



اثر آتش‌سوزی جنگل بر پویایی برخی از مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک با گذشت زمان

حسن سام‌دلیری^۱، مقداد جورغلامی^{۲*}، علی سلاجقه^۲، احسان عبدی^۴، یحیی کوچ^۵

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
^۲ استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
^۳ استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
^۴ دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
^۵ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۸)

چکیده

برای بررسی اثر آتش‌سوزی بر پویایی برخی از مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک، ۳۶ پلات با سه شدت آتش‌سوزی کم، متوسط و زیاد و نیز تیمار شاهد بدون سوختگی در بخش نمخانه جنگل آموزشی دانشگاه تهران پیاده شد. سپس نمونه‌های خاک از لایه ۰-۱۰ سانتی‌متری در سه مرحله (یک روز بعد، ۶ و ۱۲ ماه پس از گذشت آتش‌سوزی) برداشت و خصوصیات خاک بررسی شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌های مکرر در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. نتایج نشان داد که شدت آتش‌سوزی بر مشخصه‌های فیزیکی خاک شامل جرم مخصوص ظاهری، محتوای رطوبت و بافت خاک اثر معنی‌داری نداشته است. نتایج بررسی مشخصه‌های شیمیایی خاک نشان داد که شدت آتش‌سوزی بر هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم اثر معنی‌داری داشته، ولی بر pH اثر معنی‌داری نداشته است. در مورد مشخصه‌های بیولوژی، شدت آتش‌سوزی بر زی‌توده میکروبی کربن اثر معنی‌دار داشته، اما بر تنفس میکروبی و زی‌توده میکروبی نیتروژن اثر معنی‌داری نداشته است. گذشت زمان پس از آتش‌سوزی بر محتوای رطوبت، تنفس میکروبی، زی‌توده میکروبی کربن و نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب اثر معنی‌داری داشته، ولی بر دیگر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی بررسی شده اثر معنی‌داری نداشته است. از آنجا که آتش‌سوزی سبب کاهش طولانی‌مدت مواد مغذی خاک می‌شود، برخی اقدامات پیشگیرانه و ترمیمی پس از آتش‌سوزی در نقاطی با شدت آتش‌سوزی متوسط و زیاد، برای برگشت سریع‌تر عملکرد خاک ضروری است.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، آتش‌سوزی کنترل‌شده، خصوصیات خاک، شدت آتش‌سوزی.

مقدمه

مهمی هستند که در همه اکوسیستم‌های جنگلی مطرح‌اند و می‌توانند بر پارامترهای تنوع زیستی اثرگذار باشند (Samonil et al., 2009). آتش از محرک‌های

آشفتگی‌های طبیعی مانند آتش‌سوزی طبیعی، باد و توفان، بهمن، حرکات توده‌ای و عوامل بیماری‌زا، عوامل

سطحی، خزها، گیاهان علفی، درختچه‌ها و شاخه‌های چوبی به‌طور کامل می‌سوزند. چوب‌های پوسیده و کنده‌ها می‌سوزند. لایه بالایی خاک معدنی به‌وضوح اکسیده می‌شود و به رنگ قرمز مایل به زرد درمی‌آید. بافت خاک سطحی تغییر می‌یابد و در موارد شدید، همجوشی ذرات رخ می‌دهد. باند سیاه خاکستر از مواد آلی به عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متر در سطح باقی می‌ماند (Neary et al., 2005). در آتش‌سوزی‌های با شدت کم، خصوصیات خاک سوخته‌شده تغییرات چندانی ندارد، اما آتش‌سوزی شدید با تغییرات زیادی در خاک همراه است. تخریب مواد آلی در زمان آتش‌سوزی اغلب در خاکدانه‌های درشت در جاهایی که حریق شدیدتر بوده رخ می‌دهد (Jordan et al., 2011).

کاهش ماده آلی بر اثر آتش‌سوزی، کاهش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش تهویه و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک را در پی دارد (Granged et al., 2011). بعضی از پژوهشگران تغییر معنی‌داری را در مورد تأثیرات آتش‌سوزی بر جرم مخصوص ظاهری خاک گزارش نکرده‌اند (Meira-Castro et al., 2014; Ashrafi et al., 2017; Pierson et al., 2008). برخی تغییرات بیشتری را ثبت کرده‌اند (Boerner et al., 2009; Granged et al., 2011). سوخته شدن ماده آلی خاک، ساختمان خاک تخریب می‌شود و با کاهش تخلخل، افزایش وزن مخصوص ظاهری و در نتیجه کاهش نفوذ آب در خاک رخ می‌دهد (Neary et al., 2005). با گذشت یک سال از وقوع آتش‌سوزی، مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (Ashrafi et al., 2017). مقدار رس با گذشت زمان به‌دلیل فرسایش پس از آتش و جداسازی ذرات ریز به‌شدت کاهش می‌یابد (Granged et al., 2011; Ashrafi et al., 2017). بافت خاک به‌دلیل داشتن آستانه حرارتی زیاد، به‌شدت در برابر آتش‌سوزی مقاوم است و به‌طور کلی هیچ تغییری در دمای کمتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد ندارد (Tan et al., 1986).

اصلی عملکرد اکوسیستم است که بر چرخه مواد مغذی، ساختار و ترکیب پوشش گیاهی و پراکنش گیاهان تأثیر مهمی دارد (Augustine et al., 2014). خاک‌ها از ارزشمندترین منابع تجدیدناپذیر (Lal, 2015) و پشتیبان اساسی سیستم‌های طبیعی و اجتماعی-محیط‌زیستی هستند (Santín & Doerr, 2016). آتش‌سوزی پدیده‌ای جهانی است (Boerner et al., 2009). همه‌ساله مساحت زیادی از جنگل‌های جهان و ایران دچار آتش می‌شود. آتش با خسارت زدن به پوشش گیاهی و خاک، سبب افزایش رواناب و رسوب می‌شود. اثر آتش بر خاک‌ها، به‌طور مستقیم به شدت و مدت آتش‌سوزی بستگی دارد. شدت آتش، سبب تغییرات متفاوتی در خصوصیات خاک می‌شود (Francos et al., 2018). شدت آتش‌سوزی به عوامل محیطی مانند مقدار و رطوبت مواد سوختنی، درجه حرارت، سرعت باد و شرایط توپوگرافی بستگی دارد (Bennet et al., 2014).

