

تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در کاربری‌های مرتع، کشاورزی و جنگل در استان گلستان

لیلی نیکنام^۱، حجت امامی^{۲*}، رضا خراسانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۷

چکیده

آتش‌سوزی تأثیرات چشمگیری بر پوشش گیاهی و ساختمان خاک دارد. هدف این پژوهش، مطالعه تأثیر آتش‌سوزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در سه کاربری (کشاورزی، جنگل و مرتع)، واقع در استان گلستان بود. بدین منظور، کاربری‌های جنگل و کشاورزی در شهرستان گرگان و مرتع در شهرستان کلاله که دچار آتش‌سوزی شده بودند، انتخاب شدند. نمونه‌برداری از سه عمق سطحی (صفر تا ۵ سانتی‌متر) و زیرسطحی (۱۵-۵ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر)، در سه تکرار انجام شد. همچنین، از خاک شاهد (آتش‌سوزی نشده) مجاور هر کاربری به طور مشابه از سه عمق و سه تکرار نمونه برداری شد. برای بررسی تفاوت ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک تحت آتش‌سوزی و خاک منطقه شاهد بدون آتش‌سوزی، از آزمون t مستقل در سطح ۵ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار رس، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، تخلخل، گنجایش هوایی، شاخص پایداری ساختمان خاک، شاخص S دکستر و کربن آلی در اثر آتش‌سوزی به ترتیب در لایه ۵-۰ سانتی‌متری تحت آتش‌سوزی، نسبت به خاک شاهد به طور معنی‌داری کاهش نشان دادند. به طوری که به ترتیب در کاربری جنگل، مرتع و کشاورزی، مقدار رس ۲۴، ۱۱ و ۶، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ۴۷، ۴۱/۹ و ۷/۴، تخلخل ۱۰، ۸ و ۹، گنجایش هوایی ۳۴/۶، ۲۱/۴ و ۲۷/۳، شاخص پایداری ساختمان خاک ۲۵/۶، ۷/۴ و ۱۱/۳، شاخص S دکستر ۱۹/۷، ۱۵/۴ و ۷/۳ و کربن آلی ۸، ۹/۶ و ۱۳/۷ درصد کاهش یافت، در حالی که در لایه‌های زیرسطحی خاک میزان کاهش معنی‌دار نبود. همچنین، جرم مخصوص ظاهری در خاک تحت آتش‌سوزی نسبت به خاک شاهد به طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد در عمق ۵-۰ سانتی‌متر در کاربری جنگل، مرتع و کشاورزی به ترتیب ۱۱، ۸ و ۶ درصد افزایش یافت و در لایه‌های زیرسطحی معنی‌دار نبود.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، شاخص S ، شاخص پایداری ساختمان، تخلخل تهویه‌ای

نیکنام ل.، امامی ح.، خراسانی ر. ۱۴۰۰. تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در کاربری‌های مرتع، کشاورزی و جنگل در استان گلستان. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۹، شماره ۱. صفحه: ۱-۱۳.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

* پست الکترونیک: hemami@um.ac.ir

مقدمه

آتش‌سوزی دارای پیشینه‌ای بسیار قدیمی‌تر از پیدایش انسان است و از زمان تشکیل کره زمین، یکی از عوامل اصلی در محیط‌زیست شمرده می‌شود (Arthur, 2000). تغییر ویژگی‌های خاک بر اثر آتش‌سوزی را می‌توان در سه مقیاس زمانی کوتاه مدت، طولانی مدت و دائمی بررسی نمود که با توجه به ویژگی‌ها، شدت و تکرار آتش‌سوزی و همچنین شرایط آب و هوایی پس از آتش‌سوزی، میزان اثرات آن متفاوت است (Verma & Jayakumar, 2012). کاهش ماده آلی بر اثر آتش‌سوزی، کاهش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش تهویه و افزایش جرم مخصوص ظاهری را به دنبال خواهد داشت (Certini, 2005). سوزاندن بقایا باعث کاهش ذخیره کربن آلی خاک شده و در نتیجه اثرات نامطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌گذارد (Limon-Ortega et al., 2002). بیشتر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، دلالت بر اثرات نامطلوب این روش بر میزان کربن آلی و همچنین ایجاد خاصیت آب‌گریزی و کاهش نفوذپذیری خاک داشته است. به طوری که در درازمدت، تولید پایدار محصولات زراعی را به خطر می‌اندازد (Johnson et al., 2006).

تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک بستگی به شدت آتش‌سوزی دارد. ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک که تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرند شامل بافت، ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل می‌باشند (Neary et al., 2005). مبهوهای و همکاران (Mabuhay, et al., 2006) بیان کردند که رس در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری خاک جنگلی تحت آتش‌سوزی نسبت به خاک شاهد بدون آتش‌سوزی کاهش پیدا کرد، اما میزان شن در همین عمق خاک تحت آتش‌سوزی افزایش نشان داد. کترینگ و بیگهام (Ketterings & Bigham, 2000) نیز افزایش مقدار شن بر اثر حرارت‌های کم ایجاد شده را گزارش کردند. هوبرت و همکاران (Hubbert et al., 2006)، در مطالعه‌ای تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی و دفع آب خاک در حوضه شیب‌دار چاپرال، جنوب کالیفرنیا را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که آتش باعث از بین رفتن لاشبرگ و تخریب ساختمان خاک شد. پس از آتش‌سوزی، مقدار رس به صورت معنی‌داری کاهش یافت که علت احتمالی

آن به دهیدراته شدن رس‌ها در دمای بالا نسبت داده شد. درحالی‌که پس از آتش‌سوزی، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش یافت. افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌تواند به دلیل سوختن لاشبرگ و ماده آلی در اثر آتش‌سوزی باشد. به این صورت که با کاهش ماده آلی خاک، حجم منافذ خاک، به‌ویژه منافذ درشت کاهش می‌یابد و سبب فشرده شدن خاک و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک پس از آتش‌سوزی می‌شود (Ekinci, 2006; Stooft et al., 2010). مونوس روخاس و همکاران (Munoz-Rojas et al., 2016)، گزارش کردند یک سال پس از آتش‌سوزی، جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای شاهد در مقایسه با تیمار آتش‌سوزی بالاتر بود. کانگ و همکاران (Kong et al., 2019) نیز نتیجه گرفتند یک سال پس از آتش‌سوزی، کربن آلی خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت، اما شدت آتش‌سوزی تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی خاک نداشت.

