



دانشگاه گورگان و منابع طبیعی گورگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره دوم، ۱۳۹۶
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی میزان بهبودی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سال‌های پس از آتش‌سوزی در جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط زاگرس در استان کرمانشاه

مصطفی صادقی‌فر^۱، *علی بهشتی آل‌آقا^۲ و مرتضی پوررضا^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه رازی، استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه رازی،

^۲استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه رازی

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: آتش‌سوزی مهم‌ترین عامل تخریب در اکوسیستم‌های جنگلی به‌شمار می‌رود که می‌تواند دگرگونی‌هایی را در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کوتاه‌مدت و بلندمدت ایجاد نماید. دگرگونی این ویژگی‌ها در خاک پس از آتش‌سوزی ممکن است پیامدهای منفی بر اکوسیستم جنگل حتی در بلندمدت داشته باشد. از آن‌جا که فراوانی رخداد‌های آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است، شناسایی اثرات بلندمدت و کوتاه‌مدت آتش‌سوزی بر ویژگی‌های خاک این جنگل‌ها به‌منظور جلوگیری از تخریب خاک بسیار ضروری می‌باشد. بنابراین در این پژوهش پاسخ کوتاه‌مدت و بلندمدت برخی از ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک به آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس بررسی شد تا زمان بهبودی تغییرات هر یک از این ویژگی‌ها پس از آتش‌سوزی تعیین شود.

مواد و روش‌ها: برای بررسی زمان بهبودی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پس از آتش‌سوزی، ۳ منطقه در یک رویشگاه با فاصله حدود ۱ کیلومتر با زمان‌های مختلف آتش‌سوزی شامل ۱ سال، ۳ سال و ۱۰ سال انتخاب شد. به‌منظور کاهش خطای اثرات محیطی، در نزدیک‌ترین همسایگی هر یک از آن‌ها قطعات نسوخته شاهدهی در نظر گرفته شد و هر منطقه با شاهد خود مورد مقایسه قرار گرفت. سپس نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک و با چهار تکرار انجام شد. در مجموع تعداد ۲۴ نمونه ترکیبی از خاک برداشت شد. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل: pH، CEC، فسفر (P)، کربن آلی (OC)، نیتروژن (N)، EC، رطوبت اشباع خاک، جرم مخصوص ظاهری (BD)، نسبت C:N، درصد اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک اندازه‌گیری شد. مقایسه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با آزمون تی (t test) در نرم‌افزار IBM SPSS انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که pH، CEC، EC و P خاک ۱ سال پس از آتش‌سوزی افزایش یافتند. همچنین در مدت ۳ و ۱۰ سال پس از آتش‌سوزی pH و CEC به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یافتند اما EC و P خاک نسبت به شاهد کاهش معنادار یافتند. رطوبت اشباع خاک ۱ سال بعد از آتش‌سوزی کاهش یافت، اما ۳ و ۱۰ سال بعد اختلاف

* مسئول مکاتبه: beheshti1969@yahoo.com

معنی‌داری با سطح قبل از آتش‌سوزی نشان نداد. کربن آلی و نیتروژن خاک در تمامی زمان‌های مورد بررسی کاهش معنادار داشتند و حتی ۱۰ سال بعد نیز به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود نیافتند. جرم مخصوص ظاهری ۱ سال و ۳ سال پس از آتش‌سوزی کاهش یافت اما ۱۰ سال بعد در مقایسه با شاهد تفاوت معناداری مشاهده نشد. نسبت C:N خاک، محتوای رس، شن و سیلت خاک در هیچ‌یک از زمان‌های پس از آتش‌سوزی تفاوت معناداری با شاهد نشان ندادند.

نتیجه‌گیری: نتیجه‌گیری شد که برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ممکن است در کوتاه‌مدت بهبود یابند ولی برخی دیگر حتی پس از گذشت ۱۰ سال نیز، به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود نیابند. از میان این ویژگی‌ها مقدار کربن آلی خاک، نیتروژن و فسفر خاک از مهم‌ترین ویژگی‌هایی هستند که به زمان زیادی برای بهبودی پس از آتش‌سوزی نیاز دارند.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، جنگل زاگرس، خاک، ویژگی فیزیکی - شیمیایی

مقدمه

آتش‌سوزی یکی از عوامل کلیدی است که عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۵، ۷، ۱۹، ۲۰ و ۲۲). آتش‌سوزی جنگل‌ها در حال حاضر از جدی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در سراسر جهان به‌شمار می‌رود که سالانه حدود $5/1 \times 10^8$ هکتار از جنگل‌های جهان را تخریب می‌کند که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد (۳۶). به خوبی مشخص شده است که آتش‌سوزی تغییرات مهمی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک‌ها ایجاد می‌کند (۹ و ۲۵).

تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پس از آتش‌سوزی ممکن است پیامدهای منفی مهمی بر رشد گیاهان داشته باشد (۱۴). اثرات آتش‌سوزی به‌ویژه در افق سطحی خاک قابل‌توجه است جایی که در آن فرآیندهای فرسایشی و چرخه‌های بیوشیمیایی عناصر غذایی توسط آتش‌سوزی به‌دلیل تغییرات ساختاری، از دست دادن مواد آلی و از بین رفتن موجودات زنده خاک به‌طور معناداری تغییر می‌کند (۱۵). نقش آتش‌سوزی در تغییر ویژگی‌های خاک چه به‌طور مستقیم و چه غیرمستقیم در اکوسیستم‌های

جنگلی به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است (۸). درک اثرات آتش‌سوزی بر ویژگی‌های خاک در کوتاه‌مدت و بلندمدت برای روشن شدن نقش آتش‌سوزی بر اکوسیستم‌های جنگلی مهم است (۱۶).

شماری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به‌عنوان ویژگی‌های مناسبی از تغییر در فرآیندهای خاک بعد از اختلالات طبیعی و نیز برای بررسی وضعیت بهبود خاک استفاده می‌شوند (۲۵ و ۲۶). مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک که آتش‌سوزی تأثیرات زیادی بر آن‌ها دارد بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و محتوای رطوبتی خاک می‌باشد (۳۳). اجزای بافت خاک معمولاً آستانه دمایی بالایی دارند و کمتر تحت‌تأثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرند، مگر این‌که در معرض دماهای خیلی بالا قرار گیرند (۲۷، ۲۸ و ۳۱). حساس‌ترین بخش بافت خاک رس می‌باشد که در دمای حدود ۴۰۰ درجه سلسیوس دهیدراته می‌شود و ساختارش شروع به فروپاشی می‌کند (۳۳). اما شن و سیلت به دمای بالایی نیاز دارند تا تحت‌تأثیر آتش‌سوزی قرار گیرند (۲۱). جرم مخصوص ظاهری خاک‌های جنگلی معمولاً بعد از

کوتاه‌مدت، افزایش غلظت فسفر در نتیجه آزادسازی عناصر غذایی موجود در ماده آلی خاک و در بلندمدت کاهش غلظت فسفر به دلیل حذف پوشش گیاهی یا فرآیندهای آبشویی می‌باشد (۱۰، ۲۵ و ۳۲). از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی خاک ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌باشد که توانایی خاک را در تأمین سه عنصر حیاتی یعنی کلسیم، منیزیم و پتاسیم نشان می‌دهد. آتش‌سوزی معمولاً باعث تأثیرات منفی و کاهش بر CEC خاک می‌شود (۱).