شدت آتش‌سوزی در جنگل‌ها به سه گروه سبک (سطحی)، متوسط (نیمه‌عمیق) عمیق (شدید) تقسیم می‌شود (Neary et al., 2005). در آتش‌سوزی سطحی (سبک) بستر سطحی، خزها و گیاهان علفی می‌سوزند، خاک آلی تغییر نمی‌کند، شاخه‌های خشک تا قطر ۰/۶ سانتی‌متر می‌سوزند یا نیم‌سوز می‌شوند و شاخه‌های بزرگ‌تر از ۰/۶ سانتی‌متر باقی می‌مانند. گیاهان علفی به‌طور عمیق نمی‌سوزند و هنوز هم قابل شناسایی هستند و نیم‌سوز شدن خاک معدنی ناچیز است. در آتش‌سوزی با شدت متوسط بستر سطحی، خزها و گیاهان علفی به‌طور کامل می‌سوزند، خاک آلی تغییر می‌کند، شاخه‌های تا قطر ۱/۲ سانتی‌متر می‌سوزند یا نیم‌سوز می‌شوند، شاخه‌های بزرگ‌تر از ۱/۲ سانتی‌متر نیم‌سوز یا سیاه می‌شوند، پایه‌های گیاهی علفی به‌طور عمیق می‌سوزند و قابل شناسایی نیستند، نیم‌سوز شدن خاک معدنی ناچیز است، اما بافت و ساختار خاک معدنی زیرین کمی تغییر یافته است. در آتش‌سوزی عمیق یا شدید، بسترهای

سه گروه، حساسیت زیاد (نیتروژن و گوگرد)، حساسیت متوسط (پتاسیم و فسفر) و حساسیت کم (کلسیم و منیزیم) تقسیم می‌شوند (Raison et al., 1985). بررسی (Saeidlou & Sadaghiani, 2014) نشان داد که مقدار فسفر و نیتروژن ۶ ماه پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد، ولی پس از گذشت ۱۲ ماه به سطوح قبل از آتش‌سوزی می‌رسد. آتش‌سوزی می‌تواند بر مشخصه‌های بیولوژیکی خاک به‌طور مستقیم (با کشتن یا صدمه به ارگانیس‌ها) یا غیرمستقیم (توسط تأثیرات طولانی‌مدت مانند جانمایی گیاهان، مواد آلی خاک و دگرگونی) تأثیر بگذارد (Certini, 2005). از بین رفتن ارگانیس‌های خاک به دمای آتش‌سوزی بستگی دارد (Barreiro et al., 2015). برخی مطالعات، افزایش فعالیت میکروبی در پاسخ به افزایش مواد خاکستر را نشان می‌دهند (Fultz et al., 2016). بیشتر پژوهش‌ها در زمینه آتش‌سوزی، به بررسی تأثیر آن بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پس از فاصله زمانی حدود ۶ ماه و بیشتر از زمان وقوع آتش‌سوزی پرداختند. اما در این پژوهش با آتش‌سوزی کنترل‌شده با شدت‌های مختلف، نمونه‌های خاک بلافاصله بعد از آتش‌سوزی نیز برداشت شد. همچنین برخی از مشخصه‌های بیولوژی خاک نیز بررسی شد. از آنجا که آتش‌سوزی سبب از دست رفتن عناصر مغذی خاک می‌شود، می‌توان با برخی از اقدامات ترمیمی از شدت اثرهای منفی آتش‌سوزی‌ها کاست. این پژوهش بنا دارد با بررسی شدت‌های مختلف نشان دهد که اقدامات ترمیمی در کدام شدت‌ها ضرورت چندانی ندارد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش در پارسل ۲۰۷ بخش نمخانه جنگل خیرود با طول جغرافیایی شرقی $30^{\circ} 36' 51''$ تا $30^{\circ} 39' 51''$ و عرض جغرافیایی شمالی $32^{\circ} 32' 36''$ تا $34^{\circ} 34' 36''$ انجام گرفت. بارندگی

آتش‌سوزی بر مشخصه‌های شیمیایی خاک تأثیر می‌گذارد و موجب کاهش ذخیره عناصر غذایی خاک، کربن، منیزیم و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود. به‌طور متوسط، محتوای ماده آلی خاک پس از آتش‌سوزی و یک سال بعد به‌شدت کاهش می‌یابد (Granged et al., 2011). بررسی (Banej Shafiei et al., 2010) نشان داد که افزایش شدت آتش‌سوزی، سبب افزایش مقدار واکنش خاک، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی و کاهش دیگر مشخصه‌ها (کربن، نیتروژن کل، نیتروژن قابل جذب و فسفر) می‌شود. مقدار نیتروژن از دست‌رفته در آتش‌سوزی‌ها همواره بسیار کمتر از کربن آلی خاک است (Badia et al., 2017; Francos et al., 2018). کاهش مقدار کربن آلی در اثر آتش‌سوزی بیش از ۷۵ درصد و مقدار نیتروژن حدود ۵۰ درصد است (Majder et al., 2019) و مقدار نیتروژن خاک در خاک‌های معدنی پس از آتش‌سوزی ممکن است افزایش یابد (Shakesby et al., 2015; Alcañiz et al., 2016). مقدار کربن کل در مناطق سوخته‌شده، به‌طور معنی‌داری کمتر از مناطق شاهد در میان مدت (۷ سال) و بلندمدت (۱۸ سال) است (Francos et al., 2018). مطالعات طولانی‌مدت درباره کربن آلی خاک نشان می‌دهد که مقادیر کربن پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (Scharenbroch et al., 2014; Bennet et al., 2012).

