısı ve biyoçeşitliliklerindeki zamansal değişimler ortaya konmuştur. Doğrusal Karma Modeller (LMM) (Laird & Ware, 1982) kontrollü yakmanın uygulandığı alanlar ile mikroeklembacıklılar arasındaki mevsimsel etkinin ortaya konulması için kullanılmıştır (Mehtatalo & Lappi, 2020). Kullanılan programda karma modelleme yaklaşımı deneysel birimlerle ilişkili rastgele etkilerin modellenmesini sağlamıştır. Yangın (üst, orta, kenar etkisi alanı) ve kontrol alanındaki mikroeklembacıklı farklılıkları, dağılımı ve çevresel bazı değişkenlerin (EC, T ($^{\circ}C$), W (%), pH) arasındaki ilişkilerini test etmek amacıyla Bolluk Analizi (Redundancy Analysis) ordinasyon tekniği kullanılarak CANOCO 5.0 yazılımı ile hesaplanmıştır (Šmilauer & Lepš, 2014).

BULGULAR

Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra*) Meşçeresinde Mikroeklembacıklı

Yıllık Ortalama Değişimi: Karaçam meşçeresinde mikroeklembacıklılara ait 10 taksona ait 10

familiya tespit edilmiştir. Mikroeklembacıklıların yıllık ortalama birey sayısı kontrol alanında $26810 bry.m^{-2}$, kenar etkisi alanında $11677 bry.m^{-2}$, orta alanda $17905 bry.m^{-2}$ ve üst alanda $18129 bry.m^{-2}$ olarak bulunmuştur. Bu doğrultuda mikroeklembacıklıların %36'sı kontrol, %24'ü üst, %24'ü orta ve %16'sı kenar etkisi alanlarında tespit edilmiştir. En fazla birey kontrol alanında, yakma alanlarında ise orta ve üst alan, kenar etkisi alanına oranla daha fazla birey bulunmaktadır. Alanlarda Acarina (Mesostigmata, Prostigmata ve Oribatida), Collembola (Entomobryidae, Tomoceridae, İstomidae, Sminthuridae, Neanuridae, Onychuridae, Hypogastrirudae) ve yırtıcı-çürükçül-otçul-hepçil (Chilopoda, Araneae, Pseudoscorpiones, Diplopoda, Diplura, Protura, Hymenoptera, Symphla ve diğer canlılar) takımlarına ait bireyler bulunmuştur. Yıllık ortalama birey sayıları bakımından mikroeklembacıklılardan Akarina takımı bireyleri kontrol alanında %67, kenar etkisi alanında %80, orta alanda %78, üst alanda %89; Collembola takımı bireyleri kontrol alanında %29, kenar etkisi alanında %19, orta alanda %19, üst alanda %10; yırtıcı-çürükçül-otçul-hepçil ve diğer canlılar kontrol alanında %4, kenar etkisi alanında %1, orta alanda %3, üst alanda %1 olarak tespit edilmiştir. Bu doğrultuda kontrol, kenar etkisi alanı, orta ve üst alanlarda en fazla birey sayısını Acarina ve Collembola takımları oluşturmaktadır. Collembola familyasına ait Entomobryidae bireylerinde kontrol ve kenar etkisi alanı arasında, İstomidae bireylerinde kenar etkisi-orta-üst alan ile kontrol alanı arasında, Hypogastrirudae bireylerinde kontrol ve orta alan arasında, diğer canlılarda ise üst ve kontrol alan arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmaktadır ($p<0,05$) (Şekil2).



Şekil 2. Karaçam meşçeresinde mikroeklembacıklılarda yıllık ortalama değişim (Çubuklardaki çizgiler standart hataları gösterir. Farklı harflerle (a, b) takip edilen değerler K bağımsız örnekler testine göre 0,05 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlıdır).