جنگل‌های زاگرس مهم‌ترین رویشگاه بلوط در ایران به‌شمار می‌روند که در سال‌های اخیر آمارهای موجود نشان‌دهنده افزایش فراوانی آتش‌سوزی در این جنگل‌ها می‌باشد (۲۹). از آن‌جا که این جنگل‌ها دارای تاج باز هستند، نوع آتش‌سوزی در آن‌ها سطحی می‌باشد. ولی ناهمگنی پراکنش مواد سوختنی در کف جنگل می‌تواند منجر به آتش‌سوزی‌های مختلف شود (۲۹). بنابراین در این جنگل‌ها در زمان آتش‌سوزی خاک سطحی مستقیماً در معرض گرمای آتش‌سوزی بوده و بسته به شدت آتش‌سوزی برخی ویژگی‌های آن می‌تواند دگرگون شود. از طرفی اثرات غیرمستقیم آتش‌سوزی نیز که بیش‌تر در بلندمدت اتفاق می‌افتد و شامل تغییر در محتوای ماده آلی و ترکیب آن و نیز غلظت عناصر غذایی مانند فسفر می‌باشد، می‌تواند در سال‌های پس از آتش‌سوزی دگرگونی‌هایی را در خاک پدید آورد که شناسایی این دگرگونی‌ها برای مدیریت اکوسیستم ضروری می‌باشد. هدف از این مطالعه شناسایی پاسخ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به آتش‌سوزی در کوتاه‌مدت و بلندمدت در جنگل‌های زاگرس و تعیین زمان بهبودی این ویژگی‌ها در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی می‌باشد.

آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (۳) که به دلیل از بین رفتن خاکدانه‌ها، پر شدن حفرات به‌وسیله خاکستر و دیسپرس شدن رس‌های معدنی در نتیجه کاهش تخلخل و نفوذپذیری خاک می‌باشد (۶). البته با توجه به پیچیده بودن اثر آتش‌سوزی گزارش‌هایی نیز مبنی بر کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک پس از آتش‌سوزی وجود دارد (۲۶). تأثیر آتش‌سوزی بر رطوبت اشباع خاک نیز بسیار متغیر است و در مطالعات انجام شده روندهای متفاوتی را در زمان‌های مورد بررسی از خود نشان می‌دهد (۱۶).

اثر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک، بر تغییر شیمیایی ماده آلی، pH، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و از بین رفتن و یا افزایش عناصر میکرو و ماکرو تمرکز می‌کند (۳۳). محتوای ماده آلی خاک از ویژگی‌هایی است که به دلیل کارکرد متعدد آن در ارتباط با رشد گیاه به‌عنوان شاخص تغییرات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۵). به‌طور معمول آتش‌سوزی باعث کاهش ماده آلی خاک می‌شود. به‌طوری‌که این کاهش در دماهای بالای ۲۰۰-۲۵۰ درجه سلسیوس شروع و در دمای حدود ۴۵۰ درجه سلسیوس ماده آلی به‌طور کامل از خاک سطحی حذف می‌شود (۲ و ۲۳).

اسیدیته خاک (pH) به‌عنوان یکی از مؤثرترین ویژگی‌های خاک بر قابلیت استفاده عناصر غذایی (۱۳) معمولاً بعد از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد. با این حال افزایش چشم‌گیر معمولاً در دماهای بالاتر از ۴۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود (۶). هدایت الکتریکی نیز همانند pH از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی خاک به‌شمار می‌رود که تحت‌تأثیر آتش‌سوزی افزایش می‌یابد (۸). نیتروژن موجود در خاک و زیتوده نیز به دلیل دمای پایین تبخیر، تحت‌تأثیر آتش‌سوزی به اتمسفر متصاعد می‌شود (۱۱ و ۱۲). مهم‌ترین اثرات آتش‌سوزی در

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در غرب ایران واقع در استان کرمانشاه، شهرستان پاوه با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه و ۱۶ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۰۴ دقیقه و ۱۱ ثانیه و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۶۰ متر می‌باشد. آب و هوای این منطقه سرد و معتدل است و میانگین سالانه بارندگی ۶۷۴ میلی‌متر و میانگین سالانه دما ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بارش باران در فصل زمستان غالب است و در فصل تابستان کاهش می‌یابد. خاک این منطقه معمولاً آهکی است (۱۸). درختان بلوط مهم‌ترین گونه این منطقه به‌شمار می‌روند که به فرم شاخه‌زاد دیده می‌شوند. در بعضی مناطق این گونه توسط آتش‌سوزی به‌شدت تخریب شده است.

نمونه‌برداری خاک: برای بررسی اثرات آتش‌سوزی بر ویژگی‌های خاک و تأثیر گذشت زمان بر بهبودی آن‌ها، سه مکان در مجاورت هم انتخاب شدند که دارای زمان‌های آتش‌سوزی متفاوتی بودند. مکان‌های انتخاب شده در مجاورت یکدیگر قرار داشته (فاصله کم‌تر از ۱ کیلومتر) و دارای شرایط اکولوژیک، پوشش گیاهی و توپوگرافی مشابهی بودند. لازم به ذکر است که در این منطقه، آتش‌سوزی‌ها به‌دلیل انجام مانورهای نظامی بوده است. برای زمان‌های متفاوت پس از آتش‌سوزی سه تیمار شامل: (۱) یکسال پس از آتش‌سوزی، (۲) سه سال پس از آتش‌سوزی و (۳) ده سال پس از آتش‌سوزی در نظر گرفته شد. همچنین برای هر تیمار به‌منظور به حداقل رساندن خطاهای مربوط به شرایط محیطی در نزدیک‌ترین مکان ممکن چهار نمونه خاک به‌عنوان شاهد که در آن‌ها آتش‌سوزی اتفاق نیافتاده بود انتخاب و نمونه‌برداری شد. در مجموع با در نظر گرفتن نمونه‌های شاهد تعداد ۲۴ نمونه مرکب خاک برداشت گردید. نمونه‌برداری در فصل پاییز و چند روز پس از اولین بارندگی‌های پاییزه انجام شد. نمونه‌ها به‌صورت کاملاً تصادفی و از عمق ۰-۲۰

سانتی‌متری خاک برداشت شدند. نمونه‌ها پس از ورود به آزمایشگاه از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد تا بقایای گیاهی حذف گردد.

