

اثر آتش‌سوزی بر برخی از ویژگی‌های خاک در جنگل‌های بلوط زاگرس شمالی (مطالعه موردی: منطقه مریوان)

زاهد شریفی*^۱، چیاکو نظری^۲، کیومرث محمدی‌سمانی^۳، نقی شعبانیان^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۰۵

^۱ - استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگل‌داری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

^۳ - استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشگاه کردستان (سنندج) و مرکز پژوهش و توسعه جنگل‌داری زاگرس شمالی، دانشگاه کردستان (بانه)

^۴ - دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشگاه کردستان (سنندج) و مرکز پژوهش و توسعه جنگل‌داری زاگرس شمالی، دانشگاه کردستان (بانه)

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Z.sharifi@uok.ac.ir

چکیده

آتش‌سوزی جنگل سبب تغییرات عمده در ویژگی‌های خاک می‌شود، اما اطلاعات اندکی در رابطه با زمان ماندگاری این تغییرات در طول سال‌های پس از آتش‌سوزی وجود دارد. بنابراین این پژوهش به منظور بررسی اثرات باقی‌مانده آتش‌سوزی (تابستان ۱۳۹۰) در یک خاک جنگلی پس از گذشت سه سال از وقوع آن (تابستان ۱۳۹۳) در دو عمق ۰-۵ و ۱۰-۵ سانتی‌متری در جنگل تپه درویش واقع در اطراف دریاچه زریوار در شهر مریوان انجام شد. منطقه شاهد بدون آتش‌سوزی نیز با شرایط مشابه کنار منطقه آتش‌سوزی شده انتخاب شد. از منطقه آتش‌سوزی شده و شاهد هر کدام سه نمونه تصادفی مرکب، از هر عمق برداشته شد. تفاوت ویژگی‌های بررسی شده در منطقه آتش‌سوزی شده و شاهد با استفاده از آزمون t مستقل در سطح ۵٪ بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان تفاوت بافت، رنگ، کربنات کلسیم معادل (CCE)، هدایت الکتریکی (EC)، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، نیترات، کربن و ازت کل خاک در منطقه آتش‌سوزی شده و شاهد معنی‌دار نبود؛ در حالی که آتش‌سوزی سبب افزایش معنی‌دار میزان کلسیم و منیزیم قابل جذب در هر دو عمق خاک و افزایش پتاسیم و فسفر قابل جذب در خاک سطحی شده بود. همچنین میزان آمونیاک قابل جذب در عرصه آتش‌سوزی شده در هر دو عمق مورد بررسی به‌طور معنی‌داری کمتر از خاک شاهد بود. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که اثرات آتش‌سوزی بر میزان عناصر قابل جذب خاک به‌ویژه در خاک سطحی بعد از گذشت سه سال از وقوع آن هنوز باقی مانده است.

واژه‌های کلیدی: خاک جنگلی، ویژگی‌های شیمیایی، ویژگی‌های فیزیکی

Effects of a Wildfire on Some Soil Properties in Northern Zagros Oak Forest (Case Study: Marivan Region)

Z Sharifi^{*1}, Ch Nazari², K Mohammadi Samani³, N Shabanian⁴

Received: 05 April 2015

Accepted: 26 October 2016

¹ Assist. Prof., Soil Science Dept, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran

² M.Sc. Student of Forestry, Forestry Dept, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran

³ Assist. Prof., Forestry Dept, and Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran

⁴ Assoc. Prof., Forestry Dept, and Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran

*Corresponding Author, Email: Z.sharifi@uok.ac.ir

Abstract

Forest fire causes major changes in soil properties but little is known about the persistence time of the changes over the years following a fire. This study was conducted to investigate the remain effects of fire (summer 2011) on some properties of surface (0-5 cm) and subsurface (5-10 cm) soils after three years (summer 2014) in Tapeh Darvish forest which is located around Zarivar Lake in Marivan city. A control safe place was selected on beside of the burned area with similar conditions, but not affected by fire. Three composite soil random samples were taken from the each mentioned depth of the burned and control sites. The differences between the measured properties at the burned and control sites were assessed by independent t-test ($P=5\%$). The results showed that there were not significant differences between the soil samples properties of texture, color, carbonate calcium equivalent (CCE), electrical conductivity (EC), pH, cation exchange-capacity (CEC), nitrate and total carbon and nitrogen in the burned and unburned sites. However, burning significantly increased the available amounts of calcium and magnesium in both surveyed soil depths and phosphorous and potassium in surface soil. Furthermore, the amount of ammonia in burned soils was significantly lower than that in unburned soils in both surveyed soil depths. Altogether, the results of the study showed that the effect of fire on the available amount of nutrients, especially in the surface layer of soil still persistantly remained 3 years after the fire.

Keywords: Forest soil, Soil chemical properties, Soil physiscal properties

مقدمه

تعدیل زیست‌بوم‌ها دارد، از عوامل اساسی در فرآیند توسعه پایدار به شمار می‌روند (آرایش و همکاران ۱۳۸۹، برادی و ویل ۲۰۰۲). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و کانی‌شناسی خاک تحت تأثیر آتش‌سوزی تغییر می‌کنند (چرتینی ۲۰۰۵).

خاک به دلیل نقشی که در رشد گیاه، نگهداری و تصفیه آب، تجزیه انواع پس‌ماندها و زیستگاه انواع جانداران دارد، و جنگل‌ها به علت نقشی که در کنترل آب‌های سطحی، تصفیه آب و هوا، جلوگیری از رانش و فرسایش خاک، تفرجگاه زندگی انسان‌ها و در نهایت

همچنین این محققان گزارش کردند که تنوع قارچ‌ها پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد، در حالی که تنوع باکتری‌ها کاهش می‌یابد. گزارش‌های متناقضی در رابطه با اثر آتش‌سوزی بر تنفس خاک وجود دارد؛ به طوری که کالاهام و همکاران (۲۰۰۴)، یک سال و سه ماه پس از آتش‌سوزی کاهش این پارامتر در خاک سوخته نسبت به شاهد را گزارش کردند. این محققان علت این کاهش را از بین رفتن جانداران خاک در اثر بالا رفتن درجه حرارت و کاهش ماده آلی و رطوبت خاک ناشی از آتش‌سوزی عنوان نمودند. در حالی که اوریس و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که در بسیاری از موارد میزان تنفس خاک در سال‌های پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد. برای نمونه کیم و تانکا (۲۰۰۳) گزارش کردند که میزان تنفس خاک در طول ده سال پس از آتش‌سوزی روندی افزایشی را نشان داد. این محققان دلیل این امر را افزایش میزان قابل دسترس کربن و عناصر غذایی خاک پس از آتش‌سوزی عنوان نمودند.

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که عواملی همچون شدت، تعدد و تداوم آتش‌سوزی، آب و هوای منطقه، پوشش گیاهی، توپوگرافی و نوع عامل مورد مطالعه می‌توانند هم بر نتایج به دست آمده در یک مقطع زمانی خاص و هم طول بقای اثرات ناشی از آتش‌سوزی تأثیرگذار باشد. برای نمونه بانج شفیدی و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که آتش‌سوزی حتی پس از گذشت هفت سال سبب زیاد بودن pH خاک، هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، و کمتر بودن درصد نیتروژن و کربن کل خاک می‌شود. همچنین این محققان گزارش کردند که در رابطه با مشخصه‌های اندازه‌گیری شده، افق A نسبت به سایر افق‌های پایین‌تر خاک بیشتر تحت تأثیر آتش قرار می‌گیرد. همچنین ژاو و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اثر آتش‌سوزی در جنگل‌های سوزنی برگ^۲ چنین گزارش کردند که میزان نیتروژن، پتاسیم و فسفر قابل جذب