مولوی و همکاران (Molavi et al., 2009) دریافتند پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های تحت آتش‌سوزی با شدت زیاد، کاهش یافت. از سوی دیگر، جیووانینی و همکاران (Giovannini et al., 1998) افزایش پایداری خاکدانه‌ها را به دلیل افزایش ماده آلی خاک، گزارش کردند. در برخی پژوهش‌ها نیز تفاوتی بین پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های تحت آتش‌سوزی و شاهد دیده نشده است (Mataix-Solera et al., 2011). هیوسو-گونزالز و همکاران (Hueso-González et al., 2018) نیز با بررسی تأثیر آتش‌سوزی کنترل شده در یک دوره پنج ساله دریافتند ویژگی‌های خاک مثل کربن آلی خاک و درصد پایداری خاکدانه‌ها تغییر معنی‌داری پیدا نکرد. استاف و همکاران (Stooft et al., 2010) تأثیر آتش و خاکستر بر نگهداری آب خاک را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که در حرارت‌های ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و پایین‌تر از آن، برخی ویژگی‌های خاک تغییر نکرد. در حالی که در حرارت‌های ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر از آن، جرم مخصوص ظاهری خاک، مقدار رس و سیلت افزایش و مقدار ماده آلی خاک و مقدار شن کاهش یافت. گرماده‌ها تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد مقدار آب در دسترس گیاه (AWC) را کاهش داد. آموکو و گامبیزا (Amoako & Gambiza, 2020) افزایش مقدار کربن آلی، نیتروژن

معتدل و نیمه‌خشک و تیپ غالب گیاهی آن درمنه و پوآ که در تابستان سال ۱۳۹۴ در اثر خطای انسانی بخشی از آن دچار آتش‌سوزی شده بود.

در هر سه منطقه مورد مطالعه، پس از بررسی‌های انجام شده از مناطق تحت آتش‌سوزی و منطقه مجاور با فاصله بسیار کم از منطقه قبلی که در آن آتش‌سوزی اتفاق نیفتاده بود و شرایط آن کاملاً مشابه شرایط منطقه تحت آتش‌سوزی بود، از ۶ نقطه و در هر کدام از سه عمق صفر تا ۵، ۱۵-۵ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری در تابستان سال ۱۳۹۵ (شهریور ماه) انجام گرفت. بدین ترتیب در هر کاربری ۱۸ نمونه و در مجموع ۵۴ نمونه خاک برداشته شد. در این پژوهش، نمونه‌برداری مرتع دو هفته پس از آتش‌سوزی، زمین زراعی ۲ ماه پس از آتش‌سوزی و جنگل یک سال پس از آتش‌سوزی صورت گرفت. جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پوشش دادن آن با پارافین (Blake & Hartge, 1986)، بافت خاک با روش هیدرومتری با قرائت چهار زمانه (Gee & Bauder, 1986)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش کمپر و روزنا (Kemper & Rosenau, 1986)، کربن آلی نمونه‌های خاک با روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934)، شاخص پایداری ساختمان خاک (SI) از حاصل تقسیم کربن آلی خاک بر مجموع رس و سیلت خاک محاسبه (Pieri, 1992)، گندجایش هوایی خاک (AC)، دست نخورده از تفاضل رطوبت حجمی اشباع و مکش ۱۰ کیلو پاسکال (White, 2006)، مقدار آب در دسترس گیاه (AWC)، از تفاضل مقدار رطوبت در مکش‌های ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلو پاسکال (White, 2006)، ظرفیت زراعی نسبی (RFC) از حاصل تقسیم رطوبت در مکش ۳۳ کیلو پاسکال و مقدار رطوبت اشباع (Reynolds & Topp, 2008) و شاخص S (مقدار شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف) بر اساس رابطه دکستر (Dexter, 2004) محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و آرایش فاکتوریل، به وسیله نرم‌افزارهای آماری JMP8 و Excel انجام گرفت. معنی‌داری اثر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های خاک در هر سه عمق بررسی شد و به منظور مقایسه میانگین میان دو منطقه آتش‌سوزی شده و آتش‌سوزی نشده، از آزمون T مستقل در سطح ۵ درصد استفاده گردید.

کل، pH و کلسیم خاک را در غرب آفریقا در خاک‌های تحت آتش‌سوزی گزارش نمودند.

با توجه به اینکه هر ساله در ایران آتش‌سوزی‌هایی در سطح جنگل‌ها، مراتع و مزارع صورت می‌گیرد و با وجود بررسی‌های تأثیر آتش بر ویژگی‌های خاک، اما تأثیر آن بر برخی ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک مثل شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف، ظرفیت زراعی نسبی، شاخص پایداری ساختمان خاک و غیره مورد بررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش، وضعیت خاک در اثر آتش‌سوزی در سه کاربری جنگل، مرتع و زمین کشاورزی در بخش‌هایی از جنگل‌نگدرد شهرستان گرگان، مراتع شهرستان کلاله و اراضی زراعی واقع در بخش شمال شهر گرگان از دیدگاه ویژگی‌های فیزیکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

جنگل‌نگدرد در ۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان گرگان و دارای مساحتی حدود ۱۸۵ کیلومتر مربع و در محدوده مختصات جغرافیایی ۲۷° ۵۴' طول شرقی و ۴۷° ۳۶' عرض شمالی واقع است. دارای اقلیم معتدل نیمه‌مرطوب، ارتفاع متوسط از سطح دریا ۱۸۰-۳۰۰ متر، میانگین بارندگی سالانه ۵۵۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. منطقه دارای پوشش جنگلی متراکم و بیشتر درختان آن بلوط، افرا، راش و انجیلی است. در تابستان سال ۱۳۹۳ در اثر خطای انسانی، بخش‌هایی از جنگل دچار آتش‌سوزی شده بود. مزرعه‌ای به وسعت ۵ هکتار در منطقه لاملنگ واقع در ۵ کیلومتری شمال غربی شهر گرگان در محدوده مختصات جغرافیایی ۲۲° ۵۴' طول شرقی و ۵۱° ۳۶' عرض شمالی، دارای میانگین دمای سالانه ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی سالانه ۵۱۱ میلی‌متر، دارای پوشش زراعی گندم انتخاب گردید که در تابستان سال ۱۳۹۴ پس از برداشت محصول، آتش‌سوزی توسط مالکان زمین در بخشی از آن صورت گرفته بود. مرتع مورد مطالعه در شهرستان کلاله و در مختصات جغرافیایی ۴۹° ۵۵' طول شرقی و ۳۷° ۵۰' عرض شمالی قرار دارد که دارای متوسط درجه حرارت سالانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۳۱۵ میلی‌متر می‌باشد. منطقه کوهستانی، دارای اقلیم