اندازه‌گیری خصوصیات خاک: پس از آماده‌سازی خاک، هدایت الکتریکی خاک (EC) و pH با استفاده از آب مقطر اندازه‌گیری شدند (به‌ترتیب با نسبت خاک به آب ۱:۵ و ۱:۲/۵) (۲۴). رطوبت اشباع خاک با آون خشک کردن نمونه‌های خاک به‌مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. کربن آلی خاک (OC) به روش والکی- بلاک اندازه‌گیری گردید (۳۴). برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده شد. فسفر خاک به روش واتانابه و اولسن تعیین گردید (۳۵). ظرفیت تبادل کاتیونی نیز توسط روش توصیف شده توسط ریمنت و لاینز (۳۰) اندازه‌گیری گردید. نیتروژن خاک نیز با روش کجلدال اندازه‌گیری شد (۴). جرم مخصوص ظاهری نیز بر طبق روش پیشنهاد شده توسط رولز (۲۹) اندازه‌گیری گردید. تمامی آزمایش‌ها در دو تکرار انجام شد.

تجزیه‌های آماری: پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در تمامی نمونه‌های خاک، برای هر منطقه داده‌ها به‌طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پیش از تجزیه و تحلیل، نرمال و همگن بودن واریانس تیمارها با استفاده از آزمون لون (Levene's test) در سطح ۰/۵٪ و ۰/۱٪ مورد بررسی قرار گرفت، سپس آنالیزها توسط آزمون T مستقل انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردیدند. در ضمن تمامی آنالیزها با نرم‌افزار IBM SPSS v. 22 پردازش گردید (۱۷).

نتایج

ویژگی‌های فیزیکی خاک

توزیع اندازه ذرات: بافت خاک منطقه در هر سه تیمار لومی بود. همچنین مشخص شد که محتوای

بعد از آتش‌سوزی جرم مخصوص ظاهری با مقدار $1/25 \text{ g/cm}^3$ به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یافت و نسبت به تیمار شاهد با مقدار $1/25 \text{ g/cm}^3$ تفاوت معناداری را نشان نداد (شکل ۱ (چ)).

ویژگی‌های شیمیایی خاک

اسیدیته (pH): pH خاک یک سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار $7/29$ به‌طور معناداری ($P < 0/01$) نسبت به تیمار شاهد با مقدار $6/92$ بالاتر بود. اما ۳ و ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی به‌ترتیب با مقادیر $7/16$ ، $6/57$ به سطح قبل از آتش‌سوزی برگشتند و حتی به مقدار ناچیز نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند و در مقایسه با شاهد به‌ترتیب با مقادیر $7/18$ ، $6/61$ تفاوت معناداری نشان ندادند (شکل ۱ (خ)).

کربن آلی و نیتروژن کل: کربن آلی به‌طور معناداری ۱ سال بعد از آتش‌سوزی، ۳ سال بعد از آتش‌سوزی و ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی با مقادیر به‌ترتیب $6/88$ ، $6/73$ و $6/21$ درصد در مقایسه با شاهد با مقادیر به‌ترتیب $9/46$ ، $8/68$ و $8/76$ درصد پایین‌تر بودند ($P < 0/01$) و در تمام طول دوره مطالعه نسبت به شاهد کاهش شدید داشتند و این ویژگی مهم خاک حتی بعد از گذشت ۱۰ سال نیز به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود نیافت (شکل ۱ (ز)). محتوای نیتروژن خاک نیز روندی مشابه محتوای کربن آلی خاک داشت. نیتروژن اندازه‌گیری شده بعد از یک سال که از وقوع آتش‌سوزی می‌گذشت با مقدار $0/575$ درصد نسبت به تیمار شاهد با مقدار $0/782$ درصد روند نزولی را نشان داد و این کاهش نسبت به تیمار شاهد از اختلاف معنادار ($P < 0/01$) برخوردار بود. محتوای نیتروژن خاک ۳ سال پس از آتش‌سوزی با مقدار $0/565$ درصد و ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی با $0/517$ درصد همچنان اختلاف معنادار ($P < 0/05$) و کاهشی را نسبت به شاهد به‌ترتیب با مقادیر $0/721$ درصد و $0/728$ درصد را نشان داد (شکل ۱ (ی)).

رس خاک در سال‌های پس از آتش‌سوزی تغییر معنی‌داری با تیمار نداشت. به‌طوری‌که در تیمارهای ۱، ۳ و ۱۰ سال پس از آتش‌سوزی محتوای رس خاک با مقادیر $21/60$ ، $22/60$ و $24/60$ درصد، اختلاف معنی‌داری با شاهد به‌ترتیب با مقادیر $23/10$ ، $24/10$ و $22/10$ درصد نداشتند (شکل ۱ (الف)). نتایج نشان داد محتوای سیلت خاک در طول ۱ سال با مقدار $38/10$ درصد، ۳ سال با مقدار $37/60$ درصد و ۱۰ سال با مقدار $37/10$ درصد پس از وقوع آتش‌سوزی نسبت به شاهد به‌ترتیب با مقادیر $39/10$ ، $36/60$ و $38/10$ درصد تفاوت معناداری نداشت (شکل ۱ (ب)). محتوای شن خاک نیز ۱ سال بعد از آتش‌سوزی، ۳ سال بعد از آتش‌سوزی و ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی به‌ترتیب با مقادیر $38/10$ ، $37/60$ و $39/10$ درصد تفاوت زیاد و معناداری نشان نداد (شکل ۱ (ج)).

رطوبت اشباع: رطوبت اشباع خاک یک سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار $57/39$ درصد در مقایسه با شاهد با مقدار $77/87$ درصد به‌طور معنی‌دار و قابل‌توجهی کاهش یافت ($P < 0/01$)، اما ۳ و ۱۰ سال پس از آتش‌سوزی از روندی متفاوت نسبت به یک سال برخوردار بود. رطوبت اشباع خاک ۳ و ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی به‌ترتیب با مقادیر $77/39$ و $64/42$ درصد شروع به بهبود نمود و نسبت به شاهد به‌ترتیب با مقادیر $76/53$ – $65/50$ درصد تفاوت معناداری را نشان نداد (شکل ۱ (د)).