به‌دلیل تلفات لایه آلی، اکسیداسیون کامل مواد آلی و آزاد شدن کاتیون‌ها، مقدار pH خاک در اثر آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (Switzer et al., 2012; Muqaddas et al., 2015). هرچند برخی از مطالعات مقادیر pH را بدون تغییر گزارش دادند (Alcañiz et al., 2016; Valkó et al., 2016). مقدار اسیدیته خاک و هدایت الکتریکی بعد از آتش‌سوزی به‌سرعت افزایش می‌یابد و پس از یک سال به مقادیر اولیه برمی‌گردد (Granged et al., 2011; Ashrafi et al., 2017). عناصر غذایی خاک دارای آستانه حرارتی متفاوتی اند و از نظر حساسیت به آتش به

(Ashrafi et al., 2017) و نمونه‌ها برای بررسی پارامترها به آزمایشگاه انتقال یافتند. برای اندازه‌گیری محتوای رطوبت از روش توزین استفاده شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند.

روش تحلیل

جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه، بافت خاک به روش هیدرومتری، اسیدیت به روش پتانسیومتری با دستگاه pH متر الکتریکی، هدایت الکتریکی با استفاده از EC سنج، کربن آلی به روش والکلی-بلاک، نیتروژن کل با استفاده از کجلدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب با استفاده از عصاره آمونیوم در دستگاه جذب اتمی، تنفس میکروبی به روش بطری بسته، زی‌توده‌های میکروبی کربن و نیتروژن به روش تدخین-استخراج در محیط آزمایشگاه سنجش و اندازه‌گیری شد (Ghazan Shahi, 2006). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد، سپس از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌های مکرر یا طرح اندازه‌های تکراری^۱ در SPSS استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون دانکن گروه‌بندی شدند.

نتایج

شدت آتش‌سوزی بر مشخصه‌های فیزیکی شامل جرم مخصوص ظاهری، محتوای رطوبت و بافت خاک (درصد ماسه، لای و رس) تأثیر معنی‌داری نداشت. گذشت زمان آتش‌سوزی تنها بر محتوای رطوبت تأثیر معنی‌داری داشت ($P < 0.05$) و بر سایر مشخصه‌های فیزیکی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). با افزایش شدت آتش‌سوزی، جرم مخصوص ظاهری و رطوبت خاک کاهش یافت، اما بافت خاک تغییرات چندانی نداشت (شکل ۱).

سالیانه در این منطقه ۱۳۸۰ میلی‌متر است. مساحت پارسل ۴۹/۷ هکتار، حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۷۱۰ تا ۹۰۰ متر، جهت عمومی جنوبی، تیپ خاک قهوه‌ای جنگلی، تیپ راش-ممرز، موجودی سرپا در هکتار ۴۷۷ سیلو و تعداد درخت ۱۷۸ اصله در هکتار است. منطقه از نظر زمین‌شناسی آهکی متعلق به دوران ژوراسیک بالایی است.

شیوه اجرای پژوهش

از آنجا که بیشتر آتش‌سوزی‌های وسیع شمال کشور در رانشستان‌ها رخ می‌دهد، برای اجرای این پژوهش از آتش‌سوزی کنترل‌شده در رانشستان استفاده شد. به منظور تعیین محل نمونه‌برداری، با بازدید میدانی از جنگل، منطقه‌ای تقریباً یکسان از لحاظ توپوگرافی و دیگر عوامل مؤثر انتخاب شد و ۱۲ قطعه نمونه برای چهار تیمار مستقر شدند. برای بررسی تأثیرات آتش، سه شدت آتش‌سوزی کم (سطحی)، متوسط (نیمه‌عمیق) و زیاد (عمیق) کنترل‌شده در سطح قطعات نمونه ۲ متر مربعی اوایل مهر سال ۱۳۹۷ در منطقه ایجاد شد. شدت آتش بر مبنای حجم مواد سوختنی تنظیم شد و آتش با اتمام مواد سوختنی در سطح قطعات نمونه پایان یافت. آتش‌سوزی در جنگل به‌طور معمول در سطح وسیعی از جنگل در توده انبوه، نیمه‌انبوه و تنک (فضای باز) رخ می‌دهد، بنابراین در استقرار پلات‌ها این موضوع مدنظر قرار گرفت. همچنین پلات‌های شاهد نیز در توده‌های انبوه، نیمه‌انبوه و تنک (فضای باز) انتخاب شد. ۳۶ نمونه خاک (سوخته با شدت‌های مختلف و بدون سوختگی به‌عنوان شاهد) برداشت شد. نمونه‌های خاک از عمق ۱۰-۱۰ سانتی‌متری با استوانه‌های با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری در همه پلات‌ها در سه مرحله (روز بعد، ۶ و ۱۲ ماه بعد از آتش‌سوزی) برداشت شد. برای کاهش خطا، در هر پلات سه نمونه خاک به‌صورت تصادفی برداشت شد، نمونه‌ها با هم مخلوط شدند و در پایان از هر پلات یک نمونه خاک مرکب جمع‌آوری شد.