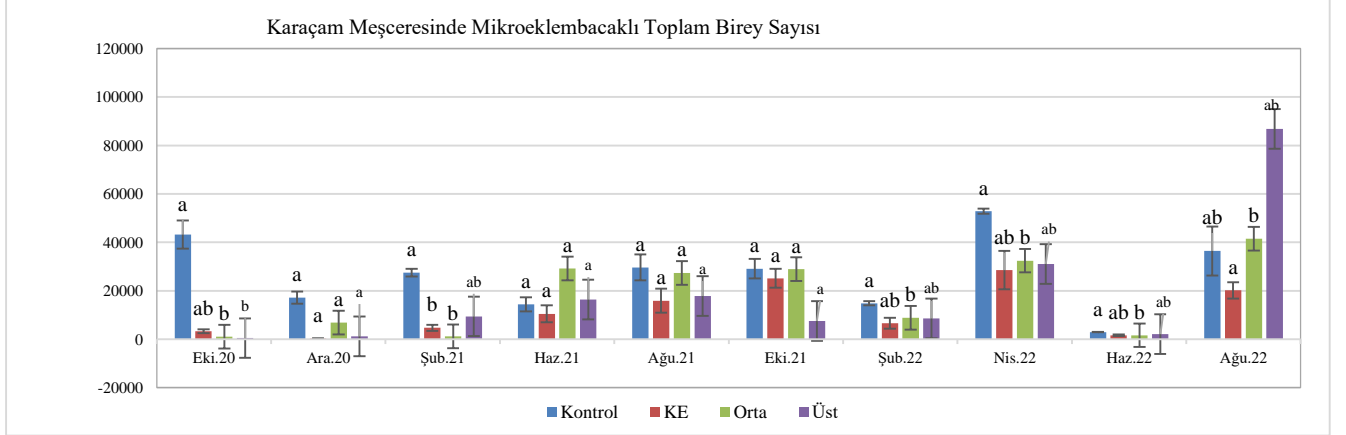
Figure 2. Annual mean change in microarthropods in the black pine stand (The lines on the bars show standard errors. Values followed by different letters (a, b) are statistically significant at the 0.05 level according to the K independent samples test).

Karaçam Meşçeresinde Tespit Edilen Bireylerin Miktar ve Çeşitlilikleri: Kontrollü yakma nedeniyle ilk aylarda mikroeklembacıklı birey sayısı azalmış bu alanlara

göre kontrol alanında daha fazla birey bulunmuştur. Zamansal değişime göre her bir alandaki birey sayılarının toplamı en fazla Nisan ve Ağustos 2022'de sırasıyla

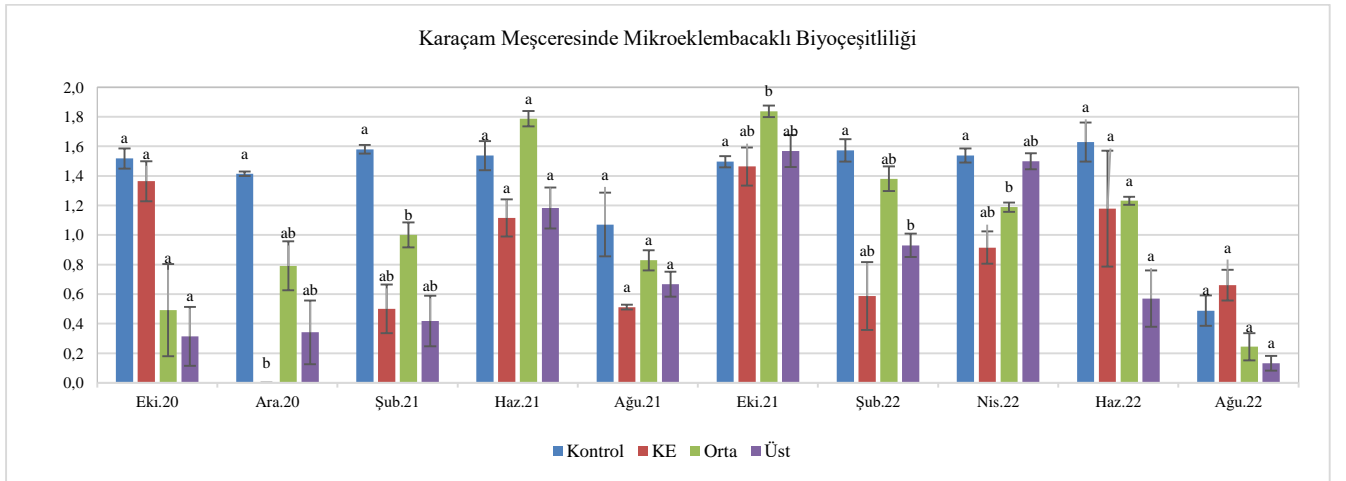
144846 bry.m⁻² ve 184949 bry.m⁻² olarak bulunmuştur. İlkbahar aylarındaki birey sayısının artması nemli sezondan kaynaklandığı, Ağustos 2022’de birey sayısındaki artışın ise bölgesel yağıştan kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 3).

Karaçam meşçeresinde alanlara göre biyoçeşitlilik yaz aylarında düşmekte ve nemli sezonlarda yani yağışın olduğu aylarda artmaktadır. Biyoçeşitliliğin Ekim 2021’de en üst seviyede olduğu görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 2. Karaçam meşçeresinde mikroklembacaklı toplam birey sayısı (Çubuklardaki çizgiler standart hataları gösterir. Farklı harflerle (a, b) takip edilen değerler K bağımsız örnekler testine göre 0,05 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlıdır).

Figure 3. Total number of microarthropod individuals in the black pine stand (The lines on the bars show standard errors. Values followed by different letters (a, b) are statistically significant at the 0.05 level according to the K independent samples test).