اما شدت و مدت بقای این تغییرات در خاک بسته به رژیم آتش‌سوزی (شدت، مدت، تکرار، فصل و نوع آتش‌سوزی)، ویژگی‌های خاک (میزان رطوبت، میزان مواد آلی، توان هدایت گرمایی و بافت خاک) و شرایط محیطی (نوع پوشش گیاهی، نوع اقلیم منطقه و توپوگرافی) متفاوت است. بنابراین اثرات آتش‌سوزی بر ویژگی‌های خاک می‌تواند کوتاه مدت، دراز مدت و یا دائمی باشد (چرتینی ۲۰۰۵، دویرر و سردا ۲۰۰۵). از میان ویژگی‌های فیزیکی خاک آتش‌سوزی سبب سبک‌تر شدن بافت خاک می‌شود. همچنین رنگ خاک در اثر خاکستر به جا مانده از سوختن ناقص مواد آلی بعد از آتش‌سوزی سیاه می‌شود (کتیرنگز و بیقام ۲۰۰۰، چرتینی ۲۰۰۵). در رابطه با ویژگی‌های شیمیایی خاک برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که میزان ماده آلی خاک پس از آتش‌سوزی کاهش (گرانجید و همکاران ۲۰۱۱b) و برخی دیگر گزارش نموده‌اند که میزان این شاخص پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (جانسون و کورتیس ۲۰۰۱). همچنین مطالعات نشان داده‌اند که به طور عموم میزان قابل دسترس عناصر، میزان pH و میزان مواد قلیایی خنثی شونده معادل کربنات کلسیم (CCE^۱) خاک پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (چرتینی ۲۰۰۵، ایگلسیاس ۲۰۱۰). در رابطه با ویژگی‌های زیستی خاک پژوهش‌ها نشان داده‌اند که پاسخ جامعه میکروبی خاک به آتش‌سوزی همانند خود جامعه میکروبی خاک متنوع و پیچیده است (اریکسون و وایت ۲۰۰۸). برای نمونه گورجینسن و همکاران (۱۹۷۹) گزارش نمودند که بلافاصله پس از آتش‌سوزی تعداد باکتری‌های خاک کاهش می‌یابد، اما در طول یک ماه پس از آن به دلیل وجود شرایط دمایی و غذایی مناسب جمعیت باکتری‌ها در خاک سوخته شده نسبت به خاک شاهد ۲ الی ۲ برابر می‌شود. در این راستا هارت و همکاران (۲۰۰۵) چنین گزارش نمودند که تعداد باکتری‌های نیترات‌ساز پس از آتش‌سوزی ۱۰ برابر می‌شود.

^۲*Pinus massoniana*^۱Carbonate calcium equivalent (CCE)

نسبی سالیانه آن به ترتیب ۹۹۱/۲ میلی‌متر، ۱۲/۸ درجه سلسیوس و ۵۱ درصد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه به ترتیب زیرک و مزیک می‌باشند (شکل‌آبادی و همکاران ۲۰۱۴). هر چند بررسی کیفی توده جنگلی مورد مطالعه نیاز به مطالعه دقیق دارد، اما آنچه مشاهده شد به این صورت بود که ترکیب غالب توده این جنگل برودار^۳ و دارمازوی^۴ بود، همچنین فرم رویشی این جنگل اکثراً شاخه‌زاد می‌باشد (شکل ۱). در عرصه مورد مطالعه درختانی که دچار خشکیدگی، شکستگی و سوختگی شده بودند نیز در سطح منطقه مشاهده شد. در مجموع از نظر کیفیت و سلامت درختان از درجه متوسط متمایل به خوب برخوردار بودند. در این منطقه بخشی از جنگل که آتش‌سوزی با منشاء انسانی در آن رخ داده بود، به‌عنوان تیمار پژوهش شناسایی شد. این آتش‌سوزی در تابستان ۱۳۹۰ به مدت ۴ ساعت و با عامل انسانی و به تعداد یک بار رخ داده بود (شکل ۱). از نظر شدت آتش‌سوزی به دلیل اینکه کل پوشش گیاهی کف جنگل سوخته بود، می‌توان آن را جزء آتش‌سوزی‌های با شدت بالا دسته بندی کرد، اما از اینکه آثار آتش‌سوزی بر روی کمتر از ۲۵ درصد تنه درختان قابل مشاهده بود (شکل ۱)، و از طرفی سوختگی کامل تنه درختان مشاهده نشد، شدت این آتش با درجه پایین طبقه‌بندی می‌شود (حیدری و همکاران ۲۰۱۲).

در مجموع با توجه به مطالب فوق‌الذکر شدت آتش‌سوزی مورد مطالعه را می‌توان با درجه متوسط طبقه‌بندی کرد. برای اجتناب از خطاهای ناشی از تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، نمونه‌های شاهد هم در مجاورت نمونه‌های تیمار به‌طوری که اثری از آتش‌سوزی در آن محل محرز نشد، انتخاب گردید.

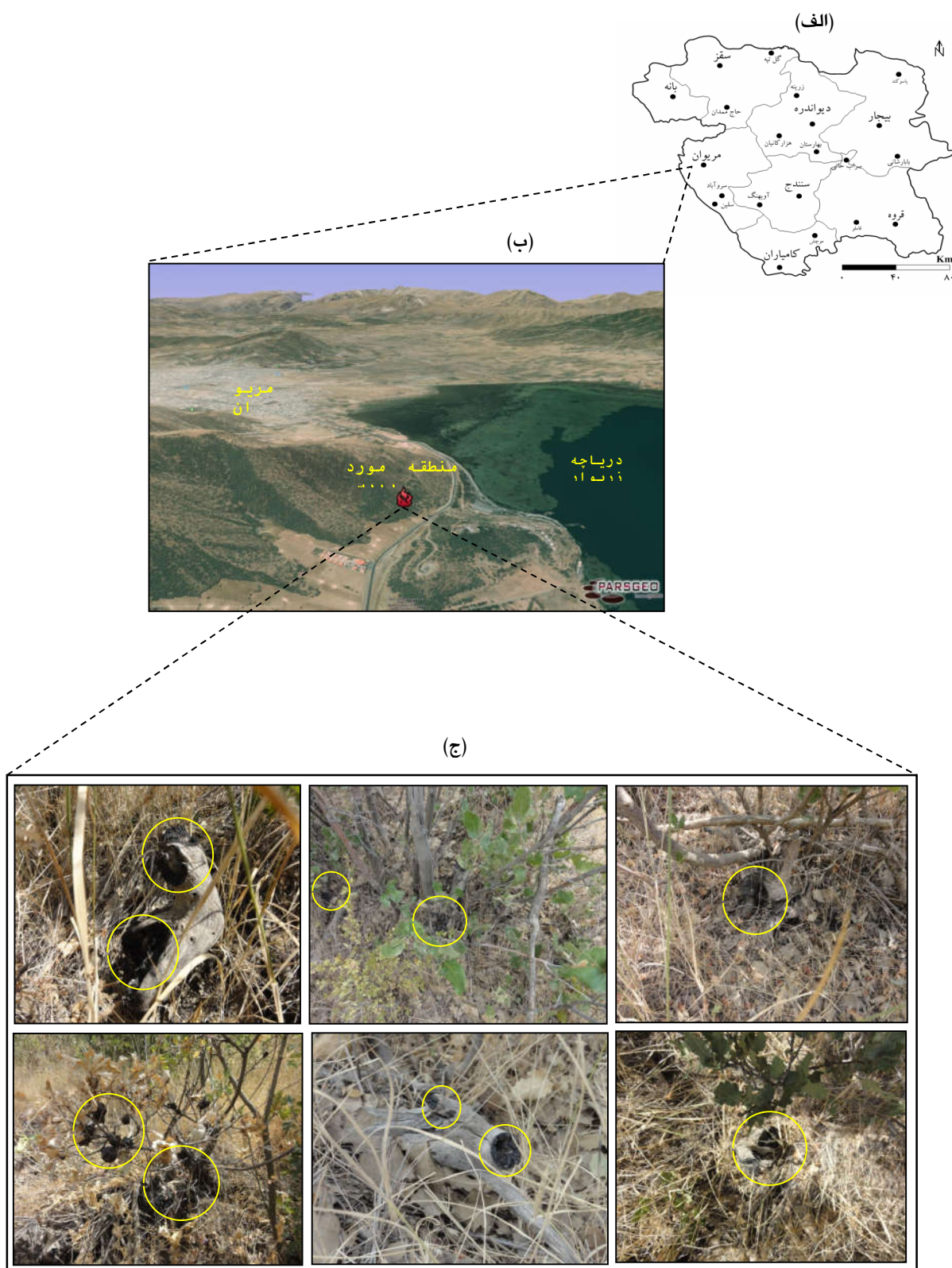
پس از گذشت یک سال از آتش‌سوزی در خاک سوخته شده نسبت به خاک شاهد افزایش یافت، درحالی که در سال‌های چهارم و هفتم پس از آتش‌سوزی میزان پارامترهای یادشده به‌طور معنی‌داری نسبت به خاک شاهد کمتر بود. در هر صورت آتش‌سوزی جنگل در مناطق خشک و نیمه‌خشک که توان زادآوری گیاهان پایین است می‌تواند اثرات تخریبی قابل ملاحظه‌ای بر اکوسیستم جنگل داشته باشد. از طرفی کیفیت و سلامت خاک نقش مهمی در پایداری اکوسیستم‌هایی که بر روی آن بنا شده‌اند دارد. بنابراین تغییر ویژگی‌های خاک در اثر آتش‌سوزی می‌تواند سبب برهم‌زدن پایداری اکوسیستم جنگل و از بین رفتن آن در دراز مدت شود. بنابراین ارزیابی اثر عواملی همچون آتش‌سوزی بر کیفیت خاک یکی از موارد مهم در مدیریت و حفظ جنگل‌ها است. اگرچه مطالعات زیادی در رابطه با اثر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های مختلف خاک وجود دارد، اما اطلاعات اندکی در رابطه با زمان ماندگاری این تغییرات در طول سال‌های پس از آتش‌سوزی وجود دارد. بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات باقی‌مانده آتش‌سوزی پس از گذشت سه سال از وقوع آن بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در دو عمق ۰-۵ و ۱۰-۵ سانتی‌متری در جنگل تپه درویش واقع در اطراف دریاچه زیوار مریوان انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی بخشی از جنگل‌های زاگرس شمالی مشرف به دریاچه زیوار به‌نام تپه درویش، واقع در شهرستان مریوان در استان کردستان بود. از نظر موقعیت مکانی این منطقه بین طول جغرافیایی ۳۶° ۰۹' ۴۶" تا ۳۶° ۱۰' ۴۶" و عرض جغرافیایی ۴۸° ۳۷' ۳۵" تا ۴۸° ۳۸' ۲۴" و با ارتفاع ۱۳۹۳ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بر اساس روش کوپن تیپ اقلیمی این منطقه معتدل گرم با تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. میانگین بارندگی، دمای هوا و رطوبت