نتایج و بحث

اثرات آتش‌سوزی در کاربری جنگل بر ویژگی‌های جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، رس، شن، شاخص پایداری ساختمان خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن یا شاخص S دکستر (S index) و تخلخل تهویه‌ای در سطح یک درصد، در کاربری زراعی بر جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، شاخص پایداری ساختمان خاک، تخلخل تهویه‌ای ($p < 0.01$) و شاخص S دکستر ($p < 0.05$) و در کاربری مرتع بر جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، شاخص پایداری ساختمان خاک ($p < 0.01$)، رس، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، شاخص S دکستر و تخلخل تهویه‌ای ($p < 0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۱). همچنین اثرات متقابل آتش‌سوزی و عمق در کاربری جنگل بر شاخص پایداری ساختمان خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، شاخص S دکستر و تخلخل تهویه‌ای ($p < 0.01$)، در کاربری زراعی بر جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، تخلخل تهویه‌ای ($p < 0.01$) و شاخص S دکستر ($p < 0.05$) و در کاربری مرتع بر SI ($p < 0.01$)، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل ($p < 0.05$) معنی‌دار شد (جدول ۱).

در هر سه کاربری مورد مطالعه، آتش‌سوزی سبب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک شد. در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری خاک، افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک تحت آتش‌سوزی نسبت به خاک شاهد در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. در عمق‌های ۱۵-۵ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر خاک نیز در دو کاربری جنگل و مرتع افزایش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری مشاهده گردید. اما در کاربری زراعی، در عمق‌های زیرین خاک تفاوت معنی‌داری در افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک مشاهده نشد (شکل ۱). سردا و دوئر (Cerdà & Doerr, 2005)، گزارش کردند آتش‌سوزی به دلیل از بین بردن خاکدانه‌ها، باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. اندرو و همکاران (Andreu et al., 2001)، ایکینجی (Ekinici, 2006)، هوبرت و همکاران (Hubbert et al., 2006) و استاف و همکاران (Stoof et al., 2010) نیز افزایش جرم مخصوص ظاهری را پس از آتش‌سوزی گزارش کردند. گرانجد و همکاران (Granged et al., 2011)، افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک پس از آتش‌سوزی نسبت به خاک شاهد را در لایه سطحی

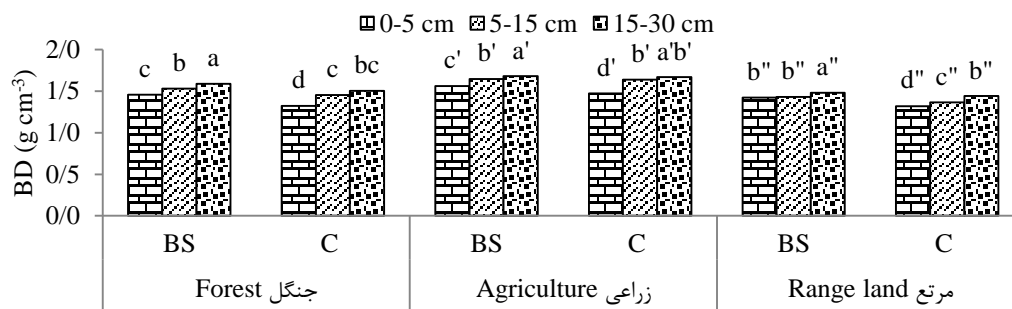
گزارش کردند، هر چند که این افزایش قابل توجه و معنی‌دار نبود. آتش‌سوزی با تخریب ساختمان و منافذ در افق‌های سطحی خاک، عامل اصلی افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک تحت آتش‌سوزی می‌باشد (DeBano, 2000).

اثرات متقابل آتش‌سوزی و عمق همچنین اثرات ساده آتش‌سوزی در هر سه کاربری بر مقدار سیلت معنی‌دار نبود. فقط در کاربری جنگل، اثر عمق در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقدار رس در خاک تحت آتش‌سوزی پس از آتش‌سوزی نسبت به خاک شاهد در هر سه کاربری کاهش یافت. در عمق ۰-۵ سانتی‌متری کاربری جنگل، کاهش مقدار رس خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. اما در عمق‌های زیرین این کاربری و نیز در کاربری‌های مرتع و زراعی، در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری در مقدار رس بین خاک تحت آتش‌سوزی و شاهد مشاهده نشد (شکل ۲). مقدار شن خاک در هر سه کاربری در اثر آتش‌سوزی افزایش یافت، اما این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. تغییرات شن در عمق‌های مورد مطالعه در کاربری‌های جنگل و مرتع، در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود، اما در کاربری زراعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱).

نتایج مولوی و همکاران (Molavi et al., 2009) نشان داد مقدار رس خاک جنگلی در اثر آتش‌سوزی کاهش یافت. اولری و گراهام (Ulery & Graham, 1993) و مبوهای و همکاران (Mabuhay et al., 2006) گزارش کردند یک سال پس از آتش‌سوزی در محل مورد مطالعه، رس خاک کاهش و شن خاک افزایش یافت. کترینگ و بیگهام (Ketterings & Bigham, 2000)، بادیا و مارتی (Badia & Marti, 2003)، ترفی و همکاران (Terefe et al., 2008) و زاوالا و همکاران (Zavala et al., 2010)، علت درشت شدن بافت خاک پس از آتش‌سوزی را به وجود آمدن ذرات درشت هم‌اندازه شن از اجزاء رس و سیلت بر اثر حرارت ناشی از آتش در دمای بیشتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و علت کاهش رس را کلسیمی شدن سیلیکات‌های آهن و آلومینیم تحت تأثیر دمای بالا دانستند. گرانجد و همکاران (Granged et al., 2011)، دریافتند که آتش با تجمع ذرات رس و تشکیل ذرات شن، منجر به کاهش مقدار رس شد. از دلایل دیگر آن می‌توان به جداسازی ذرات رس توسط باران و

کلاس بافتی لوم سیلتی، کاربری زراعی در کلاس بافتی لوم رسی سیلتی و لوم سیلتی و کاربری جنگل نیز در کلاس‌های بافتی لوم رسی سیلتی و لوم سیلتی قرار داشتند. آتش‌سوزی تأثیری بر کلاس بافت خاک نداشت و دمای ایجاد شده در پی آتش‌سوزی باعث تغییر بافت خاک در کاربری‌ها نشد. البته پس از آتش‌سوزی، مقدار شن به طور جزئی در مناطق تحت آتش‌سوزی نسبت به شاهد (بدون آتش‌سوزی) بیشتر شده است که دلیل آن را می‌توان به کاهش مقدار رس بر اثر آتش نسبت داد.