Şekil 3. Karaçam meşçeresinde mikroklembacaklı biyoçeşitliliği (Çubuklardaki çizgiler standart hataları gösterir. Farklı harfle (a, b) takip edilen değerler K bağımsız örnekler testine göre 0,05 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlıdır).

Figure 4. Microarthropod biodiversity in the black pine stand (The lines on the bars show standard errors. Values followed by different letters (a, b) are statistically significant at the 0.05 level according to the K independent samples test).

Karaçam Meşçerelerindeki Toprak Mikroklembacaklıların Kontrollü Yakma Uygulaması ile Mevsimsel İlişkisi

Verilerin oldukça değişken olması normallik hipotezinin reddedilmesine neden olmuş; bu durumda, deneysel birimlerle ilişkili rastgele etkilerin modellenmesini sağlayan karma modelleme yaklaşımı tercih edilmiştir. Bu çalışma ile kontrollü yakma uygulamasının mikroklembacaklı yoğunluğu üzerinde mevsimsel etkisinin olduğu doğrulanmıştır. Doğrusal karma modeller (LMM) yangın ile yangın ve ay etkileşimini benzerlerine göre daha başarı bir şekilde açıklamaktadır (Çakır vd., 2023). Mikroklembacaklı yoğunluğundaki aylık değişimle birlikte yangının etkisine bakıldığında Oribatida, Prostigmata, Mesostigmata,

Entomobryidae, Isotomidae, Sminthuridae, Neanuridae, Diplopoda, Protura, Diplura bireylerin Log-Olasılık (LL) değerleri artmakta, Akaike'nin Bilgi Kriterleri (AIC) değerleri ise düşmektedir (Tablo 1). Yangının bu canlılar üzerinde mevsimsel etkisinin olduğunu ancak diğer canlılar üzerinde etkisinin olmadığını göstermektedir.

Parametre varyansı karaçam çalışma alanında değişkenliğin bir göstergesidir. Bu açıdan değerlendirildiğinde en düşük Arachnida bireylerinde, en belirgin ise Prostigmata bireylerinde yangının mevsimsel etkisi görülmüştür. İstatistik olarak $R^2 > 0,60$ olan örneklerde yangının temel ve mevsimsel etkisi birlikte değerlendirildiğinde istatistik olarak açıklayıcılığı yüksek güçlü modeller elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Karaçam meşcere çalışma alanında geliştirilen doğrusal karma modellerde varyans bileşenlerinin karşılaştırılması.**Table 1.** Comparison of variance components in linear mixed models developed in the black pine stand study area.

Takson	Kısaltma	Yangın		İlk müdahale metodu Yangın+Ay Etkileşimi		İkinci müdahale metodu Yangın ve Yangın+Ay Etkileşimi	
		AIC	LL	AIC	LL	AIC	LL
Oribatida	Orib	826,81	-410,40	817,727	-403,86	813,281	-398,64
Prostigmata	Pros	922,88	-458,44	861,51	-425,76	874,29	-429,14
Mesostigmata	Meso	801,46	-397,73	770,28	-380,14	769,82	-376,91
Entomobryidae	Ento	772,68	-383,34	766,33	-378,16	757,78	-370,89
Tomoceridae	Tom	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Isotomidae	Iso	824,50	-409,25	843,48	-416,74	807,47	-395,73
Sminthuridae	Smint	626,58	-310,29	620,51	-305,25	553,02	-268,51
Neanuridae	Nea	324,87	-159,43	326,62	-158,31	308,44	-146,22
Onychiuridae	Ony	653,32	-323,66	657,80	-323,90	654,49	-319,24
Hypogastruridae	Hypo	682,12	-338,06	658,56	-337,78	684,52	-334,26
Diplopoda	Diplo	487,35	-240,67	490,06	-240,03	483,50	-233,75
Chilopoda	Chilo	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Protura	Prot	673,47	-333,73	667,38	-328,69	638,31	-311,15
Arachnida	Arac	405,26	-199,63	410,04	-200,02	410,24	-197,12
Diplura	Diplu	462,39	-288,19	458,98	-224,49	443,99	-213,99
Pseudoscorpionida	Pseudocr	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Sympyla	Symp	394,40	-194,20	397,71	-193,85	396,62	-190,31
Hymenoptera	Hym	516,30	-255,15	513,06	-251,53	524,38	-254,19
Other	Oth	634,09	-314,04	646,97	-318,48	642,34	-313,17

Not: Yüksek LL, Düşük AIC değerleri, her bir fauna için varyans bileşenleri karşılaştırılmış, başarılı bir model olduğunu, NS: İstatistiksel olarak anlamsız model olduğunu ifade etmektedir.