^۱ Repeated measure

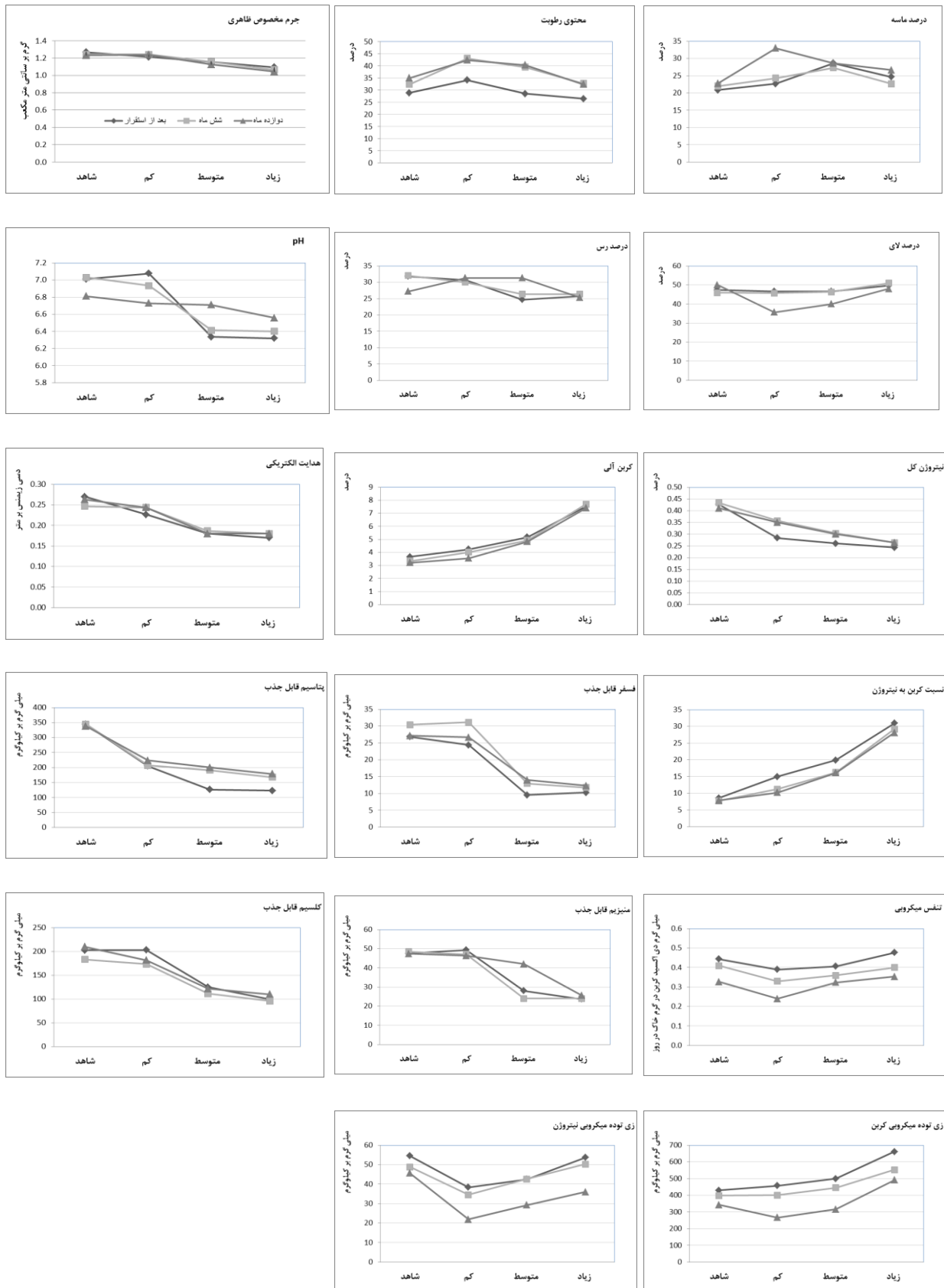
جدول ۱- تأثیر شدت و زمان آتش‌سوزی و اثر متقابل آنها بر مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک با استفاده از آزمون تجزیه واریانس با اندازه‌های مکرر

شدت × زمان		زمان		شدت		مشخصه‌های اندازه‌گیری شده
Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	
۰/۷۹۲	۰/۵۱۱	۰/۵۱۱	۰/۷۰۰	۰/۰۸۵	۳/۱۶۷	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۰/۸۸۷	۰/۳۷۰	۰/۰۰۳	۸/۸۵۳	۰/۱۲۷	۲/۵۷۰	محتوای رطوبت (درصد)
۰/۷۲۹	۰/۵۹۶	۰/۲۲۱	۱/۶۸۰	۰/۴۷۸	۰/۹۱۱	ماسه (درصد)
۰/۶۹۴	۰/۶۴۴	۰/۳۵۷	۱/۰۹۸	۰/۵۴۳	۰/۷۶۹	لای (درصد)
۰/۳۷۲	۱/۱۶۵	۰/۹۵۳	۰/۰۴۸	۰/۶۶۳	۰/۵۴۸	رس (درصد)
۰/۷۰۲	۰/۶۳۴	۰/۹۹۶	۰/۰۰۴	۰/۱۴۹	۲/۳۴۳	اسیدینه خاک
۰/۹۶۶	۰/۲۱۸	۰/۹۶۰	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۴/۴۲۴	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
۰/۹۹۹	۰/۰۶۲	۰/۶۳۴	۰/۴۶۹	۰/۰۴	۹/۱۰۷	کربن آلی (درصد)
۰/۹۴۷	۰/۲۶۱	۰/۳۸۰	۱/۰۲۹	۰/۰۲۵	۵/۴۰۲	نیتروژن کل (درصد)
۰/۹۰۳	۰/۳۴۴	۰/۳۵۱	۱/۱۱۸	۰/۰۰۰	۳۲/۳۵۶	نسبت کربن به نیتروژن
۰/۵۹۸	۰/۷۸۰	۰/۰۲۸	۴/۵۱۹	۰/۰۰۰	۲۳/۳۷۱	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰/۳۰۷	۱/۳۱۳	۰/۰۲۷	۴/۵۳۹	۰/۰۰۸	۸/۳۷۷	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰/۸۹۸	۰/۳۵۲	۰/۲۰۷	۱/۷۳۹	۰/۰۰۶	۸/۹۰۹	کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰/۲۶۱	۱/۴۳۸	۰/۳۰۸	۱/۲۷۰	۰/۰۰۱	۱۷/۳۹۵	منیزیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰/۹۶۳	۰/۲۲۴	۰/۰۰۰	۱۹/۰۲۴	۰/۴۸۱	۰/۹۰۳	تنفس میکروبی (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در گرم خاک در روز)
۰/۷۱۵	۰/۶۱۵	۰/۰۰۰	۱۸/۰۴۵	۰/۰۴۱	۴/۴۲۸	زی‌توده میکروبی کربن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۰/۸۲۶	۰/۴۶۳	۰/۰۰۱	۱۲/۵۶۵	۰/۱۰۳	۲/۸۸۱	زی‌توده میکروبی نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

گذشت زمان آتش‌سوزی بر تنفس میکروبی، زی‌توده میکروبی کربن و زی‌توده میکروبی نیتروژن تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که در شدت آتش‌سوزی کم، تنها مقدار نیتروژن کل و پتاسیم قابل جذب اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد (بدون سوختگی) دارند و برای دیگر مشخصه‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های شاهد مشاهده نشد. مشخصه‌های کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن در شدت آتش‌سوزی متوسط و زیاد با هم اختلاف معنی‌داری دارند و تفاوت‌ها در مورد دیگر مشخصه‌ها به‌طور تقریبی یکسان است.