فرسایش در صورت عدم پوشش گیاهی اشاره کرد. ثابت بودن محتوای شن، سیلت و رس در عمق‌های زیرین خاک در طول آتش‌سوزی، نشان‌دهنده این است که اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک نسبت به آتش‌سوزی مقاومت بالایی دارند و برای تغییر این اجزا، دماهای بالایی باید بر خاک اعمال شود. افزایش مقدار شن بلافاصله پس از آتش‌سوزی نسبت به قبل از آتش‌سوزی، احتمالاً به دلیل کاهش در مقدار رس پس از آتش‌سوزی می‌باشد (Giovannini *et al.*, 1998). بر اساس فراوانی نسبی ذرات، خاک‌های مناطق شاهد در کاربری مرتع، در



شکل ۱- برهمکنش آتش‌سوزی و عمق بر جرم مخصوص ظاهری در خاک تحت آتش‌سوزی (BS) و شاهد (C) در کاربری‌های مختلف (حروف متفاوت در هر کاربری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است)

Figure 1. Interaction effect of fire and depth on bulk density in burned soil (BS) and control (C) in different land uses (different letters in each land use indicate a significant difference at 5% level)

جدول ۱- تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی در کاربری‌های مختلف (میانگین مربعات خطا)

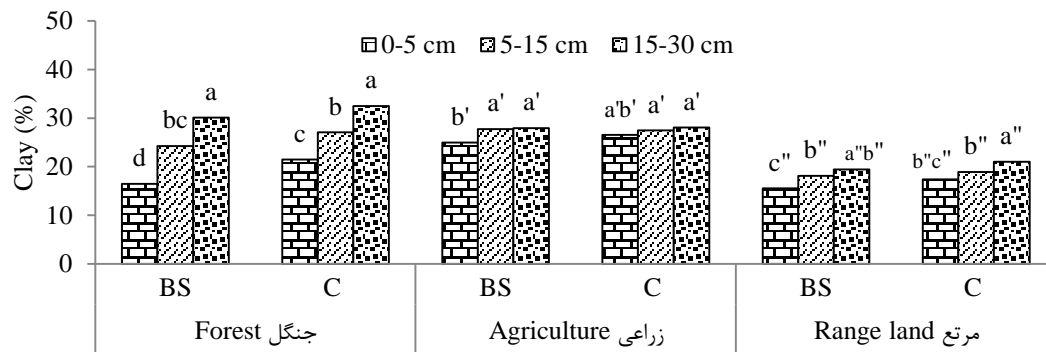
Table 1. Variance analysis of physical properties in different land uses (mean square error)

Land use	SV	df	BD	n	Clay	Sand	Silt	SI	MWD	S index	RFC	AC
Forest	T	1	**0.043	**0.007	*42.60	0.63 ^{ns}	0.29 ^{ns}	**2.86	**1.50	**0.001	0.003 ^{ns}	0.008**
	D	2	**0.037	**0.005	**254.95	**65.81	*74.67	**13.96	**0.21	**0.001	0.006 ^{ns}	**0.010
	T*D	2	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	*13.34	2.46 ^{ns}	24.96 ^{ns}	**6.40	**0.43	**0.001	0.003 ^{ns}	0.003*
	Error	12	0.0008	0.001	3.06	0.49	15.23	0.48	0.006	0.001	0.001	0.001
Agriculture	T	1	**0.006	**0.001	1.01 ^{ns}	0.85 ^{ns}	0.005 ^{ns}	**1.21	0.002 ^{ns}	*0.001	0.003 ^{ns}	0.005**
	D	2	**0.041	**0.006	**8.44	4.23 ^{ns}	2.41 ^{ns}	**0.89	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}
	T*D	2	**0.003	**0.001	1.71 ^{ns}	4.02 ^{ns}	3.08 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.003 ^{ns}	*0.001	0.002 ^{ns}	0.003**
	Error	12	0.001	0.001	0.90	2.14	3.21	0.03	0.001	0.001	0.001	0.001
Pasture	T	1	**0.022	**0.003	*8.87	0.34 ^{ns}	0.82 ^{ns}	**0.42	*1.35	*0.001	0.001 ^{ns}	*0.001
	D	2	**0.012	**0.002	**21.30	**3.03	17.11 ^{ns}	**11.33	**0.46	*0.001	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}
	T*D	2	*0.001	*0.001	0.46 ^{ns}	0.48 ^{ns}	24.38 ^{ns}	0.04 ^{ns}	**0.17	**0.001	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}
	Error	12	0.001	0.001	1.40	0.33	8.79	0.03	0.02	0.001	0.001	0.001

T: تیمار آتش‌سوزی؛ D: عمق؛ T*D: اثر متقابل تیمار آتش‌سوزی و عمق؛ SV: منبع تغییرات؛ BD: جرم مخصوص ظاهری؛ SI: شاخص پایداری ساختمان خاک؛ n: تخلخل کل؛ MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها؛ Sgi: شاخص دکستر؛ AC:

گنجایش هوایی؛ RFC: گنجایش زراعی نسبی (**: در سطح ۱٪ معنی‌دار؛ *: در سطح ۵٪ معنی‌دار و ns: عدم معنی‌داری).

T: Fire treatment; D: Depth, T*D: Interaction effect of fire and depth; SV: Source of variation; BD: bulk density; SI: Structural stability index; n: soil porosity; MWD: mean weight diameter of aggregates; Sgi: S Dexter's Index; Ac: Air capacity; RFC: Relative field capacity (**: significant at p < 0.01; *: significant at p < 0.05; ns: non-significant).