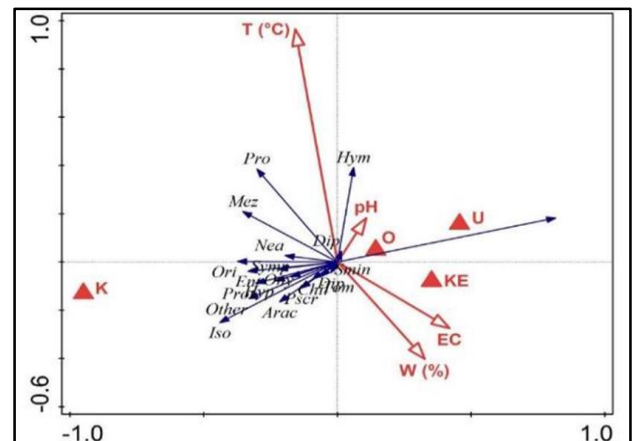
Tablo 2. Karaçam meşceresinde en başarılı parametre modellerinin sonuçları**Table 2.** Results of the most successful parameter models in the black pine stand.

Takson	Kısaltma	Yangın	σ_b^2	σ_e^2	R ²	Sk _r
Oribatida	Orib	10,76 (1,65)	26,02	28,91	0,636	5,37
Prostigmata	Pros	15,04 (1,58)	89,17	38,99	0,636	6,24
Mezostigmata	Meso	7,20 (1,26)	27,59	17,65	0,727	4,20
Entomobryidae	Ento	5,19 (1,19)	17,06	18,02	0,636	4,24
Tomoceridae	Tom	0,99 (0,46)	6,92	2,85	0,809	1,68
Isotomidae	Iso	6,91 (2,40)	26,73	26,21	0,709	5,11
Sminthuridae	Smint	0,69 (0,51)	8,39	2,25	0,851	1,50
Neanuridae	Nea	0,11 (0,11)	0,42	0,42	0,619	0,64
Onychiuridae	Ony	0,91 (0,45)	3,85	9,18	0,425	3,03
Hypogastruridae	Hypo	1,90 (0,70)	4,45	11,83	0,431	3,43
Diplopoda	Diplo	0,26 (0,21)	1,33	2,06	0,492	1,43
Chilopoda	Chilo	0,34 (0,18)	0,53	2,38	0,281	1,54
Protura	Prot	1,64 (0,76)	9,74	5,70	0,744	2,38
Arachnida	Arac	0,23 (0,16)	0,36	1,25	0,349	1,11
Diplura	Diplu	0,36 (0,21)	1,37	1,28	0,635	1,13
Pseudoscorpionida	Pseudocr	NS	-	-	-	-
Sympyla	Symp	0,19 (0,13)	0,36	1,08	0,393	1,03
Hymenoptera	Hym	0,56 (0,21)	0,58	3,55	0,224	1,88
Other	Oth	1,84 (0,74)	1,41	9,24	0,314	3,04

Not: σ_b^2 rastgele parametrelerin varyansı; σ_e^2 kalan değer varyansı; R² belirleme katsayısı; Sk_r çarpıklık değeri; NS istatistiksel olarak anlamsız model olduğunu ifade etmektedir.

Kontrollü yakma uygulaması sonrası karaçam meşceresinde mikroeklembacıklı dağılımı ve çevresel değişkenlere gösterdikleri tepkiler ordinasyon tekniğine göre yapılmıştır. İçi boş kırmızı ok çevresel değişkenleri, mavi ok mikroeklembacıklıları, T (°C) toprak sıcaklığını, EC toprak elektriksel iletkenliğini, pH toprak asiditesini, W (%) toprak nemini göstermektedir. Ayrıca K kontrol, O orta, U üst ve KE kenar etkisi alanları olarak gösterilmektedir. Bolluk (Redundancy) analizine göre birincil ve ikincil eksen sırasıyla toplam değişkenlerin %58,91'ini ve %23,47'sini açıklarken, toplam iki eksen %82,38'ini açıklamaktadır. Mikroeklembacıklılar yoğunluk olarak en fazla K alanında görülmüştür (p=0,001). Karaçam meşceresinde T (°C) ile Protura ve Mezostigmata pozitif ilişki içerisindeyken, Hymenoptera hem T (°C) hemde toprak pH'sı ile pozitif ilişki içerisindeyken. Canlılar üzerinde T (°C) etkisi önemli bulunmuştur (p=0,001). EC ise en fazla Sminthuridae, Tomoceridae familyaları ile ilişkilidir ve mikroeklembacıklıların dağılımındaki etkisi önemlidir

(p=0,016). EC gibi W (%)'de mikroeklembacıklıların dağılımında etkili (p=0,018) olduğu, pH'nın ise önemli olmadığı görülmüştür (p=0,841) (Şekil 5).