³*Quercus brantii* Lindl

⁴*Quercus infectoria*



شکل ۱- نقشه استان کردستان (الف)، محل منطقه مورد بررسی در شهرستان مریوان (ب) و نماهایی از آثار به جا مانده از آتش‌سوزی (دوایر زرد رنگ) بر روی درختان خسارت دیده در منطقه مورد بررسی (ج).

رنگ‌سنجی (مورفی و ریلی ۱۹۶۲) به‌کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و نیتروژن کل به روش کجلدال (برمنر و مولوانی ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شدند.

داده‌های به‌دست آمده با بهره‌گیری از نرم‌افزار SAS9 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. همچنین برای مقایسه میانگین میزان پارامترهای مورد بررسی در عمق‌های مختلف بین منطقه آتش‌سوزی شده و شاهد، از آزمون t مستقل استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین شاخص‌های مورد بررسی در سه سال پس از آتش‌سوزی در مناطق مورد مطالعه در دو عمق ۰-۵ و ۱۰-۵ سانتی‌متر در شکل ۲ و جدول ۱ نشان داده شده است.

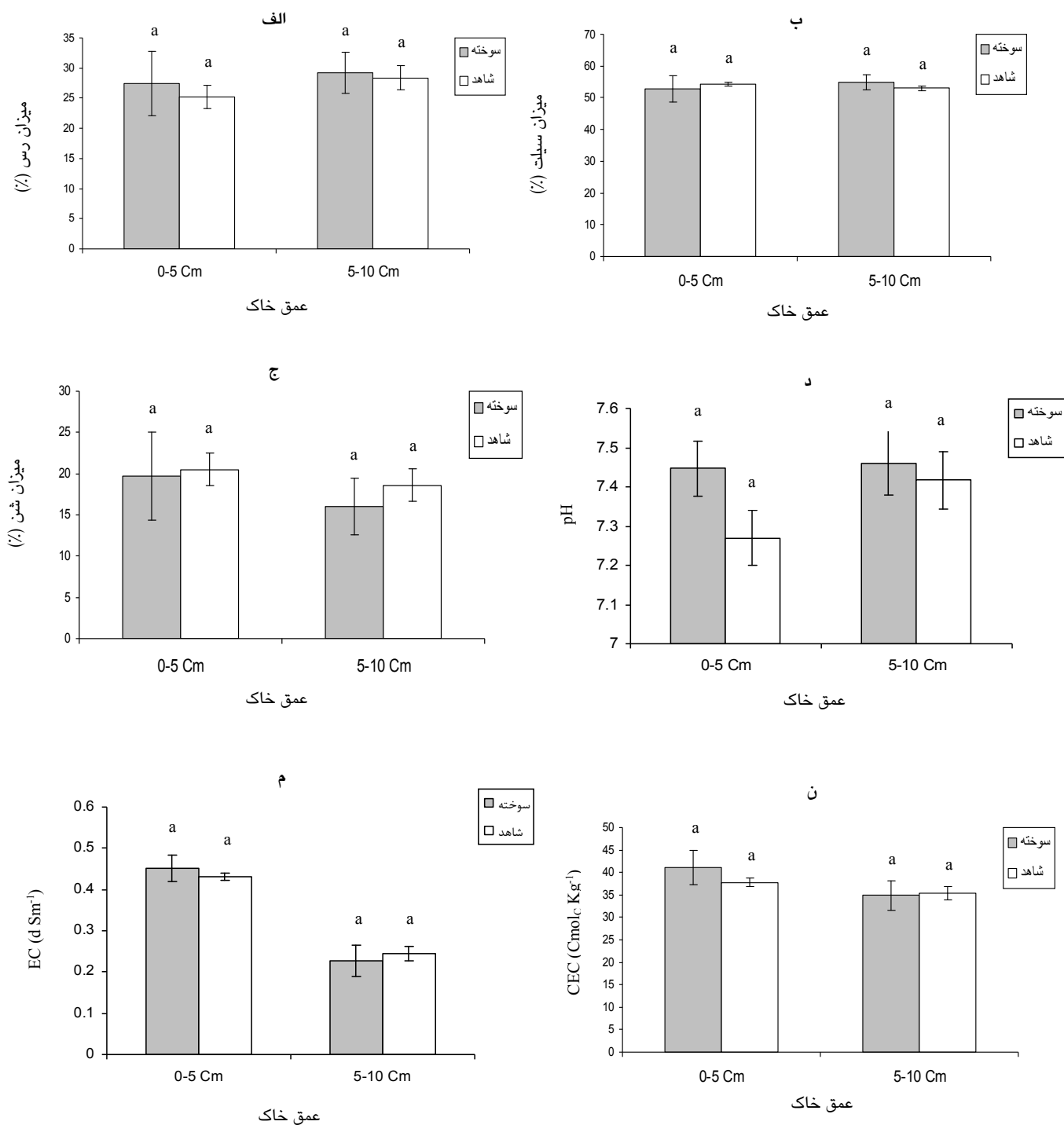
بافت و رنگ خاک

نتایج مقایسه میانگین‌ها در شکل ۲ نشان داد، که تفاوت معنی‌داری در میزان درصد ذرات تشکیل دهنده بافت خاک یعنی رس، سیلت و شن، بین منطقه سوخته شده و شاهد در هر دو عمق مورد بررسی وجود ندارد ($P < 0.05$)؛ به‌طوری که بافت خاک در هر دو منطقه سوخته شده و شاهد در هر دو عمق مورد بررسی به طور یکسان لومی رسی شنی به‌دست آمد.