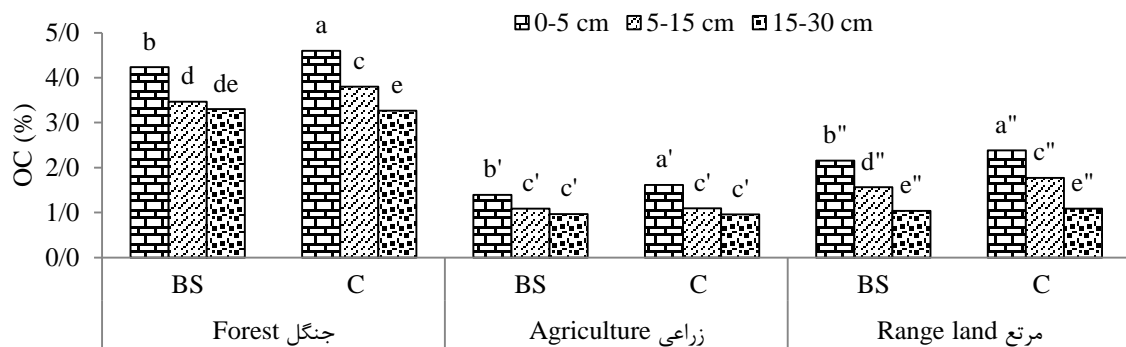


شکل ۲- برهمکنش آتش‌سوزی و عمق بر مقدار رس در خاک تحت آتش‌سوزی (BS) و شاهد (C) در کاربری‌های مختلف (حروف متفاوت در هر کاربری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

Figure 2. Interaction effect of fire and depth on the amount of clay in burned soils (BS) and control (C) in different land uses (different letters in each land use indicate a significant difference at 5% level).

تحت آتش‌سوزی کاربری جنگل و مرتع نیز نسبت به خاک کاهش کربن آلی خاک معنی‌دار، اما در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری بین خاک تحت آتش‌سوزی و شاهد مشاهده نشد (شکل ۳).

در هر سه کاربری، آتش‌سوزی سبب کاهش کربن آلی خاک شد. این کاهش، در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متر هر سه کاربری بین خاک تحت آتش‌سوزی و شاهد در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متر خاک



شکل ۳- برهمکنش آتش‌سوزی و عمق بر کربن آلی خاک در خاک تحت آتش‌سوزی (BS) و شاهد (C) در کاربری‌های مختلف (حروف متفاوت در هر کاربری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

Figure 3. Interaction effect of fire and depth on soil organic carbon in burned soils (BS) and control (C) in different land uses (different letters in each land use indicate a significant difference at 5% level).

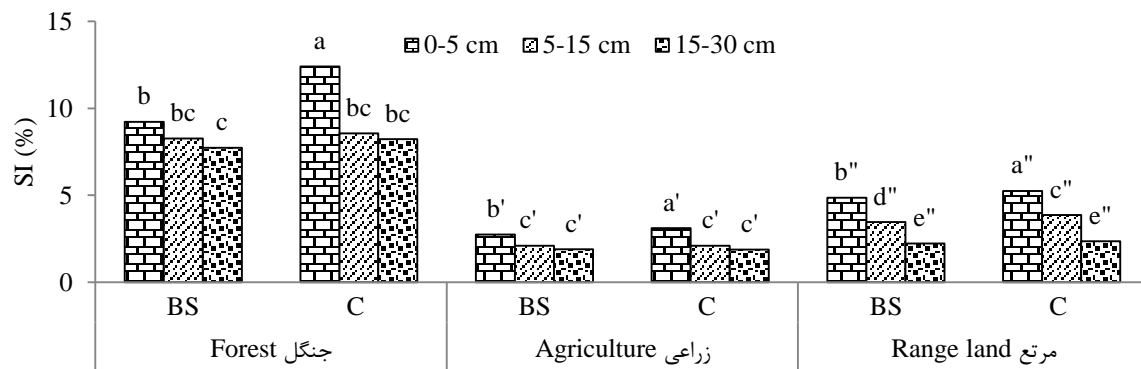
2005). گرانجد و همکاران (Granged, et al., 2011b)، تغییرات تدریجی ویژگی‌های خاک مناطق مدیترانه‌ای را در طول ۳ سال پس از آتش‌سوزی آزمایشی مطالعه کردند. آنان دریافتند که ماده آلی در طول ۳ سال آتش‌سوزی، نسبت به شرایط قبل از آتش کاهش یافت. پژوهش‌هایی نیز افزایش کربن آلی خاک را پس از آتش‌سوزی گزارش کردند (Ekinci, 2006; Cassie et al., 2009; Hemmatboland et al., 2010). افزایش کربن آلی پس از آتش‌سوزی می‌تواند به دلیل تولید و زیست‌توده گیاهان در مناطق آتش‌سوزی شده و در نتیجه تولید مواد آلی زیاد باشد. همچنین، کاتیون‌ها از بافت گیاه

سرتینی (Certini, 2005)، بیشترین تاثیر آتش‌سوزی بر خاک را از دست دادن مواد آلی و افزایش خطر فرسایش در مرحله بعد عنوان کرد. زیرا حساس‌ترین تغییرات خاک در مقابل آتش‌سوزی، کاهش ماده آلی خاک می‌باشد. در اثر سوختن مواد آلی و کاهش آن در خاک، خاکسترهای حاصل از سوختن ماده آلی وارد خلل و فرج خاک شده و باعث بسته شدن منافذ خاک می‌شوند که کاهش تعداد منافذ خاک افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک را در پی خواهد داشت (Stoof et al., 2010). روند کاهش کربن آلی می‌تواند ناشی از اکسید شدن ماده آلی، از بین رفتن پوشش گیاهی و حذف لاشبرگ‌ها باشد (Fernandez et al., 1999; Certini, 2005).

خاکدانه و ساختمان خاک نداشت، در حالی که در ماهی بالاتر (۳۸۰-۴۶۰ درجه سانتی‌گراد) پایداری خاکدانه کاهش یافت. جیوانینی و همکاران (Giovannini *et al.*, 1988) نیز به هم خوردگی فیزیکی خاک در طی فرآیند سوختگی را یک عامل مهم برای کاهش اندازه خاکدانه و در نتیجه کاهش نمایه‌های پایداری ساختمان خاک دانستند. از آنجا که شاخص پایداری ساختمان خاک با درصد ماده آلی نسبت مستقیم دارد، در نتیجه شاخص پایداری ساختمان خاک در اثر آتش‌سوزی و کاهش ماده آلی خاک، کاهش یافته است.

آزاد شده و باعث افزایش حاصلخیزی و تولید و افزایش ماده آلی خاک می‌شوند (Cassie *et al.*, 2009).