Şekil 4. Karaçam meşceresindeki mikroeklembacıklıların bolluk analiziyle örnek alanlara göre dağılımı ve bazı değişkenlerle olan ilişkileri

Figure 5. Distribution of microarthropods in the black pine stand according to sample areas with abundance analysis and their relationships with some variables.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Toprak üstü örtüde kontrollü yakmalar sonucunda meydana gelen değişim mikroeklembacaklı yaşam alanlarını ve beslenme kaynaklarını değiştirmektedir (Hutchings vd., 2011; Gongalsky vd., 2012). Düşük şiddette olmasına rağmen kontrollü yakmalar hareketli toprak mikroeklembacaklılarını doğrudan etkilemekte ve bu canlıların miktarını (Gongalsky vd., 2012) ve çeşitliliğini önemli ölçüde azaltmaktadır (Sabais vd., 2011; Çakır & Makineci, 2018). Çalışmamızda karaçam meşceresinde yapılan kontrollü yakma uygulaması literatüre benzer şekilde mikroeklembacaklı birey sayılarında azalmaya sebep olmuş ve toprak üstü vejetasyonun iyileşmeye başlamasıyla bu alanlara tekrar gelebilmişlerdir. Kontrollü yangınlarda bütün alanın aynı oranda yanmadığı, sahaların içinde yanmamış kısımların kaldığı bilinmektedir (Yildiz & Dönmez, 2021; Halpern & Antos, 2022). Çakır vd., (2023) orman yangınlarına göre yakma uygulamasını daha küçük alanda (20mx20m) yapmış olup uygulama sonrasında yanmamış alanlardan canlıların bu alanlara gelebildiklerini ve toprak kalitesinde iyileşmenin olduğunu ifade etmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar yangının hem tür çeşitliliğinin hem de birey sayısının azaldığını ortaya konulmuştur (Pressler vd., 2019). Çalışmamızda mikroeklembacaklı birey sayıları en fazla kontrol alanında (%36) bulunurken, yakma alanlarında ise kenar etkisi (%16), orta (%24) ve üst (%24) olarak bulunmaktadır. Mikroeklembacaklıların yıllık ortalama birey sayısı kontrol alanında (26810 bry.m⁻²) diğer alanlara göre fazla bulunmuştur. Kontrollü yakma uygulaması yapılan alanlarda Tomoceridae, Diplopoda, Chilopoda ve Hymenoptera gibi gruplar kontrollü yangın sonrası ilk aylarda görülmemektedir (Zaitsev vd., 2014; Pressler vd., 2019; Çakır vd., 2023). Benzer şekilde çalışmamızda kontrollü yakmanın Oribatida, Prostigmata, Mesostigmata, Entomobryidae, Isotomidae, Sminthuridae, Neanuridae, Diplopoda, Protura, Diplura bireyleri üzerinde mevsimsel etkisi bulunmaktadır. Bu etki en düşük Arachnida bireylerinde, en belirgin ise Prostigmata bireylerinde görülmüştür ($R^2 > 0,60$). Çakır ve Makineci, (2013) çalışmalarında 22 ayrı makro ve mikroeklembacaklı tespit etmiştir. Çalışmamızda ise toplam karaçam meşceresinde 10 taksona ait 10 familya tespit edilmiştir. Bulgularımıza göre karaçam meşceresinde kontrol alanında mikroeklembacaklı çeşitliliği $H' = 1,36$; kenar etkisi alanında $H' = 0,83$; orta alanda $H' = 1,18$ ve üst alanda $H' = 0,78$ bulunmuştur. Alanlarımızdaki çeşitlilik (Shannon-Wiener indeksi H') değerlerinin düşük olması, bu alanlarda daha önceden yapılmış hazırlama ve tohumlama kesimleri sonucu olarak öngörülmüştür. Benzer sonuçlar Duyar, (2014) tarafından doğal ortam üzerindeki insan müdahalesinin mikroeklembacaklı çeşitliliğini olumsuz yönde etkilediği

şeklinde belirtilmiştir. Çakır vd., (2023) toprak sıcaklığı (t ; $p = 0,011$), asitlik (pH ; $p = 0,012$) ve nem (W ; $p = 0,027$); çalışmamızda ise toprak sıcaklığı (t ; $p = 0,001$), elektriksel iletkenlik (EC ; $p = 0,016$) ve nem (W ; $p = 0,018$) değerlerinin yangından sonra toprak mikroeklembacaklı dağılımı üzerinde önemli çevresel değişkenler olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; çalışma alanı üzerinde daha önceden yapılan tohumlama ve hazırlama kesimleri ile sonrasında kontrollü yakma uygulaması canlıların yaşamsal aktivitelerinin tam olarak anlaşılmasına neden olmuştur. Kontrollü yakma sonrasında kurulan koridorlar yakma ile mikroeklembacaklı miktarlarındaki azalışın zamana bağlı olarak nasıl değişeceğini, hangi alanlarda artacağını anlamamızı sağlamaktadır. Ancak kontrollü yakma uygulaması büyük alanda (1,8 ha'lık) yapıldığı için çalışma alanlarına, yanmamış alanlardan mikroeklembacaklı az sayıda ve orantısız olarak gelmiştir. Bu sebeple ormanlarda devam eden silvikültürel faaliyetler sadece toprak üstü vejetasyona göre yapılmamalı, toprak altındaki canlıları da kapsayacak şekilde yeniden planlanmalıdır. Özellikle yakma uygulamalarında küçük alanlar tercih edilmeli ve alanlar arasında geçiş zonları bırakılmalı ayrıca doğal toprak yapısının korunması da sağlanmalıdır. Daha sonra bu durum alana göç edecek mikroeklembacaklı sayı ve çeşitliliğini etkileyeceği için uygulamaların daha dikkatli ve özenle yapılması büyük kayıpların telafi edilmesini sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ömer KÜÇÜK danışmanlığında Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2017-2024 yılları arasında Ayşegül Gözde TIRYAKİ GÜNGÖR tarafından hazırlanmış olup, doktora tezinin bir bölümünü içermektedir. Bununla birlikte, bu çalışma TÜBİTAK 1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı tarafından 1220425 proje numarası ile kısmen desteklenmiştir. Arazi çalışmaları sırasında her türlü desteği sağlayan Orman Genel Müdürlüğü personeline teşekkür ederiz