نتایج بررسی مشخصه‌های شیمیایی خاک با استفاده از آزمون آماری نشان داد که شدت آتش‌سوزی بر EC، کربن آلی، نیتروژن کل، نسبت کربن به نیتروژن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم قابل جذب تأثیر معنی‌داری داشت، ولی بر pH تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). همچنین گذشت زمان آتش‌سوزی بر فسفر و پتاسیم قابل جذب تأثیر معنی‌داری داشت و بر سایر مشخصه‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱).

بررسی مشخصه‌های بیولوژی خاک نشان داد که شدت آتش‌سوزی بر زی‌توده میکروبی کربن تأثیر معنی‌داری داشت، ولی بر تنفس میکروبی و زی‌توده میکروبی نیتروژن تأثیر معنی‌داری نداشت. همچنین



شکل ۱- مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک در شدت‌های مختلف و شاهد با گذشت زمان آتش‌سوزی

جدول ۲- میانگین اثر شدت آتش‌سوزی بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژی خاک با استفاده از آزمون دانکن*

مشخصه‌های شیمیایی و زیستی	شاهد	شدت کم	شدت متوسط	شدت زیاد
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۲۶a	۰/۲۴a	۰/۱۸b	۰/۱۸b
کربن آلی (درصد)	۳/۴۰a	۳/۹۴ab	۴/۹۸b	۷/۵۴c
نیترژن کل (درصد)	۰/۴۲a	۰/۳۳b	۰/۲۹bc	۰/۲۶c
نسبت کربن به نیترژن	۸/۲۳a	۱۲/۳a	۱۸/۵b	۳۰/۲۳c
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۸/۱a	۲۷/۳a	۱۲/۱b	۱۱/۴b
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۴۲a	۲۱۲b	۱۷۲c	۱۵۶c
کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۹۸a	۱۸۶a	۱۱۹b	۱۰۲b
منیزیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۴۸a	۴۸a	۳۱b	۲۴b
زی‌توده میکروبی کربن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳۹۰a	۳۷۴a	۴۲۰a	۵۶۸b

* حروف لاتین نامشابه، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد است.

با افزایش شدت آتش‌سوزی مقادیر مشخصه‌های شیمیایی و بیولوژی تحت بررسی افزایش یا کاهش شدیدی را نشان می‌دهد. به‌نحوی که در مقادیر مشخصه‌ها در آتش‌سوزی شدت کم با نمونه‌های شاهد نزدیک به هم هستند، ولی در آتش‌سوزی متوسط و زیاد تغییرات زیادی مشاهده می‌شود (شکل ۱). همچنین با گذشت حدود یک سال تنها مشخصه‌های فسفر و پتاسیم قابل جذب نسبت به زمان وقوع آتش‌سوزی در شدت‌های مختلف کمی افزایش داشت (جدول ۱ و شکل ۱).

بحث

نتایج این بررسی حاکی است که شدت آتش‌سوزی بر مشخصه‌های فیزیکی خاک از جمله جرم مخصوص ظاهری، محتوای رطوبت، بافت خاک (درصد ماسه، لای و رس) اثر معنی‌داری ندارد، اما گذشت زمان تنها بر مشخصه محتوای رطوبت تأثیر معنی‌داری داشت. جرم مخصوص ظاهری خاک با افزایش شدت آتش‌سوزی کاهش یافت که این امر خلاف نتایج برخی تحقیقات گذشته از جمله Ashrafi et al. (2017) است. یکی از دلایل کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک، ریزش باران شدید به مقدار حدود ۲۵۰ میلی‌متر در هفته دوم (در تاریخ ۱۳

و ۱۴ مهر ۱۳۹۷) بعد از آتش‌سوزی است که بخش اعظم خاکستر را شسته و مانع نفوذ به منافذ خاک شده است. سوختن لایه لاشبرگ و ماده آلی سبب کاهش ماده آلی خاک، پر شدن منافذ درشت خاک توسط خاکستر ناشی از سوختن پوشش گیاهی و در نتیجه، افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود (Ekinci, 2006; Stoof et al., 2010). با افزایش شدت آتش‌سوزی، مقدار رطوبت خاک کاهش یافت و این کاهش بلافاصله بعد از وقوع محسوس بود و طی گذشت زمان رطوبت خاک به مقدار اولیه خود رسید. در زمان آتش‌سوزی، به‌دلیل حرارت زیاد، رطوبت خاک بخار شده و از دسترس خارج می‌شود. بعد از آتش‌سوزی فصل پاییز و زمستان همراه با بارش زیاد، خزان برگ‌ها و پوشاندن سطح خاک سوخته به‌همراه دمای کمتر موجب افزایش رطوبت خاک شد. در آتش‌سوزی با شدت کم، رطوبت خاک مقداری افزایش یافت که ممکن است ناشی از درصد زیاد تاج‌پوشش در پلات‌های با شدت آتش‌سوزی کم باشد. در دمای بیش از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد ذرات رس به هم می‌چسبند و ذرات درشت‌تر را تشکیل می‌دهند (Ketterings & Bigham, 2000). بافت خاک پس از آتش‌سوزی درشت‌تر می‌شود، به‌طوری که درصد شن افزایش و درصد رس و سیلت به‌علت فرایندهای