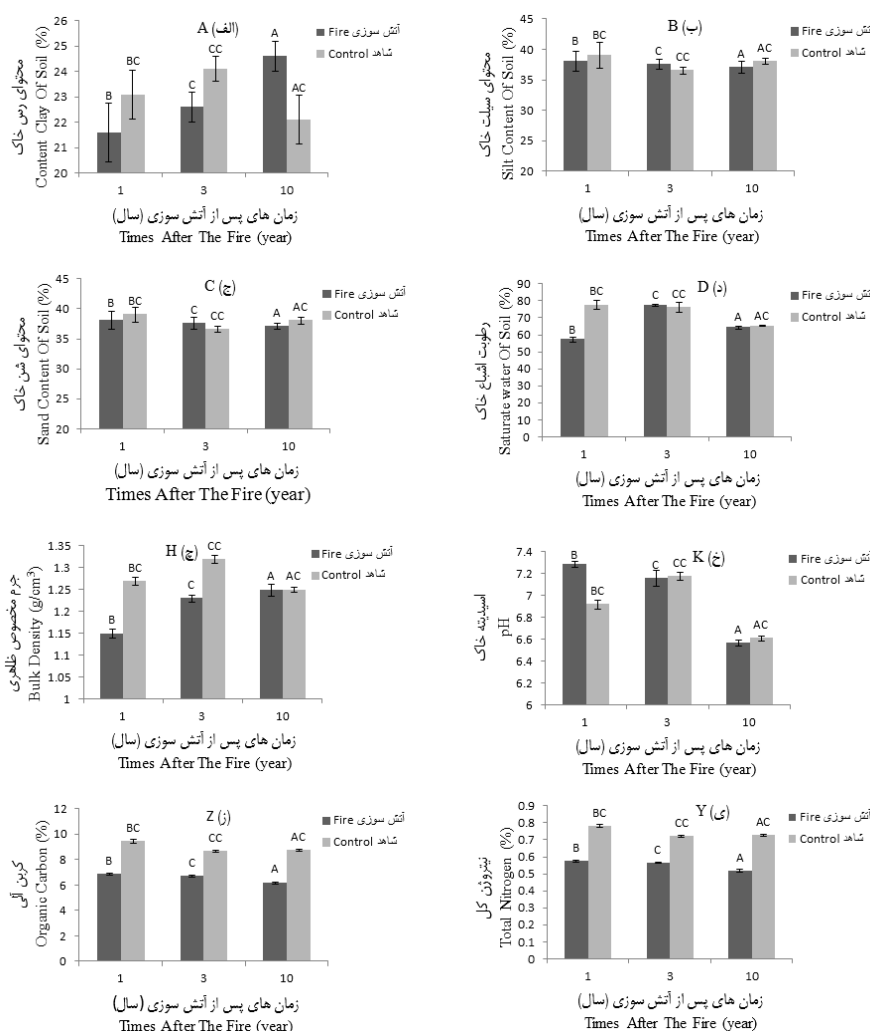
جرم مخصوص ظاهری: جرم مخصوص ظاهری (BD) نیز یک سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار $1/15 \text{ g/cm}^3$ در مقایسه با تیمار شاهد با مقدار $1/27 \text{ g/cm}^3$ کاهش یافت و این کاهش معنادار بود ($P < 0/01$). کاهش در جرم مخصوص ظاهری با مقدار $1/23 \text{ g/cm}^3$ در مقایسه با شاهد با مقدار $1/32 \text{ g/cm}^3$ تا سه سال بعد از آتش‌سوزی نیز همچنان ادامه داشت. اما ۱۰ سال

نسبت کربن به نیتروژن: نسبت C/N خاک نیز در تمام طول دوره مطالعه نسبت به شاهد تقریباً ثابت بود و نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (۱ سال و ۳ سال و ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی به ترتیب با مقادیر ۱۱/۹۲، ۱۱/۸۶ و ۱۱/۹۴ در مقایسه با شاهد به ترتیب با مقادیر ۱۲/۰۵، ۱۲/۰۵ و ۱۲/۰۵) (شکل ۲ الف)).

هدایت الکتریکی (EC): هدایت الکتریکی (EC) یک سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۰/۲۳ به طور معناداری (P<۰/۰۱) نسبت به شاهد با مقدار ۰/۱۸ ds/m بالاتر بود اما ۳ سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۰/۱۵ ds/m نسبت به شاهد با مقدار ۰/۱۸ ds/m پایین‌تر بود و این تفاوت معنادار بود (P<۰/۰۱). کاهش هدایت الکتریکی حتی ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۰/۱۰ ds/m به طور معناداری (P<۰/۰۱) نسبت به شاهد با مقدار ۰/۱۸ ds/m ادامه داشت (شکل ۲ ب)).

نسبت کربن به نیتروژن: نسبت C/N خاک نیز در تمام طول دوره مطالعه نسبت به شاهد تقریباً ثابت بود و نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت (۱ سال و ۳ سال و ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی به ترتیب با مقادیر ۱۱/۹۲، ۱۱/۸۶ و ۱۱/۹۴ در مقایسه با شاهد به ترتیب با مقادیر ۱۲/۰۵، ۱۲/۰۵ و ۱۲/۰۵) (شکل ۲ الف)).

هدایت الکتریکی (EC): هدایت الکتریکی (EC) یک سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۰/۲۳ به طور معناداری (P<۰/۰۱) نسبت به شاهد با مقدار ۰/۱۸ ds/m بالاتر بود اما ۳ سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۰/۱۵ ds/m نسبت به شاهد با مقدار ۰/۱۸ ds/m پایین‌تر بود و این تفاوت معنادار بود (P<۰/۰۱). کاهش هدایت الکتریکی حتی ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۰/۱۰ ds/m به طور معناداری (P<۰/۰۱) نسبت به شاهد با مقدار ۰/۱۸ ds/m ادامه داشت (شکل ۲ ب)).