این مسأله شاید به این دلیل باشد که کانی‌های تشکیل‌دهنده بافت خاک دارای حد آستانه حرارتی بالایی برای تغییر می‌باشند، و اغلب آتش‌سوزی‌های جنگل قادر به ایجاد این حد آستانه نمی‌باشند. بنابراین بافت خاک معمولاً تحت تأثیر آتش‌سوزی تغییر نمی‌کند، مگر اینکه کانی‌های خاک در معرض دماهای بالا قرار گیرند (چاندلر و همکاران ۱۹۸۳، ورما و جایاکومار ۲۰۱۲). در این راستا ال‌دیابانی و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند که پس از گذشت هشت سال از آتش‌سوزی تفاوت معنی‌داری در اندازه ذرات تشکیل دهنده خاک بین خاک عرصه آتش‌سوزی شده و شاهد مشاهده نمی‌شود.

برای نمونه‌برداری یک راستای نمونه‌برداری عمود بر شیب محل آتش‌سوزی به‌طوری انتخاب شد که تفاوت‌های فیزیوگرافی، توپوگرافی (ویژگی‌های شیب و ارتفاع)، مواد مادری و پوشش گیاهی در محل‌های تکرار نمونه‌برداری وجود نداشته باشد. سپس از دو عمق ۰-۵ و ۱۰-۵ سانتی‌متری خاک تیمار و شاهد هر کدام سه نمونه تصادفی مرکب که هر کدام دارای پنج زیر نمونه بودند، نمونه‌برداری شد. پس از آمیختن زیرنمونه‌ها حدود دو کیلوگرم آن در کیسه‌های پلاستیکی تمیز ریخته شد. سپس با نوشتن ویژگی‌های محل نمونه‌برداری، نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های گوناگون بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه پس از هوا خشک شدن و برداشتن پس‌مانده‌های درشت گیاهی، خرده سنگ‌ها و نرم کردن کلوخه‌ها، نمونه‌ها از الک عبور داده شدند، و برای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی آماده گردیدند.

تجزیه‌های انجام شده در این پژوهش شامل بافت خاک، به‌روش هیدرومتری (بایکاس ۱۹۶۲)، میزان کربن آلی کل به روش خشک، سوزاندن در کوره (نلسون و سومرز ۱۹۹۶)، میزان pH و شوری هر دو در سوسپانسیون نسبت ۱ به ۲ (خاک به آب) به‌ترتیب به کمک دستگاه pH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند. همچنین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) به‌روش راول (۱۹۹۴)، درصد کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون برگشتی (لوپپرت و اسپارکس ۱۹۹۶)، میزان نیتروژن قابل دسترس به‌روش عصاره‌گیری با کلرید پتاسیم دو مولار و تقطیر عصاره به‌دست آمده (برمنر و کینی ۱۹۶۵)، میزان پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و اندازه‌گیری پتاسیم به‌روش نشر اتمی به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر و کلسیم و منیزیم به‌روش کمپلکسومتری (بوتا و ویب ۱۹۵۲) در عصاره به‌دست آمده، فسفر قابل جذب خاک که با روش اولسن ($\text{pH}=8.5$)، $\text{NaHCO}_3, 0.5\text{M}$ ، از خاک استخراج شده بود، به روش



شکل ۲- مقدار (میانگین \pm خطای استاندارد) درصد رس (الف)، سیلت (ب)، شبن (ج)، pH (د)، EC (م) و CEC (ن) در خاک منطقه آتش‌سوزی شده و شاهد در دو عمق مختلف در منطقه مورد بررسی (بر اساس آزمون *t*، در یک عمق خاص ستون‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در سطح احتمال ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

جدول ۱- مقادیر برخی از ویژگی‌های خاک منطقه آتش‌سوزی شده و شاهد^۱.

پارامتر	عمق خاک (cm)	تیمار	(میانگین ± خطای استاندارد)
کربن آلی (%)	۰-۵	آتش‌سوزی شده	۷/۸ ± ۱/۳ a
		شاهد	۵/۴ ± ۰/۲ a
	۵-۱۰	آتش‌سوزی شده	۳/۵ ± ۰/۲ a
		شاهد	۳/۹ ± ۰/۱ a
ازت کل (%)	۰-۵	آتش‌سوزی شده	۰/۴۵ ± ۰/۰۱۳ a
		شاهد	۰/۴۴ ± ۰/۰۰۵ a
	۵-۱۰	آتش‌سوزی شده	۰/۴۴ ± ۰/۰۱۲ a
		شاهد	۰/۴۱ ± ۰/۰۰۵ a
نیترات (N-NO ₃ ⁻) (ppm)	۰-۵	آتش‌سوزی شده	۶/۷ ± ۰/۵ a
		شاهد	۷/۸ ± ۱/۱ a
	۵-۱۰	آتش‌سوزی شده	۴/۹ ± ۰/۲ a
		شاهد	۵/۸ ± ۰/۶ a
آمونیاک (N-NH ₄ ⁺) (ppm)	۰-۵	آتش‌سوزی شده	۹/۰ ± ۰/۴ b
		شاهد	۱۴/۹ ± ۱/۷ a
	۵-۱۰	آتش‌سوزی شده	۵/۰ ± ۱/۰ b
		شاهد	۱۰/۷ ± ۰/۸ a
فسفر قابل جذب (ppm)	۰-۵	آتش‌سوزی شده	۲۶/۱ ± ۲/۰ a
		شاهد	۱۸/۲ ± ۱/۸ b
	۵-۱۰	آتش‌سوزی شده	۱۹/۱ ± ۵/۲ a
		شاهد	۱۷/۵ ± ۳/۷ a
پتاسیم قابل جذب (ppm)	۰-۵	آتش‌سوزی شده	۶۶۴/۱ ± ۳۷/۷ a
		شاهد	۴۶۴/۵ ± ۴۰/۴ b
	۵-۱۰	آتش‌سوزی شده	۵۳۷/۳ ± ۶۴/۰ a
		شاهد	۳۸۹/۵ ± ۳/۲ a
کلسیم قابل جذب (ppm)	۰-۵	آتش‌سوزی شده	۳۹۴۶/۷ ± ۹۶/۱ a
		شاهد	۲۴۵۳/۳ ± ۷۰/۵ b
	۵-۱۰	آتش‌سوزی شده	۳۴۹۳/۳ ± ۷۴/۲ a
		شاهد	۲۵۷۳/۳ ± ۴۸/۱ b
منیزیم قابل جذب (ppm)	۰-۵	آتش‌سوزی شده	۲۲۴/۰ ± ۴۲/۳ a
		شاهد	۱۱۲/۰ ± ۱۶/۰ b
	۵-۱۰	آتش‌سوزی شده	۱۲۸/۰ ± ۲۱/۲ a
		شاهد	۷۲/۰ ± ۱۳/۸ b
کربنات کلسیم معادل (CCE) (%)	۰-۵	آتش‌سوزی شده	۹/۲ ± ۱/۴ a
		شاهد	۵/۷ ± ۰/۵ a
	۵-۱۰	آتش‌سوزی شده	۷/۶ ± ۱/۲ a
		شاهد	۴/۵ ± ۰/۵ a

^۱ بر اساس آزمون t، در هر عمق اعداد با حروف یکسان در پایه آماری % اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

(۲۰۰۵) گزارش کردند که یک سال پس از آتش‌سوزی pH به حالت قبل از آتش‌سوزی برمی‌گردد. همچنین گرانجید و همکاران (۲۰۱۱a) گزارش کردند که pH و EC بلافاصله پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد، اما پس از گذشت یک سال به حالت اولیه خود بر می‌گردند. همچنین ژاو و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی اثر آتش‌سوزی در جنگل‌های سوزنی برگ گزارش کردند که پس از گذشت چهار سال از آتش‌سوزی میزان pH به حالت قبل از آتش‌سوزی برگشته بود.