عوامل تأثیرگذار بر تغییرات نیتروژن کل خاک شامل شدت آتش‌سوزی و نوع پوشش گیاهی هستند. با گذشت زمان پس از آتش‌سوزی، مقدار نیتروژن افزایش می‌یابد که بخشی از این تغییرات با زی‌توده‌های میکروبی نیتروژن ارتباط دارد، ولی در طی یک سال در هیچ‌کدام از شدت‌های آتش‌سوزی به مقادیر شاهد نزدیک نشد. نیتروژن با وجود حساسیت زیاد و تصعید در دمای کم، در اثر آتش‌سوزی به سرعت وارد اتمسفر می‌شود و بر ذخیره نیتروژن خاک تأثیر می‌گذارد (Zhang et al., 1999). هرچه شدت آتش‌سوزی بیشتر باشد، مقدار نیتروژن از دست‌رفته خاک بیشتر خواهد بود. مقدار نیتروژن کل با گذشت زمان در آتش‌سوزی با شدت کم و زیاد کاهش می‌یابد (Francos et al., 2018). نسبت C/N به‌طور مستقیم به مقدار کربن و نیتروژن کل خاک بستگی دارد. این مشخصه در کوتاه‌مدت در آتش‌سوزی با شدت کم به‌طور چشمگیری اندک، و در شدت‌های زیاد، بیشتر بوده است که با نتایج پژوهش (Francos et al., 2018) همخوانی دارد.

از آنجا که ذخیره اصلی فسفر در خاک وجود دارد، سوختن شدید پوشش گیاهی و لاشبرگ‌ها نیز بر ذخیره فسفر در مقایسه با نیتروژن تأثیر بیشتری دارد. مقدار زیادی از فسفر قابل دسترس در خاک سطحی و خاکستر حاصل از آتش‌سوزی بعد از وقوع موجود است (DeBano et al., 1998). هرچند گذشت زمان بعد از آتش‌سوزی سبب افزایش مقدار فسفر خاک شد (جدول ۲ و شکل ۲) که با نتایج تحقیقات (Saeidlou & Sadaghiani, 2014) همخوانی دارد؛ اما در آتش‌سوزی‌های متوسط و شدید طی یک سال به مقادیر شاهد نرسیده است که این موضوع ممکن است ناشی از جذب فسفر توسط اکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز یا انتقال ذرات خاکستر در اثر باران شدید بعد از آتش‌سوزی باشد (Huffman et al., 2001).

به‌دلیل حساسیت کم کلسیم و منیزیم، تأثیر آتش‌سوزی بر چرخه آنها کم و موقتی است و

فرسایش و جداسازی انتخابی ذرات ریز خاک کاهش می‌یابد (Granged et al., 2011) مقدار رس با گذشت زمان به‌دلیل بارندگی و آبشویی به‌شدت کاهش می‌یابد (Granged et al., 2011; Ashrafi et al., 2017). این امر موجب کاهش درصد رس و سیلت در آتش‌سوزی‌های شدید و افزایش درصد شن می‌شود. وجود بارندگی‌های زیاد در دوره بارشی بعد از آتش‌سوزی ممکن است دلیل کاهش pH باشد، زیرا حضور اکسیدهای پتاسیم و سدیم، هیدروکسیدها و کربنات‌ها در اثر فصل مرطوب از افزایش pH جلوگیری می‌کند (Macadam, 1987). همچنین افزایش pH به مقدار زیاد در اثر آتش‌سوزی در دمای زیاد (بیش از ۴۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) که سبب افزایش اشباع بازی شده، رخ می‌دهد. گرایش هدایت الکتریکی به افزایش فوری بعد از آتش‌سوزی است (Granged et al., 2011; Alcañiz et al., 2016) هرچند در این پژوهش افزایش نداشت که به نظر می‌رسد دمای آتش‌سوزی شدید به‌حدی نبوده که سبب افزایش اشباع بازی شود. سوختن لاشبرگ‌ها و مواد سوختنی موجب مسدود شدن منافذ درشت سطح خاک می‌شود که کاهش سرعت جریان آب در خاک را در پی دارد که در نتیجه آن، هدایت الکتریکی خاک کاهش می‌یابد (Valzano et al., 1997). همچنین کاهش رس در آتش‌سوزی‌های شدید نیز موجب کاهش هدایت الکتریکی خاک می‌شود (Ashrafi et al., 2017). تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در شدت‌های مختلف آتش‌سوزی ممکن است ناشی از تغییر مقدار رس باشد. افزایش مقدار کربن بعد از آتش‌سوزی نتایج تحقیق (Ashrafi et al., 2017) را تأیید می‌کند که بخشی از این تغییرات با زی‌توده‌های میکروبی کربن ارتباط دارد. همچنین تغییرات کربن آلی خاک به شدت آتش‌سوزی بستگی دارد، به‌طوری که در شدت‌های زیاد، کل کربن خاک و در شدت کم، بخشی از کربن می‌سوزد (Bennet et al., 2014).

تا چندین سال (Switzer et al., 2012; Barreiro et al., 2015) طول بکشد. با حذف پوشش گیاهی در پی وقوع آتش‌سوزی، خاک تحت تأثیر فرسایش قرار می‌گیرد و از درصد مادهٔ آلی آن کاسته می‌شود. بنابراین برخی از اقدامات ترمیمی پس از آتش‌سوزی، به‌ویژه در مناطق تحت تأثیر آتش‌سوزی شدید لازم است تا از اثرهای طولانی‌مدت بر مواد مغذی اساسی خاک از جمله کربن کل، مادهٔ آلی خاک، کلسیم و منیزیم قابل استخراج جلوگیری شود. با استناد به نتایج این پژوهش مبنی بر اثرهای منفی بسیار کم در آتش‌سوزی با شدت‌های کم، پیشنهاد می‌شود که برای کاهش هزینه‌ها، پس از آتش‌سوزی تنها در نقاطی که شدت آتش‌سوزی متوسط و زیاد باشد، برخی اقدامات پیشگیرانه و ترمیمی برای برگشت سریع‌تر عملکرد خاک صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج رساله دکتری نویسندهٔ اول با عنوان "تأثیر بهره‌برداری و آتش‌سوزی جنگل بر کمیت و کیفیت رواناب، رسوب و خصوصیات خاک در جنگل خیرود" است. نویسندگان مقاله مراتب تشکر خود را از همکاری‌های ارزندهٔ جناب آقای مهندس فتحی کارشناس جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در جهت اجرای پژوهش دارند.