KAYNAKLAR

- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., & Úbeda, X. (2018). Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of the Total Environment*, *613-614*, 944-957. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.09.144](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.144)
- Begum, F., Bajracharya, R.M., Sharma, S., & Sitaula, B.K. (2011). Assessment of soil quality using microarthropod communities under different land system: a case study in the Mid-Hills of Central Nepal. *Journal of Life Sciences*, *5*, 66-73.

- Bilgili, E. (2014).** *Orman Koruma Dersi Geçici Ders Notları*. KTÜ Orman Fakültesi, Trabzon, 155 s.
- Binkley, D., & Fisher, R.F. (2020).** *Ecology and Management of Forest Soils*. Wiley Blackwell, Chichester.
- Byram, G.M. (1959).** Combustion of forest fuels. In: Davis, K.P. (Ed.), *Forest fire control and use*. pp. 61-89, (McGraw-Hill: New York).
- Certini, G., Moya, D., Lucas-Borja, M.E., & Mastrolonardo, G. (2021).** The impact of fire on soil-dwelling biota: a review. *For. Ecol. Manag.*, **488**. DOI: [10.1016/j.foreco.2021.118989](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118989)
- Coleman, D.C., Crossley Jr, D.A., & Hendrix, P.F. (2004).** *Fundamentals of soil ecology*. Second ed. Elsevier Academic Press, USA.
- Çakır, M., & Makineci, E. (2018).** Community structure and seasonal variations of soil microarthropods during environmental changes. *Applied Soil Ecology*, **123**, 313-317. DOI: [10.1016/j.apsoil.2017.06.036](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.036)
- Çakır, M., Akburak, S., Makineci, E., & Bolat, F. (2023).** Recovery of soil biological quality (QBS-ar) and soil microarthropod abundance following a prescribed fire in the Quercus frainetto Forest. *Applied Soil Ecology*, **184**, 104768. DOI: [10.1016/j.apsoil.2022.104768](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104768)
- Doamba, S.W.M.F., Savadogo, P., & Nacro, H.B. (2014).** Effects of burning on soil macrofauna in a savanna-woodland under different experimental fuel load treatments. *Applied Soil Ecology*, **81**, 37-44. DOI: [10.1016/j.apsoil.2014.04.005](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.04.005)
- Duyar, A. (2014).** *Toprak eklemcabaklılarının (Arthropoda) Bolu-Aladağ göknar (Abies bornmulleriana Mattf.) ekosistemindeki mevsimsel değişimi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fernandes, P.M., & Botelho, H. (2004).** Analysis of the prescribed burning practice in the pine forest of northwestern Portugal. *Journal of Environmental Management*, **70**, 15-26. DOI: [10.1016/j.jenvman.2003.10.001](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2003.10.001)
- Fernandes, P., Matt Davies, G., Fernández, C., Moreira, F., Rigolot, E., Stoof, C., Vega, J.A., & Molina, D. (2013).** Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **11**, 4-14. DOI: [10.1890/120298](https://doi.org/10.1890/120298)
- Gongalsky, K.B., Malmstroöm, A., Zaitsev, A.S., Shakhob, S.V., Bengtsson, J., & Persson, T. (2012).** Do burned areas recover from inside? An experiment with soil fauna in a heterogeneous landscape. *Applied Soil Ecology*, **59**, 73-86. DOI: [10.1016/j.apsoil.2012.03.017](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.03.017)
- Halpern, C.B., & Antos, J.A. (2022).** Burn severity and pre-fire seral state interact to shape vegetation responses to fire in a young, Western Cascade Range Forest. *Forest Ecology and Management*, **507**, 120028. DOI: [10.1016/j.foreco.2022.120028](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120028)