در هر سه کاربری، شاخص پایداری ساختمان خاک در خاک تحت آتش‌سوزی نسبت به خاک شاهد کاهش یافت. این کاهش در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری هر سه کاربری و عمق ۵-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری کاربری‌های جنگل و مرتع در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل ۴). نتایج گارسیا-کورونا و همکاران (García-Corona *et al.*, 2004)، نشان داد که آتش‌سوزی در دمای ۱۷۰-۲۲۰ درجه سانتی‌گراد، اثر معنی‌داری بر پایداری

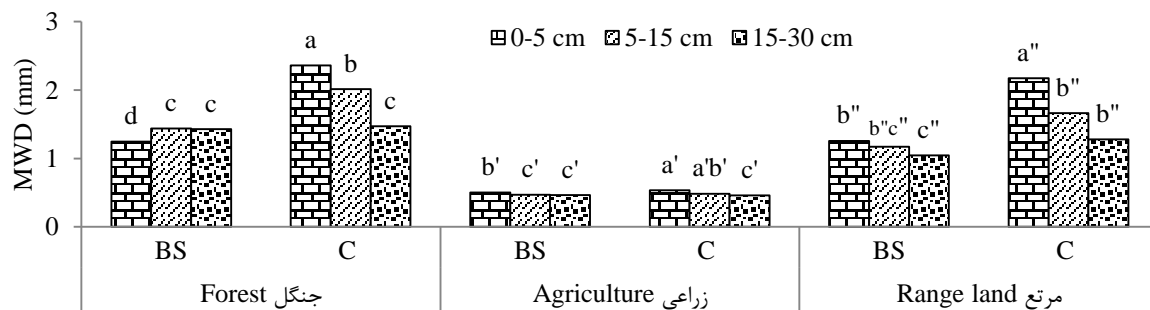


شکل ۴- برهمکنش آتش‌سوزی و عمق بر شاخص پایداری ساختمان خاک در خاک تحت آتش‌سوزی (BS) و شاهد (C) در کاربری‌های مختلف (حروف متفاوت در هر کاربری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

Figure 4. Interaction effect of fire and depth on the soil stability index in burned soils (BS) and control (C) in different land uses (different letters in each land use indicate a significant difference at 5% level).

عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری هر سه کاربری، تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار در میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مشاهده نشد (شکل ۵). به نظر می‌رسد کاهش کربن آلی عامل مهم کاهش پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک و در نتیجه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در عمق سطحی هر سه کاربری است.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر سه کاربری در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متر خاک تحت آتش‌سوزی نسبت به شاهد، به طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد کاهش یافت. در کاربری‌های جنگل و زراعی، در عمق ۵-۱۵ سانتی‌متر خاک نیز کاهش معنی‌دار در خاک تحت آتش‌سوزی نسبت به خاک شاهد مشاهده گردید، اما در کاربری مرتع در عمق‌های ۱۵-۳۰ و ۵-۱۵ سانتی‌متری و همچنین در

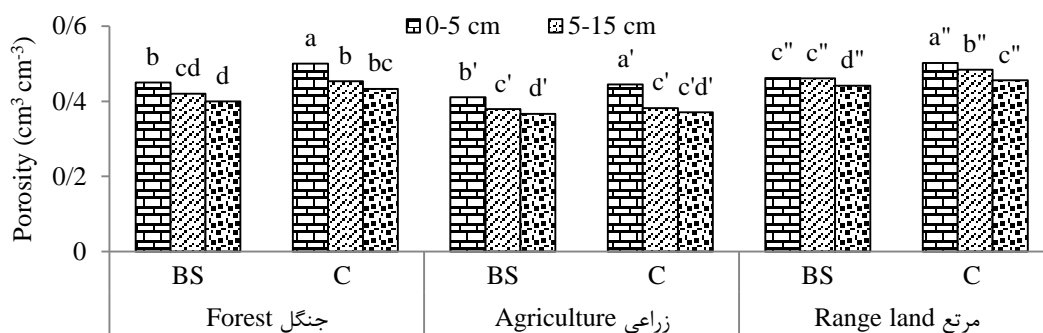


شکل ۵- برهمکنش آتش‌سوزی و عمق بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک تحت آتش‌سوزی (BS) و شاهد (C) در کاربری‌های مختلف (حروف متفاوت در هر کاربری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

Figure 5. Interaction effect of fire and depth on mean weight diameter of aggregates in burned soils (BS) and control (C) in different land uses (different letters in each land use indicate a significant difference at 5% level).

کاربری‌های جنگل و مرتع نیز نسبت به خاک شاهد، کاهش تخلخل خاک معنی‌دار بود. اگر چه در کاربری زراعی در عمق‌های زیرین تخلخل خاک تحت آتش‌سوزی نسبت به شاهد کاهش یافت، اما این کاهش معنی‌دار نشد (شکل ۶).

در هر سه کاربری، آتش‌سوزی باعث کاهش تخلخل خاک شد. در عمق صفر تا ۵ سانتی‌متری خاک تحت آتش‌سوزی، کاهش معنی‌دار تخلخل نسبت به شاهد در سطح ۵ درصد برای هر سه کاربری مشاهده شد. در عمق ۱۵-۵ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک تحت آتش‌سوزی در



شکل ۶- برهمکنش آتش‌سوزی و عمق بر تخلخل خاک در خاک تحت آتش‌سوزی (BS) و شاهد (C) در کاربری‌های مختلف (حروف متفاوت در هر کاربری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

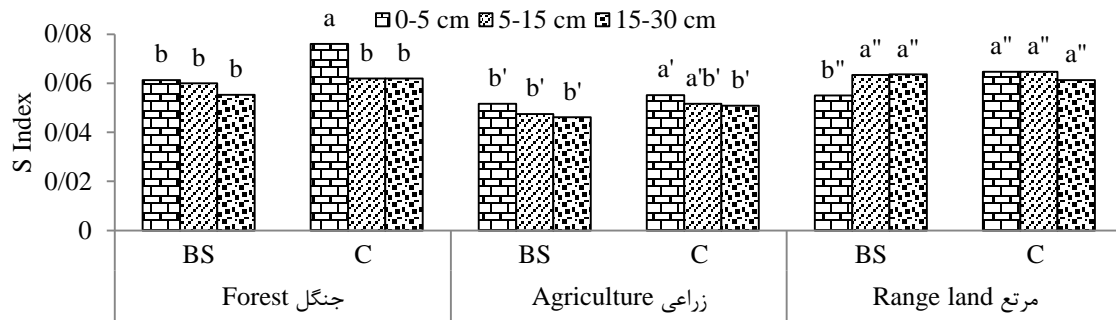
Figure 6. Interaction effect of fire and depth on soil porosity in burned soils (BS) and control (C) in different land uses (different letters in each land use indicate a significant difference at 5% level).