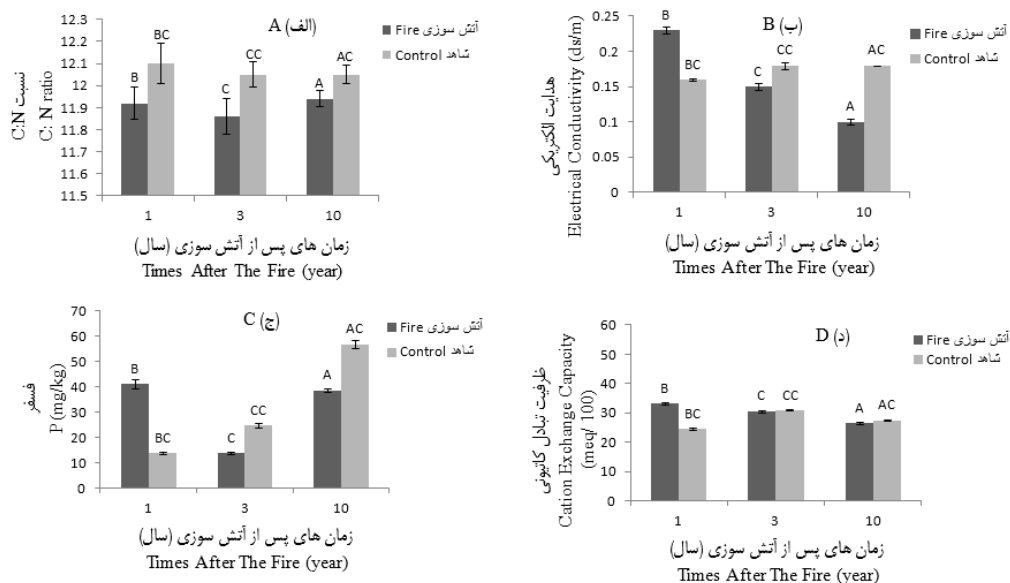


شکل ۱- اثرات زمان‌های پس از آتش‌سوزی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک: محتوای رس خاک (الف)، محتوای سیلت خاک (ب)، محتوای شن خاک (ج)، رطوبت اشباع خاک (د)، جرم مخصوص ظاهری (ه)، اسیدیته خاک (ح)، کربن آلی (ز) و نیتروژن کل (ی).

Figure 1. Effects of times after the fire on soil physics and chemical properties: clay content of soil (A), silt content of soil (B), sand content of soil (C), saturate water of soil (D), bulk density (H), pH (K), organic carbon (Z), total nitrogen (Y).

ظرفیت تبادل کاتیونی: ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) ۱ سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۳۳/۲۱ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم در مقایسه با تیمار شاهد با مقدار ۲۴/۵۹ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم روند افزایشی را طی کرد و به‌طور معناداری نسبت به تیمار شاهد بالاتر بود ($P < 0.01$). اما ۳ سال و ۱۰ بعد از آتش‌سوزی به‌ترتیب با مقادیر ۳۰/۶۴ و ۲۶/۴۱ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم در مقایسه با شاهد با مقادیر به‌ترتیب ۳۰/۹۴ و ۲۷/۴۷ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم کاهش یافتند و به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یافتند (شکل ۲ (د)).

فسفر قابل‌استفاده: مقدار فسفر خاک به‌طور معناداری ($P < 0.01$) ۱ سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۴۱/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با تیمار شاهد با مقدار ۱۳/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. اما ۳ سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۱۳/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با تیمار شاهد با مقدار ۲۴/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش پیدا کرد که این تفاوت معنادار بود ($P < 0.01$). کاهش در مقدار فسفر به‌طور معناداری ($P < 0.01$) تا ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی با مقدار ۳۸/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیز نسبت به تیمار شاهد با مقدار ۵۶/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم همچنان ادامه داشت (شکل ۲ (ج)).



شکل ۲- اثرات زمان‌های پس از آتش‌سوزی بر خصوصیات شیمیایی خاک: نسبت C/N (الف)، هدایت الکتریکی (ب)، فسفر (ج)، ظرفیت تبادل کاتیونی (د).

Figure 2. Effects of times after the fire on soil chemical properties: C/N ratio (A), EC (B), P (C) and CEC (D).

آتش‌سوزی مقاومت بالایی دارند و برای تغییر این اجزا دماهای بالایی باید بر خاک اعمال شود. نیری و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند حساس‌ترین بخش بافت خاک رس است که در دمای حدود ۴۰۰ درجه سلسیوس شروع به تغییر می‌نماید و این زمانی است

بحث

ویژگی‌های فیزیکی خاک

توزیع اندازه ذرات: ثابت بودن محتوای شن، سیلت و رس در طول آتش‌سوزی نشان‌دهنده این است که اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک نسبت به دمای

بالاتر بود و این تفاوت معنادار بود. این نتایج مخالف با نظر پژوهشگرانی چون سردا و دوئر (۲۰۰۵) است که گزارش کردند آتش‌سوزی باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود که به دلیل از بین رفتن خاکدانه‌ها می‌باشد با این حال تغییرات زیاد معنادار نیست. اما جرم مخصوص ظاهری ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یافت که می‌تواند ناشی از تخلیه کامل خاکستر از پروفیل خاک و بهبود آن باشد.

رطوبت اشباع: کاهش رطوبت اشباع خاک ۱ سال بعد در تیمارهای آتش‌سوزی در مقایسه با تیمارهای شاهد می‌تواند ناشی از افزایش جذب توسط گیاهان برای بازسازی باشد زیرا پوشش گیاهی کامل از بین می‌رود ولی در سال رویشی بعدی با تراکم بیش‌تری رویش پیدا می‌کند چون مواد مغذی زیادی طی آتش‌سوزی وارد خاک می‌شود و بعد از ۳ سال و ۱۰ سال به بهبودی کامل رسیدند و تفاوتی نسبت به تیمار شاهد نشان ندادند. هولدن و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعات خود گزارش کردند رطوبت اشباع خاک ۱ سال بعد از آتش‌سوزی در مقایسه با تیمار شاهد تغییرات معناداری نداشت اما ۷، ۱۲ و ۲۴ سال بعد از آتش‌سوزی روند کاهشی داشت. ژیانگ و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند ۱ سال بعد از آتش‌سوزی رطوبت اشباع خاک کاهش یافت اما ۱۱ سال بعد به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یافت در حالی‌که فولتزر و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند ۶ ماه بعد از آتش‌سوزی رطوبت اشباع خاک افزایش می‌یابد. جیمینز-گونزالس و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند ۱ ماه بعد از آتش‌سوزی رطوبت اشباع خاک افزایش یافت اما ۲۴ ماه بعد از آتش‌سوزی نسبت به تیمارهای شاهد کاهش پیدا کرد.

که بسته به نوع رس شروع به دهیدراته شدن کرده و ساختارش شروع به فروپاشی می‌کند. لاید (۲۰۰۱) گزارش کرد شن و سیلت نقطه ذوب بالاتر در حدود ۱۴۱۴ درجه سلسیوس دارند و تحت‌تأثیر آتش‌سوزی قرار نمی‌گیرند. یافته‌های پژوهش حاضر در تضاد با گزارش‌های پژوهشگرانی چون یولری و گراهام (۱۹۹۳) و مبه‌های و همکاران (۲۰۰۶) می‌باشد که گزارش کردند ۱ سال پس از آتش‌سوزی در محل مورد مطالعه رس خاک کاهش و شن خاک افزایش یافته است. یولری و گراهام (۱۹۹۳) گزارش کردند پس از آتش‌سوزی محتوای رس خاک کاهش می‌یابد. همچنین محتوای سیلت خاک در طول دوره مطالعاتی نسبت به شاهد تفاوتی نداشت که این موافق با یافته‌های اکثر پژوهشگران از جمله پوررضا و همکاران (۲۰۱۴) می‌باشد.