- Hutchings, L., Jarre, A., Lamont, T., & van den Berg, M. (2011).** St Helena Bay 1950s to 2000s: Muted climate signals, large human impact. Internal Report, MA-RE Institute, University of Cape Town. DOI: [10.2989/1814232X.2012.689672](https://doi.org/10.2989/1814232X.2012.689672)
- Jonsson, M., Yeates, G.W., & Wardle, D.A., (2009).** Patterns of invertebrate density and taxonomic richness across gradients of area, isolation, and vegetation diversity in a lake-island system. *Ecography* **32**, 963-972. DOI: [10.1111/j.1600-0587.2009.05784.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05784.x)
- Joo, S.J., Yim, M.H., & Nakane, K. (2006).** Contribution of microarthropods to the decomposition of needle litter in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation. *Forest Ecology and Management*, **234**, 192-198. DOI: [10.1016/j.foreco.2006.07.005](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.07.005)
- Karaöz, M.Ö. (1992).** Yaprak ve ölü örtü analiz yöntemleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, **42**, 57-71.
- Kiss, L., & Magnin, F. (2006).** High resilience of Mediterranean land snail communities to wildfires. *Biodiversity & Conservation*, **15**, 2925-2944. DOI: [10.1007/s10531-005-3430-4](https://doi.org/10.1007/s10531-005-3430-4)
- Köster, K., Aaltonen, H., Berninger, F., Heinonsalo, J., Köster, E., Ribeiro-Kumara, C. ..., & Pumpanen, J. (2021).** Impacts of wildfire on soil microbiome in Boreal environments. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, **22**. DOI: [10.1016/j.coesh.2021.100258](https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100258)
- Küçük, M., Tiryaki Güngör, A.G., & Küçük, Ö. (2024).** Doğal Örtü Yangını ve Kontrollü Anız Yangınının Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **9**(1), 13-22. DOI: [10.35229/jaes.1391056](https://doi.org/10.35229/jaes.1391056)
- Küçük, Ö., Bilgili, E., & Dinç Durmaz, B. (2005).** Yangın Potansiyelinin Belirlenmesinde Yanıcı Madde Haritalarının Önemi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, **A(1)**, 104-116. DOI: [10.18182/tjf.11012](https://doi.org/10.18182/tjf.11012)
- Küçük, Ö., Bilgili, E., Dinç Durmaz, B., Sağlam, B., & Baysal, İ. (2009).** Örtü yangınının tepe yangınına geçişinde etkili olan faktörler. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, **9**(2), 80-85.
- Laird, N.M., & Ware, J.H. (1982).** Random-effects models for longitudinal data. *Biometrics*, 963-974. DOI: [10.2307/252987](https://doi.org/10.2307/252987)
- Lucas-Borja ME, Plaza-Álvarez PA, Gonzalez-Romero J, Sagra J, Alfaro-Sánchez R, Zema DA, Moya D., & de las Heras J (2019).** Short-term effects of prescribed burning in Mediterranean pine plantations on surface runoff, soil erosion and water quality of runoff. *Sci Total Environ.*, **674**, 615-622. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.04.114](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.114)
- Massman, W.J., Frank, J.M., & Mooney, S.J. (2010).** Advancing investigation and physical modeling of first-order fire effects on soils. *Fire Ecology*, **6**, 36-54. DOI: [10.4996/fireecology.0601036](https://doi.org/10.4996/fireecology.0601036)
- Mehtatalo, L., & Lappi, J. (2020).** *Biometry for forestry and environmental data: With examples in R*. Chapman and Hall/CRC. New York, 426pp. DOI: [10.1201/9780429173462](https://doi.org/10.1201/9780429173462)