شاخص S به‌طور خطی کاهش یافت. افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک به معنای کاهش تخلخل است. با افزایش جرم مخصوص ظاهری (شکل ۱) و کاهش ماده آلی (شکل ۳) و شاخص‌های پایداری ساختمان خاک (شکل‌های ۴ تا ۶) در اثر آتش‌سوزی در این خاک‌ها، میزان تخلخل ریز بافتی نسبت به منافذ ساختمانی افزایش یافته است که این امر باعث کاهش شاخص S می‌شود.

مقایسه میانگین پارامترهای رطوبتی خاک نشان داد که آتش‌سوزی باعث کاهش رطوبت خاک و ویژگی‌های رطوبتی آن گردید. اما در هر سه کاربری، کاهش مقدار آب قابل استفاده گیاه پس از آتش‌سوزی معنی‌دار نشد و فقط تغییرات معنی‌دار در عمق‌های مورد مطالعه در کاربری‌های جنگل و زراعی مشاهده گردید (جدول ۱). همچنین، کاهش مقدار ظرفیت زراعی نسبی پس از آتش‌سوزی نیز در هر سه کاربری معنی‌دار نبود (جدول ۱). گنجایش هوایی در هر سه کاربری در مناطق تحت آتش‌سوزی نسبت به منطقه شاهد کاهش یافت، اما کاهش آن فقط در عمق ۵-۰ سانتی‌متر در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل ۸).

هوبرت و همکاران (Hubbert *et al.*, 2006)، ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2007) و آره و همکاران (Are *et al.*, 2009) کاهش منافذ بزرگ و تخلخل کل را بعد از سوزاندن گزارش کردند. از دلایلی که برای این موضوع عنوان شد می‌توان به قرار گرفتن خاکستر در درون منافذ بزرگ‌تر اشاره کرد. علاوه بر این، خاکستر رسوب کرده ممکن است درصد نسبی منافذ درشت را کاهش داده و فراوانی منافذ ریز را افزایش دهد که در نتیجه کاهش نسبی منافذ درشت و همچنین تخلخل کل رخ می‌دهد (Tucker, 2003).

مقایسه میانگین خاک‌های تحت آتش‌سوزی و شاهد در عمق‌های مورد بررسی نشان داد که شاخص S دکستر در خاک تحت آتش‌سوزی نسبت به خاک شاهد کاهش یافت، اما فقط در لایه سطحی یعنی عمق صفر تا ۵ سانتی‌متر در هر سه کاربری کاهش آن در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد و در عمق‌های زیرین خاک کاهش آن معنی‌دار نبود (شکل ۷). دکستر (Dexter, 2004)، همبستگی منفی بین شاخص S و جرم مخصوص ظاهری را گزارش کرد. بر اساس تحقیقات دکستر (Dexter, 2004)، در یک نمونه از خاک‌های اسپانیا مشاهده شد که با افزایش درجه تراکم و در نتیجه افزایش جرم مخصوص ظاهری، مقدار

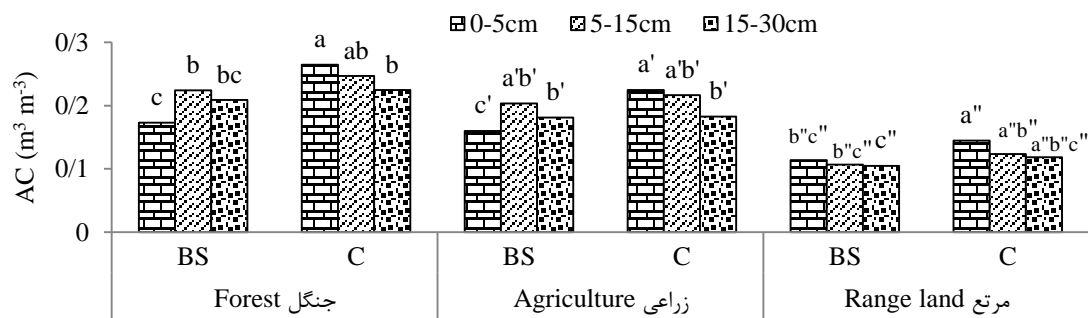


شکل ۷- برهمکنش آتش‌سوزی و عمق بر شاخص دکستر در خاک تحت آتش‌سوزی (BS) و شاهد (C) در کاربری‌های مختلف (حروف متفاوت در هر کاربری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

Figure 7. Interaction effect of fire and depth on Dexter index in burned soils (BS) and control (C) in different land uses (different letters in each land use indicate a significant difference at 5% level).

توسط گیاهان برای بازسازی باشد. زیرا پوشش گیاهی از بین رفته، در سال رویشی بعدی با تراکم بیشتری رشد می‌کند. کایود و همکاران (Kayode *et al.*, 2008)، گزارش کردند که تیمار سوزاندن بقایا باعث کاهش آب قابل استفاده گیاه شد، اما تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت. آن‌ها یکی از دلایل عدم معنی‌داری تیمارها را تأثیرات متفاوت ظرفیت زراعی و جرم مخصوص ظاهری خاک بر این پارامترها عنوان کردند. همچنین آن‌ها دریافتند که ظرفیت زراعی نسبی در تیمار سوزاندن بقایا و شاهد، اختلاف معنی‌داری نداشت. آره و همکاران (Are *et al.*, 2009)، گزارش کردند رطوبت خاک یک سال بعد از آتش‌سوزی در مقایسه با منطقه شاهد تغییرات معنی‌داری نداشت.