جرم مخصوص ظاهری: کاهش در جرم مخصوص ظاهری ۱ سال و ۳ سال بعد نسبت به تیمار شاهد ممکن است به دلیل آشنویی سریع خاکستر از پروفیل خاک در طول این مدت باشد که در این امر فرآیند آشنویی نقش اصلی را ایفا می‌کند. همچنین در منطقه مورد بررسی به دلیل تنک بودن درختان حجم زیادی خاکستر تولید نشده بود که بتواند لایه ضخیمی خاکستر در سطح خاک ایجاد نماید و باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک شود. به دلیل این‌که خاکستر با پر کردن حفرات و خلل و فرج خاک باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. همچنین پوشش گیاهی مستقر شده پس از آتش‌سوزی که معمولاً هم با تراکم زیاد انجام می‌شود می‌تواند با ریشه‌های خود تخلخل خاک را بالا ببرد. مونوز-روجاس و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند ۱ سال بعد از آتش‌سوزی جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای شاهد در مقایسه با تیمارهای آتش‌سوزی

ویژگی‌های شیمیایی خاک

اسیدیته (pH): افزایش pH خاک یک سال بعد از آتش‌سوزی می‌تواند در نتیجه سوختن ناقص ماده آلی و ماهیت قلیایی خاکستر و به‌ویژه هیدروکسیدهایی که از رس‌های معدنی آزاد می‌شوند، باشد (۲۵). بسیاری از پژوهشگران چنین روندی را در مطالعات خود گزارش کرده‌اند (۹، ۲۸ و ۳۶)، در حالی‌که دی‌آسکولی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند ۳۶۴ روز بعد از آتش‌سوزی pH خاک کاهش یافت. اما کاهش pH ۳ و ۱۰ سال بعد و بهبود آن به سطح قبل از آتش‌سوزی می‌تواند ناشی از بارش‌های باران، سبک بودن خاکستر و در نتیجه فرآیند آبشویی خاکستر از خاک باشد. این نتایج موافق با یافته‌های ژیانگ و همکاران (۲۰۱۴) می‌باشد که گزارش کردند ۱ سال بعد از آتش‌سوزی pH افزایش یافت اما ۱۱ سال بعد به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یافت. فیشر و بینکلی (۲۰۰۰) گزارش کردند بلافاصله پس از آتش‌سوزی pH خاک افزایش می‌یابد و با گذشت زمان به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود می‌یابد، اما این بهبود نیازمند یک دوره چندماهه و یا چندساله می‌باشد.

کربن آلی و نیتروژن کل: روند کاهشی کربن آلی در تمام طول دوره مطالعه می‌تواند ناشی از اکسید شدن ماده آلی، از بین رفتن پوشش گیاهی و حذف لاشبرگ‌ها باشد. کاهش در مقدار نیتروژن در اثر آتش‌سوزی هم ناشی از دمای پایین تبخیر نیتروژن می‌باشد. توافق گسترده‌ای بین پژوهشگران وجود دارد که آتش‌سوزی باعث کاهش ماده آلی خاک می‌شود (۶، ۱۲ و ۲۳). بارسیناس-مورنو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند کربن آلی و نیتروژن یک سال بعد از آتش‌سوزی کاهش یافتند و این روند تا ۳۲ ماه بعد تغییری نداشت. دیزونکو و همکاران (۲۰۱۵) گزارش

کردند بعد از آتش‌سوزی کربن آلی و نیتروژن کاهش یافت و حتی با گذشت ۱۴ سال به مقدار اولیه بازنگشت. فولتز و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند نیتروژن از دست رفته در طول آتش‌سوزی به‌طور مستقیم متناسب با مقدار ماده آلی از بین رفته توسط آتش‌سوزی می‌باشد. هولدن و همکاران (۲۰۱۳) به این نتیجه رسیدند که ۱۵ سال زمان نیاز است تا کربن آلی به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یابد. هدررفت ماده آلی تنها از بین رفتن کربن نیست بلکه باعث تغییر خصوصیات فراکشن‌های ماده آلی نیز می‌شود (۱۱).

نسبت کربن به نیتروژن: ثابت بودن نسبت C:N نیز در تمام دوره مطالعاتی به‌دلیل کاهش کربن آلی و نیتروژن می‌باشد که روندی مشابه و کاهشی را نشان می‌دهند. ویگا و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند بعد از آتش‌سوزی تغییری در نسبت C:N مشاهده نگردید اما در آتش‌سوزی خیلی شدید نسبت C:N کاهش یافت. فرناندز و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند کاهش در نسبت C:N بعد از آتش‌سوزی‌های خیلی شدید رخ می‌دهد، اما از سوی دیگر بویرنر و همکاران (۲۰۰۰) مشاهده کردند بعد از آتش‌سوزی نسبت C:N افزایش می‌یابد اما ادامه‌دار نیست و برای مدت کوتاهی می‌باشد.

هدایت الکتریکی (EC): افزایش هدایت الکتریکی ۱ سال بعد از آتش‌سوزی می‌تواند دلیلی بر افزایش نمک‌های محلول باشد که در اثر سوختن ماده آلی آزاد می‌شوند (۲). این نتایج موافق با یافته‌های پژوهشگرانی چون هراندز و همکاران (۱۹۹۷) و مونوز-روچاس و همکاران (۲۰۱۶) و در تضاد با پژوهش پوررضا و همکاران (۲۰۱۴) است که گزارش کردند یک سال پس از آتش‌سوزی هدایت الکتریکی تغییر مهمی ندارد. اما کاهش معنادار هدایت الکتریکی ۳ سال و ۱۰ سال بعد در مقایسه با شاهد می‌تواند در

می‌تواند تصعید و کاهش یابد که به‌نظر می‌رسد در این پژوهش دما به اندازه کافی افزایش نیافته است. **ظرفیت تبادل کاتیونی:** عدم کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی ۱ سال بعد از آتش‌سوزی ممکن است به این علت باشد که یا بار این خاک‌ها وابسته به pH است و یا به‌دلیل سوختن ماده آلی و آزادسازی عناصر غذایی ماده آلی به درون خاک صورت گرفته باشد. بسیاری از پژوهشگران معتقدند CEC یک سال بعد از آتش‌سوزی روند افزایشی دارد. از جمله هرماندز و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند ۹ ماه پس از آتش‌سوزی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش یافت. فولتز و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند ۶ ماه بعد از آتش‌سوزی ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت به شاهد بالاتر بود. اما ظرفیت تبادل کاتیونی ۳ و ۱۰ سال بعد روند کاهشی داشت و به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یافت اما این کاهش در سال سوم و دهم می‌تواند در اثر جذب توسط گیاهان و فعالیت‌های میکروبی باشد (تثبیت نیتروژن و نیتریفیکاسیون). هولدن و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند ۱ سال بعد از آتش‌سوزی CEC افزایش اما ۶ سال بعد از آتش‌سوزی کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در طول یک توالی زمانی از ۱ تا ۱۰ سال در جنگل‌های زاگرس غرب ایران بررسی شد. یافته‌ها اثبات کرد که آتش‌سوزی در این جنگل‌ها اثرات بحرانی و مهمی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارد که اصلی‌ترین و مهم‌ترین تغییرات در اولین سال پس از آتش‌سوزی رخ می‌دهد که عناصر غذایی خاک افزایش می‌یابند. بیش‌تر ویژگی‌های فیزیکی (مانند بافت، رطوبت اشباع خاک و جرم مخصوص ظاهری)