نتایج نشان داد که میزان مواد قلیایی خنثی شونده معادل کربنات کلسیم (CCE) در هر دو عمق مورد بررسی در خاک سوخته شده در مقایسه با شاهد افزایش قابل توجهی یافته بود، هر چند این افزایش در هر دو عمق مورد بررسی از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P \leq 0.05$) (جدول ۱). افزایش CCE و ماندن اثر آن تا سه سال پس از آتش‌سوزی شاید به این دلیل باشد، که در عرصه‌های سوخته در اثر تولید و تمرکز اکسیدها، هیدروکسیدها و کربنات‌های فلزات قلیایی و قلیایی خاکی از جمله پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم ناشی از سوختن مواد آلی میزان مواد قلیازا در خاک افزایش می‌یابد (اولری و همکاران، ۱۹۹۳). در این راستا ایگلسیاس (۲۰۱۰) با گذشت ۲۸ سال از آتش‌سوزی در جنگل‌های مونتپلیر^۵ در جنوب فرانسه افزایشی معادل با ۲۵/۸ و ۸/۵ درصدی در CCE به ترتیب در عمق ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی‌متری در خاک سوخته‌شده نسبت به شاهد را گزارش کرد. همچنین حیدری و قربانی‌دشتکی (۱۳۹۱) پس از گذشت سه سال از آتش‌سوزی در مراتع نیمه استپی کرسنک، چهارمحال و بختیاری افزایشی معادل با ۲/۷ و ۱۰/۱ درصدی در CCE به ترتیب در عمق ۰-۱۰ و ۱۵-۲۵ سانتی‌متری در خاک سوخته‌شده نسبت به شاهد را گزارش کردند.

رنگ خاک در عرصه آتش‌سوزی شده و شاهد دارای هیو (Y ۲/۵)، والیو (۷) و کرومای (۴) برابر در هر دو عمق مورد بررسی بود. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که بلافاصله پس از آتش‌سوزی به‌ویژه در آتش‌سوزی-های با شدت پایین، رنگ خاک در اثر خاکستر به‌جا مانده از سوختن ناقص مواد آلی سیاه می‌شود (کتیرنگز و بیقام ۲۰۰۰، ایدا و همکاران ۲۰۰۹)، اما خاکستر موجود در سطح خاک معمولاً در طول چند هفته پس از آتش‌سوزی در اثر فرسایش سطحی و یا بارندگی‌های ناشی از فصول مرطوب از سطح خاک شسته شده و رنگ خاک به حالت اولیه خود برمی‌گردد (پیرا و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین به نظر می‌رسد که بعد از گذشت سه سال از آتش‌سوزی منطقه مورد پژوهش، خاکستر ناشی از آتش‌سوزی در اثر روان‌آب و فرسایش آبی و بادی از سطح منطقه شسته شده و رنگ خاک به حالت پیش از آتش‌سوزی برگشته است.

اسیدیته فعال (pH)، شوری (EC) و مواد قلیایی خنثی شونده معادل کربنات کلسیم (CCE)

نتایج این پژوهش نشان داد که میزان pH و EC در هر دو عمق مورد بررسی در خاک عرصه آتش‌سوزی شده در مقایسه با شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند ($P \leq 0.05$) (شکل ۲). به بیان دیگر pH و EC پس از گذشت سه سال از آتش‌سوزی به شرایط قبل از آتش برگشته‌اند. پژوهش‌ها نشان می‌دهند، که در اثر رها شدن یون‌های ناشی از سوختن مواد آلی و همچنین ماهیت قلیایی یون‌های آزاد شده (اکسیدها، هیدروکسیدها و کربنات‌ها) و از بین رفتن اسیدهای آلی در اثر سوختن، میزان pH و EC خاک به طور بی‌دوام و زود گذر پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد، زیرا این افزایش در pH و EC در اثر ترکیبات یاد شده، طی یک فصل مرطوب از بین می‌رود (اولری و همکاران، ۱۹۹۳، چرتینی ۲۰۰۵، اسپارنبرچ و همکاران ۲۰۱۲). در جهت تأیید نتایج به‌دست آمده ایدا و همکاران

⁵Montpellier

کربن آلی و ازت کل

مقدار کربن آلی خاک در لایه ۵-۰ سانتی‌متری در عرصه آتش‌سوزی شده نسبت به شاهد اندکی افزایش یافت، در حالی که میزان این شاخص در لایه ۱۰-۵ سانتی‌متری در منطقه سوخته نسبت به شاهد کاهش ناچیزی را نشان داد. اما میزان این تغییرات در هر دو عمق یاد شده از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P \leq 0/05$) (جدول ۱). همچنین میزان نیتروژن کل در هر دو عمق مورد بررسی در عرصه سوخته افزایش بسیار ناچیزی را نسبت به شاهد نشان داد. در روندی مشابه با کربن آلی خاک میزان این تغییرات در هیچ کدام از حالت‌ها معنی‌دار نشد ($P \leq 0/05$) (جدول ۱). این نتایج نشان می‌دهند که هر چند تفاوت معنی‌داری در هر ۲ عمق مورد بررسی بین منطقه سوخته شده و شاهد وجود ندارد اما اثر آتش‌سوزی بر افزایش میزان کربن آلی خاک در عمق ۵-۰ سانتی‌متری قابل توجه و چشم‌گیرتر از عمق ۱۰-۵ سانتی‌متری است (جدول ۱). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که به دلایلی همچون برگشت پس‌مانده‌های گیاهی نیمه‌سوخته و ریشه‌های مرده ناشی از درختان با تاج بلند و همچنین گیاهان کف جنگل پس از آتش‌سوزی به خاک و همچنین سوختن لایه آلی (افق O) سطح خاک و در نهایت تلفیق همه آنها با افق معدنی سطحی خاک، کربن آلی خاک پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (جانسون و کورتیس ۲۰۰۱، چرتینی ۲۰۰۵، تریف و همکاران ۲۰۰۸، الووله و همکاران ۲۰۰۸، گرانجید و همکاران ۲۰۱۱a). در این راستا پاردینی و همکاران (۲۰۰۴) افزایش کربن آلی خاک پس از گذشت شش ماه از آتش‌سوزی را گزارش کردند. همچنین بانج‌شفیعی و همکاران (۱۳۸۹) در جنگل‌های خیرود کنار واقع در شمال ایران، افزایش غیرمعنی‌دار میزان کربن آلی خاک سطحی پس از گذشت هفت سال از آتش‌سوزی‌های با شدت کم و متوسط را نسبت به شاهد در عمق‌های مختلف خاک را گزارش کردند. همچنین این محققان با آزمایش خاک در زمان‌های چهار

و هفت سال پس از آتش‌سوزی با شدت‌های مختلف تفاوت چشم‌گیری را در میزان ازت کل در عرصه سوخته نسبت به عرصه شاهد در هر دو عمق خاک سطحی و عمقی به دست نیاوردند. همچنین همت‌بلند و همکاران (۱۳۸۹) پس از گذشت چهار سال از آتش‌سوزی تفاوت چشم‌گیری را در میزان ازت کل در عرصه سوخته نسبت به شاهد را در هر دو عمق خاک سطحی و عمقی به دست نیاوردند. در حالی که نورا و همکاران (۲۰۱۰) و گرانجید و همکاران (۲۰۱۱b)، به ترتیب پس از گذشت شش ماه و سه سال از آتش‌سوزی کاهش در کربن آلی خاک را گزارش کردند، و کارا و بولات (۲۰۰۹) پس از گذشت دو ماه از آتش‌سوزی افزایش معنی‌دار در کربن و ازت آلی کل خاک را گزارش نمودند.