دسترسی این عناصر با افزایش مقدار مواد آلی سوخته افزایش می‌یابد (Adams & Boyle, 1980). بازگشت مقادیر کلسیم و منیزیم بعد از وقوع آتش‌سوزی در کوتاه‌مدت اتفاق نمی‌افتد، به‌طوری‌که کلسیم و منیزیم قابل استخراج در خاک‌های سوخته در میان‌مدت (هفت سال) کمتر از خاک بدون سوختگی است، ولی در درازمدت (۱۸ سال) به مقدار اولیه برمی‌گردد (Francos et al., 2018). کاهش کلسیم و منیزیم موجود در خاکستر به دلیل شسته شدن در اثر باران شدید نیز ممکن است تأثیرگذار باشد. با افزایش شدت آتش‌سوزی، مقدار پتاسیم خاک کاهش یافته است که همسو با نتایج تحقیق (Adams & Boyle, 1980) نیست. به‌طور طبیعی سوختن مواد آلی و آزاد شدن کاتیون‌های موجود در آن پس از آتش‌سوزی، سبب افزایش مقدار پتاسیم می‌شود، اما وقوع بارش‌های شدید پس از آتش‌سوزی در منطقهٔ تحقیق، سبب شسته شدن لایهٔ خاکستر که غنی از مواد مغذی بوده، شده است که این نکته با تحقیق (Huffman et al., 2001) مطابقت دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت باران شدید پس از آتش تأثیرات منفی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارد.

بازیابی مشخصه‌های بیولوژیکی خاک به مقادیر پیش از آتش‌سوزی به ویژگی‌های آتش‌سوزی (شدت و مدت آتش‌سوزی) میکروتوپوگرافی، رطوبت خاک، خصوصیات خاک و پوشش گیاهی بستگی دارد و ممکن است بین یک ماه (Gray & Dighton, 2009)

References

- Adams, P.W., & Boyle, J.R. (1980). Effects of fire on soil nutrients in clear-cut and whole-tree harvest sites in Central Michigan. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 847-850.
- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., Farguell, J., & Úbeda, X. (2016). Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain). *Science of Total Environment*, 572, 1329-1335.
- Ashrafi- Saeidlou, S., Rasouli-Sadaghiani, M.H., & Barin, M. (2017). The Effect of Firing Background on Some Soil Physico-Chemical Properties in Forest Ecosystem of Sardasht. *Journal Water and Soil Science*, 21(3), 109-119.

- Augustine, D., Brewer, P., Blumenthal, D., & Derner, J. (2014). Prescribed fire, soil organic nitrogen dynamics, and plant responses in a semiarid grassland. *Journal of Arid Environment*, 104, 59-66.
- Badia, D., Lopez-Garcia, S., Marti, C., Ortiz-PerpiZa, O., GironaGarcia, A., & Casanova-Gascon, J. (2017). Burn effects on soil properties associated to heat transfer under contrasting moisture content. *Science of the Total Environment*, 602, 1119-1128.
- Banej Shafiei, A., Akbarinia, M., Azizi, P., & Eshaghi Rad, J. (2010). Impacts of fire on some chemical properties of forest soil in north of Iran (Case study: Kheyroudkenar forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(3), 365-379.
- Barreiro, A., Fontúrbel, M.T., Lombao, A., Martín, A., Vega, J.A., Fernández, C., Carballas, T., & DíazRaviña, M. (2015). Using phospholipid fatty acid and community level physiological profiling techniques to characterize soil microbial communities following an experimental fire and different stabilization treatments. *Catena*, 135, 419-429.
- Bennet, L., Aponte, C., Baker, T., & Tolhurst, K. (2014). Evaluating long-term effects of prescribed fire regimes on carbon stocks in a temperate eucalypt forest. *Forest Ecology and Management*, 328, 219-228.
- Boerner, R.E.C., Hart, S., & Huang, J. (2009). Impacts of fire and fire surrogate treatment. *Ecological Application*, 19, 338-358.
- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils, a review. *Oecologia*, 143, 1-10.
- DeBano, L.F., Neary, D.G., & Ffolliott, P.F. (1998). *Fire's effects on ecosystems*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 333p.
- Ekinci, H. (2006). Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Canakkale, Turkey. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8, 102-106.
- Franco, M., Ubeda, X., Pereira, P., & Alcaniz, M. (2018). Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities, a case study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula). *Science of the Total Environment*, 615, 664-671.
- Fultz, L.M., Moore-Kucera, J., Dathe, J., Davinic, M., Perry, G., Wester, D., Schwilk, D.W., & Ridebouthanzak, D. (2016). Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biochemical processes and microbial communities, two case studies in the semi-arid southwest. *Applied Soil Ecology*, 99, 118-128.
- Ghazan Shahi, J. (2006). *Soil and Plant Analysis*, Homa Publication, 272p.
- Granged, A.J.P., Jordan, A., Zavala, L.M., Munoz-Rojas, M., & Mataix-Solera, J. (2011). Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). *Geoderma*, 167, 125-134.
- Gray, D.M., & Dighton, J. (2009). Nutrient utilization by pine seedlings and soil microbes in oligotrophic pine barrens forest soils subjected to prescribed fire treatment. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(9), 1957-1965.
- Huffman, E.L., MacDonald, L.H., & Stednick, J.D. (2001). Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodge pole pine. *Hydrological Processes*, 15, 2877-2892.
- Jordan, A., Zavala, L.M., Mataix-Solera, J., Nava, A.L., & Alanís, N. (2011). Effect of fire severity on water repellency and aggregate stability on Mexican volcanic soils. *Catena*, 84, 136-147.
- Ketterings, Q.M., & Bigham, J.M. (2000). Soil color as an indicator of slash-and-burn fire severity and soil fertility in Sumatra Indonesia. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1826-1833.
- Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7, 5875-5895.
- Macadam, A.M. (1987). Effects of broadcast slash burning on fuels and soil chemical properties in the sub-boreal spruce zone of central British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 17, 1577-1584.