- Memoli, V., Santorufo, L., Panico, S. C., Barile, R., Natale, G. Di, Trifuoggi, M., Marco, A. De & Maisto, G. (2021).** Stability of Mediterranean burnt soils under different plant covers. *Catena* **206**. DOI: [10.1016/j.catena.2021.105581](https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105581)
- Metting, F.B. Jr. (1993).** *Soil microbial ecology. Application in Agricultural and Environmental Management*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Neary, D.G., & Leonard, J.M. (2021).** *Restoring fire to forests: contrasting the effects on soils of prescribed fire and wildfire*. Soils and landscape restoration. Elsevier, Amsterdam, pp 333-355. DOI: [10.1016/B978-0-12-813193-0.00012-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813193-0.00012-6)
- Neyişçi, T., Şirin, G., & Sarıbaşak, H. (2002).** *Batı Akdeniz Bölgesinde Orman Yangını Tehlikesinin Düşürülmesinde Denetimli Yakma Tekniğinin Uygulanma Olanakları*. TOD Yayın No 2. ISBN 975-93478-1-4, 63 s. Ankara.
- Özdamar, S. (2010).** *Determination of forest fire effects using landsat tm satellite data*. Süleyman Demirel University, Faculty of Forestry, Forest Engineering Department. Bachelor's Degree Thesis, 26 p., Isparta, Turkey.
- Pakdemirli, B., & Küçük, Ö. (2021).** *Orman Yangınlarının Yönetiminde Kullanılan Yeni Teknolojiler*. Ekoloji ve Ekonomi Ekseninde Türkiye'de Orman ve Ormancılık, 3-21 s.
- Pressler, Y., Moore, J.C., & Cotrufo, M.F. (2019).** Below-ground community responses to fire: Meta-analysis reveals contrasting responses of soil microorganisms and mesofauna. *Oikos* **128**, 309-327. DOI: [10.1111/oik.05738](https://doi.org/10.1111/oik.05738)
- Rantalainen, M.L., Haimi, J., Fritze, H., Pennanen, T., & Setälä, H. (2008).** Soil decomposer community as a model system in studying the effects of habitat fragmentation and habitat corridors. *Soil Biol. Biochem.*, **40**, 853-863. DOI: [10.1016/j.soilbio.2007.11.008](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.11.008)
- Robertson, G.P., Coleman, D.C., Bledsoe, C.S., & Sollins, P. (1999).** *Standard soil methods for long-term. Ecological Research*. Oxford University Press.
- Romeo, F., Marziliano, P.A., Turrion, M.B., & Muscolo, A. (2020).** Short-term effects of different fire severities on soil properties and *Pinus halepensis* regeneration. *J for Res*, **31**(4), 1271-1282. DOI: [10.1007/s11676-019-00884-2](https://doi.org/10.1007/s11676-019-00884-2)
- Sabais, A.C.W., Scheu, S., & Eisenhauer, N. (2011).** Plant species richness drives the density and diversity of Collembola in temperate grassland. *Acta Oecologica*. DOI: [10.1016/j.actao.2011.02.002](https://doi.org/10.1016/j.actao.2011.02.002)
- Salmon, S., Mantel, J., Frizzera, L., & Zanella, A. (2006).** Changes in humus forms and soil animal communities in two developmental phases of Norway spruce on an acidic substrate. *Forest Ecology And Management*, **237**, 47-56. DOI: [10.1016/j.foreco.2006.09.089](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.089)
- Santorufu, L., Memoli, V., Panico, S.C., Santini, G., Barile, R., Giarra, A., Natale, G. Di, Trifuoggi, M., Marco, A. De, & Maisto, G. (2021).** Combined effects of wildfire and vegetation cover type on volcanic soil (functions and properties) in a Mediterranean region: comparison of two soil quality indices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**(11). DOI: [10.3390/ijerph18115926](https://doi.org/10.3390/ijerph18115926)
- Santorufu, L., Memoli, V., Zizolfi, M., Santini, G., Di Natale, G., Trifuoggi, M. ..., & Maisto, G. (2024).** Microarthropod responses to fire: vegetation cover modulates impacts on Collembola and Acari assemblages in Mediterranean area. *Fire Ecology*, **20**(1), 97. DOI: [10.1186/s42408-024-00332-5](https://doi.org/10.1186/s42408-024-00332-5)
- Shannon, C., & Weaver, W. (1949).** *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press: Urbana.
- Smilauer, P., & Lep's, J. (2014).** *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5*. 2nd edn. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 362.
- Yıldız, O., & Dönmez, H.A. (2021).** Küresel ısınma, yangın ve orman ekosistemleri. *Orman ve Av Dergisi, Eylül-Ekim*, 18-25.
- Zaitsev, A.S., Gongalsky, K.B., Persson, T., & Bengtsson, J. (2014).** Connectivity of litter islands remaining after a fire and unburned forest determines the recovery of soil fauna. *Applied Soil Ecology*, **83**, 101-108. DOI: [10.1016/j.apsoil.2014.01.007](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.01.007)
- Zhang, M.Y., Wang, W.J., Tang, L., Heenan, M., Wang, D.J. & Xu, Z.H. (2021).** Impacts of prescribed burning on urban forest soil: minor changes in net greenhouse gas emissions despite evident alterations of microbial community structures. *Appl Soil Ecol.*, **158**. DOI: [10.1016/j.apsoil.2020.103780](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103780)
- Zhang, Y., & Biswas, A. (2017).** *The effects of forest fire on soil organic matter and nutrients in boreal forests of North America: A review*. In: Rakshit A, Abhilash PC, Singh HB, Ghosh S (eds) Adaptive Soil Management: From Theory to Practices. Springer, Berlin, pp 465-476.
- Zhou, X., Sun, H., Outi-Maaria, S., Pumpanen, J., Heinonsalo, J., Koster, K., & Berninger, F. (2020).** Wildfire effects on soil bacterial community and its potential functions in a permafrost region of Canada. *Applied Soil Ecology* **156**, DOI: [10.1016/j.apsoil.2020.103713](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103713)