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC)

نتایج این پژوهش نشان داد که آتش تأثیر معنی‌داری بر میزان CEC در هر دو عمق مورد بررسی در عرصه سوخته نسبت به شاهد نداشت ($P \leq 0/05$) (شکل ۲). در این راستا همت‌بلند و همکاران (۱۳۸۹) پس از گذشت چهار سال از آتش‌سوزی میزان CEC عرصه سوخته در مقایسه با عرصه شاهد افزایشی ناچیز و غیرمعنی‌دار برابر با ۲/۸ واحد برای عمق ۵-۰ سانتی‌متری را گزارش کردند. در کل، گزارش‌ها حاکی از آن است که تغییرات CEC در پاسخ به آتش‌سوزی زیاد چشم‌گیر نیست. در تأیید این مطلب کوتز (۱۹۴۵) نیز گزارش کرده است که اثر آتش‌سوزی بر CEC خاک بسیار ناچیز و گذرا است. همچنین زابوسکی و همکاران (۲۰۰۷) طی یک سال آتش‌سوزی بهاره افزایش ناچیزی (۰/۸ واحد) را در CEC خاک سوخته‌شده نسبت به شاهد را گزارش نمودند. همچنین ایگلسیاس (۲۰۱۰) پس از گذشت ۲۸ سال از آتش‌سوزی در جنگل‌های مونته‌پلیر در جنوب فرانسه افزایشی ناچیز معادل ۰/۶۳ واحد و کاهش ناچیز معادل ۰/۴۴ در CEC به ترتیب برای عمق

بودن می‌تواند جذب بارهای منفی کلویدهای آلی و معدنی خاک گردد، و یا در بین لایه‌های کانی‌های رسی بی‌جنبش^۶ شود، و در خاک نگه داشته شود (مورز و همکاران ۱۹۸۰)، افزون بر آن آمونیوم پس از آتش-سوزی مستقیماً به خاک اضافه می‌شود، در حالی که نیترات پس از گذشت مدتی (چند هفته تا ماه) پس از آتش‌سوزی از اکسیداسیون آمونیاک در طی فرایند نیتریفیکاسیون به وجود آمده، و غلظت آن در خاک رو به فزونی می‌نهد (کوینگتون و ساکت ۱۹۹۲).

با توجه به موارد بحث شده در فوق به‌جز نیتروژن میزان قابل‌جذب عناصر بررسی شده در خاک سوخته شده به‌ویژه در عمق ۵-۰ سانتی‌متری نسبت به شاهد افزایش یافته است. هر چند به دلایلی همچون تفاوت در رژیم آتش‌سوزی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، نوع خاک، نحوه فرآیند آبشویی، زمان و روش نمونه-برداری، گزارش‌ها در مورد چگونگی تغییرات عناصر خاک پس از آتش‌سوزی بسیار متفاوت است. اما به‌طور عموم پژوهش‌ها نشان می‌دهند که به‌علت ایجاد دود، خاکستر، بخار شدن، فرسایش و آبشویی میزان کل عناصر خاک پس از آتش‌سوزی کاهش می‌یابد، اما به-علت افزایش سرعت معدنی شدن میزان قابل‌جذب عناصر خاک پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (کوئیل و شاویا ۱۹۹۲، وان و همکاران ۲۰۰۱، چرتینی ۲۰۰۵، مارکوس و همکاران ۲۰۰۷، وانتونگچای و همکاران ۲۰۰۸). در کنار موارد یاد شده به‌دلیل اینکه دمای آستانه خروج نیتروژن (200°C) به‌صورت بخار از ترکیبات در حال سوختن کمتر از سایر عناصر یعنی پتاسیم و فسفر (774°C)، منیزیم (1107°C) و کلسیم (1484°C) است (دیبانو ۱۹۹۰، نیاری و همکاران ۲۰۰۵)، و از سوی نیتروژن تنها عنصری است که بیشتر مراحل تغییر و تبدیل آن (آمونیفیکاسیون، نیتریفیکاسیون، دنیتریفیکاسیون و بی‌جنبش شدن) در

۰-۵ و ۱۰-۵ سانتی‌متری در خاک سوخته‌شده نسبت به شاهد را گزارش نمود.

میزان قابل جذب عناصر

میزان پتاسیم و فسفر قابل‌جذب در خاک سطحی در عرصه سوخته در مقایسه با خاک شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند ($P \leq 0.05$)؛ به‌طوری که میزان این افزایش برای دو عنصر یاد شده به‌ترتیب برابر با $43/0\%$ و $43/4\%$ بود (جدول ۱). در حالی که اگرچه میزان این دو پارامتر در لایه ۱۰-۵ سانتی‌متری در عرصه سوخته نسبت به شاهد افزایش نشان دادند (جدول ۱)، اما میزان این افزایش در هر دو مورد از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P \leq 0.05$).

کلسیم و منیزیم قابل‌جذب در منطقه سوخته و شاهد در هر دو عمق مورد بررسی تفاوت معنی‌داری داشتند، و آتش سبب افزایش آنها شده بود ($P \leq 0.05$)؛ به‌طوری که میزان این افزایش در مورد کلسیم در عمق ۰-۵ و ۱۰-۵ سانتی‌متری در منطقه سوخته نسبت به شاهد به‌ترتیب $60/8\%$ و $35/7\%$ به‌دست آمد، و میزان این افزایش در مورد منیزیم در عمق‌های یاد شده به-ترتیب $100/0\%$ و $77/7\%$ بود (جدول ۱).

همچنین، نتایج به‌دست آمده از مقایسه بین نیتروژن قابل‌جذب یعنی نیترات (N-NO_3^-) و آمونیاک (N-NH_4^+) در مناطق سوخته و شاهد نشان داد که در روندی متفاوت با سایر عناصر مورد بررسی، آتش‌سوزی سبب کاهش این دو پارامتر در هر دو عمق مورد بررسی شده بود، اما میزان این کاهش در هر دو عمق مورد بررسی تنها در مورد آمونیاک معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). این نتایج نشان می‌دهند که میزان کاهش و روند تغییرات آمونیوم متفاوت از نیترات است، این مسأله احتمالاً به این دلیل باشد که فرآیندهای حاکم بر تغییر و تبدیل آمونیوم در خاک متفاوت از نیترات است، مثلاً نیترات به‌دلیل آنیون بودن ممکن است به آسانی از خاک شسته شود، در حالی که آمونیوم به‌دلیل کاتیون

⁶Immobilization

(۲۰۱۴) با بررسی اثر آتش‌سوزی در جنگل‌های سوزنی برگ گزارش کردند که میزان نیتروژن قابل‌جذب (آمونیم و نیترات) پس از گذشت یک سال از آتش-سوزی در خاک سوخته شده نسبت به شاهد افزایش یافته بود، اما در سال‌های چهارم و هفتم پس از آتش‌سوزی میزان شاخص مورد نظر به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافته بود. اما این محققان میزان پتاسیم و فسفر قابل‌دسترس را در سال‌های چهارم و هفتم پس از آتش‌سوزی در عرصه سوخته کمتر از شاهد به‌دست آوردند. همچنین همت‌بلند و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که پس از گذشت چهار سال از آتش‌سوزی میزان فسفر و پتاسیم قابل‌جذب در خاک سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) عرصه سوخته در مقایسه با عرصه شاهد به ترتیب افزایشی معنی‌دار برابر با ۲۰/۶ و ۱۴/۸ درصدی را نشان دادند، در حالی که چنین افزایشی در مورد خاک زیر سطحی (۲۰-۵ سانتی‌متری) در رابطه با میزان قابل‌جذب عناصر یاد شده در پژوهش این محققان، مشاهده نشد. همچنین بانج‌شفیعی و همکاران (۱۳۸۹) در جنگل‌های خیرود کنار واقع در شمال ایران گزارش کردند آتش‌سوزی در خاک سطحی با شدت‌های مختلف پس از گذشت هفت سال سبب افزایش فسفر قابل‌جذب و کاهش نیتروژن قابل‌جذب (آمونیم و نیترات) در خاک سوخته شده نسبت به خاک شاهد شده بود. همچنین دی-روند (۱۹۹۰) گزارش کرد که پس از گذشت ۲۱ ماه از آتش‌سوزی میزان پتاسیم قابل‌دسترس در خاک سوخته شده به‌طور معنی‌داری بیش از خاک شاهد بود.