نتیجه بارش باران، تثبیت نمک‌ها و فرآیندهای آبسویی باشد که باعث خارج شدن نمک‌های محلول از خاک می‌شوند. جیمنز-گونزالس و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند ۲۵ ماه بعد از آتش‌سوزی هدایت الکتریکی نسبت به شاهد کاهش یافت. فولتز و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعات خود گزارش کردند ۱ سال بعد از آتش‌سوزی هدایت الکتریکی افزایش یافت اما ۵ سال بعد کاهش پیدا کرد و به پایین‌تر از تیمار شاهد رسید.

فسفر قابل استفاده: افزایش غلظت فسفر ۱ سال بعد از آتش‌سوزی به‌دلیل سوختن ماده آلی و آزادسازی عناصر غذایی خود به داخل خاک می‌باشد. افزایش غلظت عناصری چون کلسیم، پتاسیم و فسفر بعد از آتش‌سوزی در بسیاری از مطالعات مشاهده شده است (۲۷). دی‌جانگ و کلینک‌هامر (۱۹۸۳) گزارش کردند سطح برخی عناصر غذایی بعد از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد و ممکن است تا یک سال بعد ادامه داشته باشد. پوررضا و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده کردند یک سال بعد از آتش‌سوزی فسفر خاک افزایش می‌یابد. از سویی کاهش فسفر در ۳ و ۱۰ سال بعد از آتش‌سوزی ممکن است به‌دلیل حذف پوشش گیاهی و جایگزینی لایه لاشبرگ سطح خاک که حاوی کربن و عناصر غذایی است با یک لایه خاکستر باشد. اکیچی و کودیر (۲۰۰۵) گزارش کردند ۱ سال بعد از آتش‌سوزی فسفر افزایش داشت اما ۵ سال بعد فسفر نسبت به شاهد کاهش یافت. دیزونکو و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند ۳ سال بعد از آتش‌سوزی فسفر خاک چندین برابر نسبت به سال اول کاهش یافت اما هنوز نسبت به شاهد بالاتر بود. ژیانگ و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند ۱۱ سال بعد از آتش‌سوزی محتوای فسفر خاک کاملاً بهبود یافته بود. سرتینی (۲۰۰۵) اعلام داشت که در دماهای بالا فسفر

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی برای روشن شدن نقش آتش‌سوزی بر اکوسیستم‌های جنگلی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام شده در خارج از کشور، راهکارهای متعددی شامل مالچ‌پاشی، استقرار پوشش گیاهی، استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی پس از آتش‌سوزی ارائه و به کار گرفته شده است. البته به‌کارگیری هر یک از این راهکارها در ایران و اکوسیستم‌های جنگلی زاگرس نیازمند به بررسی و اجرا در سطوح پایلوت به صورت آزمایشی دارد تا مناسب‌ترین راهکار انتخاب شود.

در پایان ۱۰ سال بهبود و به سطح قبل از آتش‌سوزی بازگشتند اما برخی ویژگی‌های شیمیایی (مانند کربن آلی و نیتروژن) حتی بعد از گذشت ۱۰ سال به سطح معادل تیمارهای شاهد بهبود نیافتند و به زمانی بیش از ۱۰ سال برای بهبود نیاز دارند. در این پژوهش مشخص گردید ارزیابی ویژگی‌هایی چون محتوای آب خاک، pH، محتوای فسفر و سایر ویژگی‌ها برای بررسی تغییرات ایجاد شده در خاک در طی زمان بهبودی بسیار ضروری می‌باشد. بنابراین هم بررسی کوتاه‌مدت و هم بلندمدت اثرات آتش‌سوزی بر

منابع

1. Andreu, V., Rubio, J.L., Forteza, J., and Cerni, R. 1996. Postfire effects on soil properties and nutrient losses. *Inter. J. Wildland Fire*. 6: 53-58.
2. Bárcenas-Moreno, G., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Mataix-Beneyto, J., and Bååth, E. 2011. Soil microbial recolonisation after a fire in a Mediterranean forest. *Biology and Fertility of soils*. 47: 261-272.
3. Boerner, R.E.J., Decker, K.L.M., and Sutherland, E.K. 2000. Prescribed burning effects on soil enzyme activity in a southern Ohio hardwood forest: a landscape-scale analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 32: 899-908.
4. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-Total. P 1085-1123, In: D.L. Sparks (Eds), *Methods of Soil Analysis, Part.3 Chemical methods*, Book Series No. 5. SSSA and ASA, Madison, WI.
5. Cerdà, A., and Doerr, S.H. 2005. Influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an 11-year investigation. *Inter. J. Wildland Fire*. 14: 423-437.
6. Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 143: 1-10.
7. D'Ascoli, R., Rutigliano, F.A., De Pascale, R.A., Gentile, A., and De Santo, A.V. 2005. Functional diversity of the microbial community in Mediterranean maquis soils as affected by fires. *Inter. J. Wildland Fire*. 14: 355-363.
8. DeBano, L.F., Neary, D.G., and Ffolliott, P.F. 1998. *Fire's Effects on Ecosystems*. John Wiley and Sons, New York, 333p.
9. Dzwonko, Z., Loster, S., and Gawron'ski, S. 2015. Impact of fire severity on soil properties and the development of tree and shrub species in a Scots pine moist forest site in southern Poland. *Forest Ecology and Management*. 342: 56-63.
10. Ekinci, H., and Kavdir, Y. 2005. Changes in soil quality parameters after a wildfire in Gelibolu (Gallipoli) National Park, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. 14: 1184-1191.
11. Fernández, I., Cabaneiro, A., and Carballas, T. 1997. Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil Biology and Biochemistry*. 29: 1-11.
12. Fernandez, I., Cabaneiro, A., and Carballas, T. 1999. Carbon mineralization dynamics in soils after wildfires in two Galician forests. *Soil Biology and Biochemistry*. 31: 1853-1865.
13. Fisher, R.F., and Binkley, D. 2000. *Ecology and management of forest soils*. New York, John Wiley and Sons.
14. Fultz, L.M., Moore-Kucera, J., Dathe, J., Davinich, M., Perry, G., Wester, D., Schwilk, D.W., and Rideout-Hanzak, S. 2016. Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: Two case studies in the semi-arid Southwest. *Applied Soil Ecology*. 99: 118-128.