- Majder, M., Szulc, W., Rutkowska, B., Ptasinski, D., & Kazberuk, W. (2019). Influence of fire on selected physico-chemical properties of forest soil. *Soil Science Annual*, 70(1), 39-43.
- Meira-Castro, A., Shakesby, R.A., Espinha Marques, J., Doerr, S., Meixedo, J.P., Teixeira, J., & Chaminé, H.I. (2014). Effects of prescribed fire on surface soil in a *Pinus pinaster* plantation, northern Portugal. *Environmental Earth Sciences*, 73(6), 3011–3018.
- Muqaddas, B., Zhou, X., Lewis, T., Wild, C., & Chen, C. (2015). Long-term frequent prescribed fire decreases surface soil carbon and nitrogen pools in wet sclerophyll forest of Southeast Queensland, Australia. *Science of the Total Environment*, 536, 39-47.
- Neary, G., Ryan- Kevin, C., & DeBano- Leonard, F. (2005). *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*. Gen. Tech. Rep. 42(4), UT, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 250p.
- Pierson, F.B., Robichaud, P.R., Moffet, C.A., Spaeth, K.E., Williams, C.J., Hardegree, S.P., & Clark, P.E. (2008). Soil water repellency and infiltration in coarse-textured soils of burned and unburned sagebrush ecosystems. *Catena*, 74(2), 98-108.
- Raison, R.J., Khanna, P.K., & Woods, P.V. (1985). Transfer of elements to the atmosphere during low-intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 15, 657-664.
- Saeidlou, S.A., & Sadaghiani, M.H.R. (2014). The effects of fire on soil organic carbon quantity and nutrients availability in Sardasht Oak forests. *Applied Soil Research*, 2(2), 28-39.
- Samonil, P., Antolik, L., Svoboda, M., & Adam, D. (2009). Dynamics of wind throw events in a natural fir – beech forest in the Carpathian Mountains. *Forest Ecology and Management*, 257, 1148-1156.
- Santin, C., & Doerr, S.H. (2016). Fire effects on soils: the human dimension, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371, 201-215.
- Scharenbroch, B.C., Nix, B., Jacobs, K.A., & Bowles, M.L. (2012). Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. *Geoderma*, 183-184, 89-91.
- Shakesby, R.A., Bento, C.P.M., Ferreira, C.S.S., Ferreira, A.J.D., Stoof, C.R., Urbanek, E., & Walsh, R.P.D. (2015). Impacts of prescribed fire on soil loss and soil quality: an assessment based on an experimentally-burned catchment in central Portugal. *Catena*, 128, 278-293.
- Stoof, C.R., Wesseling J.G., & Ritsema C.J. (2010). Effects of fire and ash on soil water retention. *Geoderma*, 159, 276-285.
- Switzer, J.M., Hope, G.D., Grayston, S.J., & Prescott, C.E. (2012). Changes in soil chemical and biological properties after thinning and prescribed fire for ecosystem restoration in a Rocky Mountain Douglas-fir forest. *Forest Ecology and Management*, 275, 1-13.
- Tan, K.H., Hajek, B.F., Barshad, I., & Klute, A. (1986). *Thermal analysis techniques. Methods of Soil Analysis. 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, 151-183.
- Valkó, O., Deak, B., Magura, T., Torok, P., Kelemen, A., Toth, K., Horvath, R., Nagy, D.D., Debnar, Z., Zsigrai, G., Kapocsi, I., & Tothmeresz, B. (2016). Supporting biodiversity by prescribed burning in grasslands—a multi-taxa approach. *Science of the Total Environment*, 572, 1377-1384.
- Valzano, F.P., Greene, R.S.B., & Murphy, B.W. (1997). Direct effects of stubble burning on soil hydraulic and physical properties in a direct drill tillage system. *Soil and Tillage Research*, 42, 209-219.
- Zhang, W.R., Yang, G.Y., Tu, X.Y., & Zhang, P. (1999). *Determination of forest soil water-physical properties*. China Criterion of Forest Technique, No. LY/T 1215.



Research Article

The effect of forest fires on the dynamics of some soil physical, chemical and biological characteristics over time

H. Samdaliri¹, M. Jourgholami^{2*}, A. Salajegheh³, E. Abdi⁴, and Y. Kooch⁵

¹ Ph.D. Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

² Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

³ Prof., Dept. of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

⁴ Associate Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

⁵ Assistant Prof., Dept. of forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran.

(Received: 2 December 2019, Accepted: 8 September 2020)

Abstract

In order to study the effect of fire on some physical, chemical and biological characteristics of soil, 36 sample plots with three low, medium and high fire intensities and control treatments were set up in the Namkhaneh district of University of Tehran Forest. Soil samples were then taken from 0-10 cm layer in three phases (one day, 6 and 12 months after the fire) and some soil properties were studied. Data analysis was done by repeated measures ANOVA in SPSS software. The results showed that fire intensity had no significant effect on soil physical properties including bulk density, moisture content and soil texture. The results of soil chemical properties analysis showed that fire intensity had a significant effect on electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen, carbon to nitrogen, phosphorus, calcium, potassium and magnesium ratios but had no significant effect on pH. In terms of biological characteristics, fire intensity had no significant effect on carbon microbial biomass but on microbial respiration and nitrogen microbial biomass. Time after fire had significant effect on moisture content, microbial respiration, microbial carbon and nitrogen, available phosphorus and potassium but had no significant effect on other physical, chemical properties. Since fire causes long-term depletion of soil nutrients, some post-fire preventive and rehabilitative measures in areas with moderate and high fire severities are required to restore soil functions more quickly.

Keywords: Fire, Fire severity, Soil properties, Controlled fire.