بنا به آنچه در پیش آمد آتش‌سوزی خاک سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) را بیشتر تحت تأثیر قرار داده و اثرات باقی‌مانده فیزیکی و شیمیایی شاخص‌های مورد بررسی در خاک سطحی به دلیل شدت و تماس بیشتر آتش‌سوزی در این لایه، در مقایسه با شاهد بیشتر از خاک عمقی بود، در حالی که تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های لایه زیر سطحی خاک (۱۰-۵ سانتی-

سیطره ریزجانداران خاک است، بنابراین در مقایسه با سایر عناصر گزارشات متناقض بیشتری در رابطه با اثر آتش‌سوزی بر میزان نیتروژن قابل‌جذب خاک وجود دارد؛ به‌طوری که در مقایسه با سایر عناصر اثر آتش-سوزی بر نیتروژن خاک به عنوان مسئله‌ای بحث برانگیز باقی‌مانده است (وان و همکاران ۲۰۰۱). به‌هر حال، گزارش‌ها نشان می‌دهند که میزان نیتروژن قابل-جذب خاک پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد، اما این افزایش بسته به نوع پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی برای مدت کوتاهی دوام دارد و سپس رو به کاستی می‌نهد (موقداس و استیفنز ۲۰۰۷، هامان و همکاران ۲۰۰۸). برای نمونه وستون و اتیویل (۱۹۹۰) گزارش کردند که در طول ۲۰۵ روز پس از آتش‌سوزی میزان نیترات و آمونیم خاک سه برابر حالت اولیه آن افزایش یافت، اما پس از گذشت ۴۸۵ روز به حالت قبل از آتش-سوزی برگشته بود. همچنین کوینگتون و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کردند که میزان افزایش نیترات و آمونیاک خاک ناشی از آتش‌سوزی پس از گذشت پنج سال از آتش‌سوزی ناپدید شده بود. علت این کاهش عواملی همچون دنیتریفیکاسیون، فرسایش آبی و بادی، آبخسویی داخلی، بی‌جنبش شدن و جذب به وسیله گیاهان عنوان شده است (مارتی-رورا و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین به‌نظر می‌رسد جذب به وسیله گیاهان، فرسایش و آبخسویی ناشی از فصل‌های مرطوب در طول سه سالی که از آتش‌سوزی در منطقه مورد بررسی گذشته است، سبب کاهش نیتروژن قابل‌جذب خاک نسبت به شاهد شده باشد. افزون بر موارد یاد شده خشکسالی‌های اخیر می‌تواند یکی از دلایل کاهش نیتروژن قابل‌جذب در منطقه مورد بررسی باشد، زیرا پوتس و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که اگرچه میزان نیتروژن قابل‌جذب خاک پس از آتش‌سوزی در کوتاه مدت افزایش می‌یابد، اما خشکسالی می‌تواند نه تنها این افزایش را ممانعت کند، بلکه سبب کاهش نیتروژن نسبت به حالت اولیه شود. ژاو و همکاران

افزایش میزان کربنات کلسیم معادل و کربن آلی کل خاک و کاهش میزان نیترات خاک هر چند به صورت غیرمعنی‌دار قابل توجه است. افزون بر آن نتایج نشان داد که اثرات باقی‌مانده آتش‌سوزی در لایه سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) به دلیل شدت و تماس بیشتر آتش‌سوزی در این لایه، نسبت به لایه زیرسطحی (۱۰-۵ سانتی‌متری) بیشتر می‌باشد. از این یافته‌ها چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که آتش‌سوزی سبب افزایش حاصلخیزی خاک از طریق افزایش میزان قابل جذب پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر قابل جذب می‌شود. اما به نظر می‌رسد که آتش‌سوزی جنگل در مناطق خشک و نیمه خشک همچون ایران که توان بازآوری پایین است اثرات زیان‌باری بر اکوسیستم خاک و جنگل داشته باشد. زیرا این افزایش حاصلخیزی خاک کوتاه مدت و گذرا است، و آنچه از نتایج این پژوهش برمی‌آید این است که این مدت زمان برای نیتروژن قابل جذب خاک که مهمترین فاکتور رشد برای گیاهان است، بسیار کوتاه‌تر از سایر عناصر است؛ به طوری که پس از گذشت سه سال از آتش‌سوزی میزان این عنصر نسبت به حالت اولیه آن کمتر شده است.

متری) به بزرگی لایه سطحی نبود، که دلیل این امر را می‌توان ناشی از عمق نفوذ متفاوت گرما در این دو لایه دانست. اما در برخی موارد علت افزایش شاخص‌های مورد بررسی در خاک عمقی عرصه سوخته شده در مقایسه با شاهد می‌تواند ناشی از آبشویی عناصر و سایر مواد ناشی از سوختگی به عمق پایین‌تر خاک طی سه سال پس از آتش‌سوزی باشد. در این راستا بانج شفیدی و همکاران (۱۳۸۹)، همت‌بلند و همکاران (۱۳۸۹)، دیبانو (۲۰۰۰)، و چرتینی (۲۰۰۵) گزارش کردند، که اثر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های خاک با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که میزان ماندگاری اثر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به نوع شاخص و عمق خاک وابسته است؛ به طوری که با گذشت سه سال از وقوع آتش‌سوزی ویژگی‌هایی از خاک همچون بافت، رنگ، EC، pH، CEC و ازت کل خاک با شرایط قبل از آتش‌سوزی تفاوتی نداشتند. در حالی آتش‌سوزی سبب افزایش معنی‌دار میزان قابل جذب پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر و کاهش معنی‌دار آمونیاک خاک شده است. همچنین آتش‌سوزی سبب

منابع مورد استفاده

- آرایش ب و حسینی س.ج.ف.ا، ۱۳۸۹. تحلیل رگرسیونی عوامل مؤثر بر مشارکت مردم در حفظ، احیاء، توسعه و بهره برداری منابع طبیعی تجدید شونده از دیدگاه کارشناسان منابع طبیعی استان ایلام. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۱، صفحه‌های ۴۹ تا ۵۸.
- بانج‌شفیدی ع، اکبری‌نیا م، عزیزی پ و اسحاقی‌راد ج، ۱۳۸۹. تأثیر آتش‌سوزی بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگل در شمال ایران. فصل‌نامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۸، شماره ۳، صفحه‌های ۳۶۵ تا ۳۷۹.
- حیدری ج و قربانی‌دشتکی ش، ۱۳۹۱. تأثیر آتش‌سوزی پوشش گیاهی بر کیفیت خاک مراتع نیمه استپی کرسنک چهار محال و بختیاری. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۰، شماره ۲، صفحه‌های ۱۲۵ تا ۱۴۲.
- همت‌بلند ا، اکبری‌نیا م و بانج‌شفیدی ع، ۱۳۸۹. اثر آتش‌سوزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در جنگل‌های بلوط مریوان. فصل‌نامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۸، شماره ۲، صفحه‌های ۲۰۵ تا ۲۱۸.