15. Herna'ndez, T., Garc'ia, C., and Reinhardt, I. 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biology and Fertility of Soils*. 25: 109-116.
16. Holden, S.R., Gutierrez, A., and Treseder, K.K. 2013. Changes in Soil Fungal Communities, Extracellular Enzyme Activities and Litter Decomposition across a Fire Chronosequence in Alaskan Boreal Forests. *Ecosystems*. 16: 34-46.
17. IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
18. Jazirehi, M.H., and Ebrahimi, M. 2003. *Silviculture in Zagros*. University of Tehran Press. Tehran, 560p. (In Persian)
19. Jim'enez-Gonz'alez, M.A., De la Rosa, J.M., Jim'enez-Morillo, N.T., Almendros, G., Gonz'alez-P'erez, J.A., and Knicker, H. 2016. Post-fire recovery of soil organic matter in a Cambisol from typical Mediterranean forest in Southwestern Spain. *Science of the Total Environment*. 572: 1414-1421.
20. De Jong, T.J., and Klinkhamer, P.G. 1983. A simulation model for the effect of burning on the phosphorus and nitrogen cycle on a heathland ecosystem. *Ecological Modeling*. 19: 263-284.
21. Lide, D.R. 2001. *CRC handbook of chemistry and physics*. 82nd Edition, New York, Pp: 4-81.
22. Mabuhay, J.A., Nakagoshi, N., and Isagi, Y. 2006. Soil microbial biomass, abundance and diversity in a Japanese red pine forest: first year after fire. *The Japanese Forest Society and Springer-Verlag Tokyo*. 11: 165-173.
23. Mataix-Solera, J., G'omez, I., Navarro-Pedre'no, J., Guerrero, C., and Moral, R. 2002. Soil organic matter and aggregates affected by wildfire in a *Pinus halepensis* forest in a Mediterranean environment. *Inter. J. Wildland Fire*. 11: 107-114.
24. McLean, O.P. 1982. Soil pH and lime requirement. P 199-224, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds), *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and biological properties*, Medison.
25. Mu'noz-Rojas, M., Erickson, T.E., Martini, D., Dixon, W.K., and Merritt, D.J. 2016. Soil physicochemical and microbiological indicators of short, medium and long term post-fire recovery in semi-arid ecosystems. *Ecological Indicators*. 63: 14-22.
26. Mu'noz-Rojas, M., Lewandrowski, W., Erickson, T.E., Dixon, K.W., and Merritt, D.J. 2016. Soil respiration dynamics in fire affected semi-arid ecosystems: Effects of vegetation type and environmental factors. *Science of the Total Environment*. 572: 1385-1394.
27. Neary, D.G., Ryan, K.C., and DeBano, L.F. 2005. *Wildland fire in ecosystems Effects of fire on soil and water*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-42-vol 4, Ogden, UT.
28. Pourreza, M., Hosseini, S.M., Safari Sinegani, A.A., Matinizadeh, M., and Dick, W.A. 2014. Soil microbial activity in response to fire severity in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests, Iran, after one year. *Geoderma*. 213: 95-102.
29. Rawls, W.J. 1983. Estimating soil bulk density from particle size analyses and organic matter content. *Soil Science*. 135: 123-125.
30. Rayment, G.E., and Lyons, D.J. 2011. *Soil Chemical methods – Australasia*. CSIRO Publishing, Australia.
31. Ulery, A.L., and Graham, R.C. 1993. Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57: 135-140.
32. Vega, J.A., Font'urbel, T., Merino, A., Fern'andez, C., Ferreiro, A., and Jim'enez, E. 2013. Testing the ability of visual indicators of soil burn severity to reflect changes in soil chemical and microbial properties in pine forests and shrubland. *Plant and Soil*. 369: 73-91.
33. Verma, S., and Jayakumar, S. 2012. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A Review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*. 2: 168-176.

34. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-37.
35. Watanabe, F.S., and Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America*. 29: 677-678.
36. Xiang, X., Shi, Y., Yang, J., Kong, J., Lin, X., Zhang, H., Zeng, J., and Chu, H. 2014. Rapid recovery of soil bacterial communities after wildfire in a Chinese boreal forest. *Scientific Reports*. 4: 3829.



The recovery of soil physical and chemical properties in years after fire in Zagros oak woodlands in Kermanshah province

M. Sadeghifar¹, *A. Beheshti Ale Agha² and M. Pourreza³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Razi, ²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Razi, ³Assistant Prof., Dept. of Natural Resources, University of Razi

Received: 06/26/2016; Accepted: 07/07/2017

Abstract

Background and Objectives: Fire is the most important disturbance factor in forest ecosystems that can result in short and long term changes in soil physical and chemical properties. The changes of these properties in soil after fire may have negative effects on forest ecosystem even in long term. Since the fire frequency in Zagros forests have been increasing in the recent years, identifying the short term and long term effects of fire on soil properties in these forests is necessary to prevent soil degradation. Hence, in this study the short and long term responses of some physical and chemical properties of soil were investigated in order to identify the recovery time of these properties.

Materials and Methods: In order to investigate the recovery time of soil physical and chemical properties after fire, 3 places in one site (distance about 1km from each other) in Zagros forests were selected with different times of fire occurrence including: 1, 3 and 10 years after fire. To decrease the environmental effects, we considered a separate unburnt control plot for each place in their adjacent and each place was compared with its own control plot. The soil sampling was performed randomly from the depth of 0-20 cm with 4 replications. A total of 24 composite soil samples were collected. Several soil physical and chemical properties were measured including: pH, EC, CEC, organic carbon (OC), nitrogen (N), phosphorus (P), saturated water content, bulk density (BD), C/N ratio and soil texture. The statistical analysis of experiment data was performed using IBM SPSS software and mean comparison was done by t test method.

Results: The results showed that soil pH, CEC, EC and P were significantly increased 1 year after fire. Soil pH and CEC were recovered to the pre-fire level in treatments 3 and 10 years after fire, while, EC and P were significantly decreased compared to their control. Saturate water of soil was decreased 1 year after fire however, no significant difference was observed compared to the pre-fire level after 3 and 10 years. Results indicated that OC and N were significantly decreased in all the times after fire and they were not recovered to the pre-fire level even after 10 years. BD was decreased 1 and 3 years after fire however, after 10 years no significant difference was observed compared to the control. No significant difference was in soil C/N ratio, clay, sand and silt compared to the control in any times after fire.

Conclusion: It was concluded that some physical and chemical properties of soil may recovered in short time however; some others may not have recovered even 10 years after fire. Soil OC, N and P are of those properties that need long time to be recovered.

Keywords: Fire, Zagros forests, Physical-chemical index, Soil

* Corresponding Author; Email: beheshti1969@yahoo.com