- Botha CR and Webb MM, 1952. The versenate method for the determination of calcium and magnesium in mineralized waters containing large concentrations of interfering ions. *Institute of Water Engineers Journal* 6: 1-6.
- Bouyoucos GJ, 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron J* 56: 464-465.
- Brady N and Weil, R, 2002. *The Nature and Properties of Soils*. 13^{ed}. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Bremner JM and Mulvaney CS, 1982. Total nitrogen Pp. 595-624. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR. *Method of Soil Analysis. Part 2*. American Society of Agronomy Inc Madison, Wisconsin USA,
- Bremner JM and Keeney DR, 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analyt Chim Acta* 32: 485-495.
- Callahan MA Jr, Anderson PH, Waldrop TA, Lione DJ and Shelburne, VB, 2004. Litter decomposition and soil respiration responses to fuel-reduction treatments in Piedmont loblolly pine forests. Pp. 25-29. In proceedings of the 12th Biennial Southern Silvicultural Research Conference. Asheville, Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. NC: U.S.
- Certini G, 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143(1): 1-10.
- Chandler C, Cheney P, Thoma, L and Williams D, 1983. *Fire in Forestry V (1): Forest Fire Behaviour and Effects*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Coutts JRH, 1945. Effects of veld burning on the base exchange capacity of a soil. *S. Afr. J. Sci* 41: 218-224.
- Covington WW and Sackett SS, 1992. Soil mineral nitrogen changes following prescribed burning in ponderosa pine. *For Ecol Manag* 54: 175-191.
- Covington WW, DeBano LF and Huntsberger TG, 1991. Soil nitrogen changes associated with slash pile burning in pinyon-juniper woodlands. *Forest Science* 37: 347-355.
- De Ronde C, 1990. Impact of prescribed fire on soil properties: comparison with wildfire effects. pp. 127-136. In: Goldammer JG and Jenkins MJ (eds.). *Fire in Ecosystem Dynamics. Mediterranean and Northern Perspectives*. SPB Academic Publishing BV: The Hague, the Netherlands.
- DeBano LF, 1990. The effect of forest fire on soil properties. Pp. 151-156. *Proceedings of the Symposium on Management and Productivity of Western- Montane Forest Soil*. Boise, ID, USA.
- Doerr SH, and Cerda A. 2005. Fire effects on soil system functioning: new insights and future challenges. *Int J Wildland fire* 14: 339-342.
- Eldiabani GS, Hale WHG and Heron CP, 2014. The effect of forest fires on physical properties and magnetic susceptibility of semi-arid soils in north-eastern, Libya. *International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Geophysical Engineering* (8)1: 54-60.
- Erickson HE and White R, 2008. *Soils under fire: Soils Research and the Joint Fire Science Program*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.
- Granged AJP, Jordán A, Zavala, LM, Muñoz-Rojas, M and Mataix-Solera J, 2011a. Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). *Geoderma* 167-168: 125-134.
- Granged AJP, Zavala LM, Antonio J and Bárcenas-Moreno G, 2011b. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. *Geoderma* 164: 85-94.
- Hamman ST, Burke, IC and Knapp EE, 2008. Soil nutrients and microbial activity after early and late season prescribed burns in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *For Ecol Manag* 256: 367-374.
- Hart SC, DeLuca TH, Newman GS, MacKenzie MD and Boyle SI, 2005. Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils. *Forest Ecol Manag* 220: 166-184.
- Heydari M, Salehi A, Mahdavi A and Adibnejad M, 2012. Effects of different fire severity levels on soil chemical and physical properties in Zagros forests of western Iran. *Folia For Pol Ser A* 54 (4): 241-250.
- Iglesias MT, 2010. Effects of fire frequency on nutrient levels in soils of Aleppo pine forests in southern France. *Lazaroa* 31: 147-152.
- Johnson DL and Curtis PS, 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: Meta analysis. *For Ecol Manag* 140: 227-238.
- Jurgensen MF, Arno SF, Harvey AE, Larsen MJ and Pfister RD, 1979. Symbiotic and nonsymbiotic nitrogen fixation in northern Rocky Mountain forest ecosystems Pp. 294-308. In: Gordon JC, Wheeler CT, Perry DA, (eds.) *Symbiotic Nitrogen Fixation in the Management of Temperate Forests: NSF workshop proceedings; 1979 April 2-5; Corvallis, Oregon State University*. OR.
- Kara O and Bolat I, 2009. Short-term effects of wildfire on microbial biomass and abundance in black pine plantation soils in Turkey. *Ecol Indic* 9: 1151-1155.

- Ketterings Q M and Bigham JM, 2000. Soil colour as an indicator of slash-and-burn fire severity and soil fertility in Sumatra, Indonesia, *Soil Sci Soc Am J* 64: 1826–1833.
- Kim Y and Tanaka N. 2003. Effect of forest fire on the fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O in boreal forest soils, interior Alaska. *J Geophys Res Atmos* 108: 1-10.
- Kutiel P and Shaviv A, 1992. Effects of soil type, plant composition and leaching on soil nutrients following a simulated forest fire. *For Ecol Manag* 53 (1): 329-343.
- Loeppert RH and Sparks DL, 1996. Carbonate and gypsum. Pp. 437-475. In: Sparks DL, (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Method*. Soil Science Society of America (SSSA), Madison, Wisconsin, USA.
- Marcos E, Tarrega R and Luis E, 2007. Changes in a Humic Cambisol heated (100-500 °C) under laboratory conditions: The significance of heating time. *Geoderma* 138: 237-243.
- Martí-Roura M, Casals P and Romanyà J, 2013. Long-term retention of post-fire soil mineral nitrogen pools in Mediterranean shrubland and grassland. *Plant Soil* 371: 521–531.
- Moghaddas EY and Stephens SL, 2007. Thinning, burning, and thin-burn fuel treatment effects on soil properties in a Sierra Nevada mixed conifer forests. *For Ecol Manag* 250:156–166.
- Mroz GD, Jurgensen MF, Harvey AE and Larsen MJ, 1980. Effects of fire on nitrogen in forest floor horizons. *Soil Sci Soc Am J* 44: 395–400.
- Murphy J and Riley JPA, 1962. Modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analyt Chim Acta* 27: 31–36.
- Neary DG, Ryan KC and DeBano LF, 2005. *Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Soils and Water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, UT: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, U.S. 250 p.
- Nelson DW and Sommers LE, 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 961-1010. In: Sparks DL, (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Method*. Soil Science Society of America (SSSA), Madison, Wisconsin, USA.
- Novora A, Gristina L, Bodi MB and Cerda A, 2010. The impact of fire on redistribution of soil organic matter on a Mediterranean hillslope under maquia vegetation type. *Land Degrad Dev* 10:102-117.
- Oluwole FA, Sambo JM and Sikhhalazo D. 2008. Long-term effects of different burning frequencies on the dry savannah grassland in South Africa. *Afr. J. Agric. Res.* 3 (2):147-153.
- Oris F, Asselin H, Ali AA, Finsinger W and Bergeron Y, 2014. Effect of increased fire activity on global warming in the boreal forest. *Environ Rev* 22: 1–14.
- Pardini G, Gispert M and Dunjó G. 2004. Relative influence of wildfire on soil properties and erosion processes in different Mediterranean environments in NE Spain. *Sci Total Environ* 328: 237–246.
- Pereira P, Cerdà A, Úbeda X, Mataix-Solera J, Martín D, Jordán A and Burguet M, 2013. Spatial models for monitoring the spatio-temporal evolution of ashes after fire – a case study of a burnt grassland in Lithuania. *Solid Earth* 4: 153–165.
- Potts DL, Suding KN, Winston GC, Rocha AV and Goulden ML, 2012. Ecological effects of experimental drought and prescribed fire in a southern California coastal grassland. *J Arid Environ* 81: 59–66.
- Rowell DL, 1994. *Soil Science: Methods and Applications*, 345. Longman Group, Harlow.
- Scharenbroch BC, Nix B, Jacobs KA and Bowles ML, 2012. Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in a Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. *Geoderma* 183–184: 80–91.
- Sheklabadi M, Mahmoudzadeh H, Mahboubi AA, Gharabaghi B and Ahrens B, 2014. Land use effects on phosphorus sequestration in soil aggregates in western Iran. *Environ Monit Assess* 186: 6493-6503.
- Terefe T, Mariscal-Sancho I, Peregrina F and Espejo R, 2008. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils: A laboratory study. *Geoderma* 143: 273-280.
- Úbeda X, Lorca M, Outeiro LR, Bernia S and Castellnou M, 2005. The effects of prescribed fire on soil quality (Prades Mountains, North East Spain). *Int J Wildland Fire* 14: 379–384.
- Úbeda X, Pereira P, Outeiro L and Martín DA, 2009. Effects of fire temperature on the physical and chemical characteristics of the ash from plots of cork oak (*Quercus suber*). *Land Degrad Dev* 20: 589–608.
- Ulery AL, Graham RC and Amrhein C, 1993. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Science* 156 (1): 358-364.
- Verma S and Jayakumar S, 2012. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. Pp. 168–176. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences* 2(3):168-176

- Wan S, Hui D and Luo Y, 2001. Fire effects on nitrogen pools and dynamics in terrestrial ecosystems: A metaanalysis. *Ecol Appl* 11 (5): 1349-1365.
- Wanthongchai K, Bauhus J and Goldammer JG, 2008. Nutrient losses through prescribed burning of aboveground litter and understorey in dry dipterocarp forests of different fire history. *Catena* 74: 321-332.
- Weston CJ and Attiwill PM, 1990. Effects of fire and harvesting on nitrogen transformations and ionic mobility in soils of *Eucalyptus regnans* forests of south-eastern Australia. *Oecologia* 83: 20-26.
- Xue L, Li Q and 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: 2947-2966.
- Zabowski D, Thies WG, Hatten J and Ogden A, 2007. Soil response to season and interval of prescribed fire in a ponderosa pine forest of the Blue Mountains, Oregon. JFSP Research Project Reports. Paper 120. <http://digitalcommons.unl.edu/jfspresearch/120>