گنجایش هوایی خاک بیشتر توسط بافت، ساختمان، میزان مواد آلی و تراکم خاک تعیین می‌شود (Rubio *et al.*, 2008). به نظر می‌رسد با کاهش شاخص‌های پایداری ساختمان خاک، کاهش مواد آلی و افزایش جرم مخصوص ظاهری پس از آتش‌سوزی، منافذ درشت و در نتیجه گنجایش هوایی در لایه سطحی خاک کاهش یافته است. استاف و همکاران (Stoof *et al.*, 2010)، گزارش کردند که گرمادهی تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار آب قابل استفاده گیاه (AWC) را کاهش و ترکیب مستقیم خاکستر با خاک، نگهداشت آب خاک را از حد اشباع تا مکش ۳۱۰ کیلوپاسکال (FC)، افزایش داد. کاهش ویژگی‌های رطوبتی خاک یک سال پس از آتش‌سوزی در مقایسه با منطقه شاهد، می‌تواند ناشی از افزایش جذب



شکل ۸- برهمکنش آتش‌سوزی و عمق بر گنجایش هوایی در خاک تحت آتش‌سوزی (BS) و شاهد (C) در کاربری‌های مختلف (حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

Figure 8. Interaction effect of fire and depth on air capacity in burned soils (BS) and control (C) in different land uses (different letters indicate a significant difference at 5% level).

ساختمان خاک در نتیجه آتش‌سوزی به طور قابل توجهی در وضعیت خاک تأثیرگذار بوده که می‌تواند پیامدهایی چون افزایش رواناب و فرسایش را به دنبال داشته باشد. البته تأثیر آتش بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، در لایه

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های پژوهش نشان داد که آتش‌سوزی اثرات مهمی بر ویژگی‌های خاک داشت و افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش کربن آلی و شاخص‌های پایداری

آتش و ایجاد تغییرات و اثراتی که بر پارامترهای خاک می‌گذارد، مدت زمانی طول می‌کشد تا ویژگی‌های خاک به حالت اولیه خود بازگردد. در نتیجه، توصیه می‌شود جهت اعمال مدیریت‌های مناسب‌تر بر کاربری‌های مختلف در مناطق دچار آتش‌سوزی شده، مطالعه و بررسی‌های بلند مدت جهت بررسی تأثیر آتش بر ویژگی‌های خاک انجام شود تا در هر منطقه مدت زمان بازگشت ویژگی‌های خاک به حالت اولیه یا عدم برگشت آن به دست آید. همچنین، توصیه می‌شود که دیگر عوامل تأثیرگذار خاک همچون ویژگی‌های شیمیایی و زیستی نیز در کنار ویژگی‌های فیزیکی در اثر آتش‌سوزی بررسی و کیفیت خاک براساس عوامل محدود کننده آن ارزیابی گردد تا در نتیجه آن، با توجه به اهداف مدیریتی در هر کاربری در جهت افزایش توان تولید خاک، بهبود وضعیت کیفیت خاک و نیز تولید محصول به عملکرد بالایی دست یافت.

سطحی (عمق صفر تا ۵ سانتی‌متر)، به دلیل شدت و تماس بیشتر آتش‌سوزی در این لایه، نسبت به لایه‌های زیرین (عمق ۵-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر) خاک بیش‌تر بود و آتش‌سوزی تأثیر چندانی بر ویژگی‌های دو عمق زیرسطحی خاک نداشت. دلیل این امر را می‌توان ناشی از عمق نفوذ متفاوت گرما در این دو لایه دانست. عمق نفوذ گرما در خاک به تراکم پوشش گیاهی، نسبت تراکم ذرات خاک و رطوبت خاک در زیر مواد قابل اشتعال بستگی دارد. در مناطق مورد مطالعه، با توجه به پوشش گیاهی و گذرا بودن آتش‌سوزی ایجاد شده، می‌توان گفت که عمق نفوذ گرمای به دست آمده از آتش‌سوزی به لایه سطحی خاک محدود شده و قادر به نفوذ به لایه زیرسطحی نبوده است. به همین دلیل، آتش‌سوزی پوشش گیاهی تأثیر منفی خود را بر ویژگی‌های فیزیکی لایه سطحی خاک بر جای گذاشته و ویژگی‌های فیزیکی لایه زیرسطحی خاک در اغلب موارد بدون تغییر باقی مانده است. پس از بروز

References

- Amoako E.K., and Gambiza J. 2020. Effects of anthropogenic fires on soil properties and the implications of fire frequency for the Guinea savanna ecological zone, Ghana. *Scientific African*. In press.
- Andreu V., Imeson A.C., and Rubio J.L. 2001. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena*, 44 (1): 69–84.
- Are K.S., Oluwatosin G.A., Adeyolanu O.D., and Oke A.O. 2009. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: Soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 103(1): 4-10.
- Arthur W.B. 2000. Understanding Fire Ecology for Range Management. Vegetation Science Applications for Rangeland Analysis and Management. Pp. 527-542.
- Badia D., and Marti C. 2003. Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management*, 17: 23–41.
- Blake G.R., and Hartge K.H. 1986. Bulk density. In: Methods of Soil Analysis. Part1-Physical and mineralogical methods. Second edition. Agronomy No.9. America Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA. Pp. 365-375
- Cassie L., Hebel Smith J.E., and Cromack K. 2009. Invasive plant species and soil microbial response to wildfire burn severity in the Cascade Range of Oregon. *Applied Soil Ecology*, 42:150-159.
- Cerdà A., and Doerr S.H. 2005. Influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an 11-year investigation. Inter. *International Journal of Wild Land Fire*. 14: 423-437.
- Certini G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 143: 1-10.
- DeBano L.F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wild land environments. *Journal of Hydrology*, 232: 195–206.
- Dexter A. 2004. Soil physic quality part III: unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about Stheory. *Geoderma*, 120: 227-239.
- 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.
- 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.

- García-Corona R., Benito E., DeBlas E., and Varela ME. 2004. Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behavior in two northwestern Spanish soils. *International Journal of Wild Land Fire*, 13:195–199.
- Gee G.W., and Bauder J.M. 1986. Partical-size analysis. In *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No. 9 (2nd Edition), American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 383-411.
- Giovannini G., Lucchesi S., and Giachetti M. 1988. Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Science*, 146: 255–262.
- Granged A.J.P., Zavala L.M., Antonio J., and Bárcenas-Moreno G. 2011. Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. *Geoderma*, 164: 85-94.
- Hemmatboland I., Akbarinia M., and Banej Shafiei A. 2010. The effect of fire on some soil chemical properties of oak forests in Marivan region. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 18(2): 205-218. (In Persian)
- Hubbert K.R., Preisler H.K., Wohlgemuth P.M., Graham R.G. and Narog M.G. 2006. Prescribed burning effects on soil physical properties and water repellency in a steep chaparral watershed, Southern California, USA. *Geoderma*, 130: 284-298.
- Hueso-González P., Martínez-Murillo J.F., and Ruiz-Sinoga J.D. 2018. Prescribed fire impacts on soil properties, overland flow and sediment transport in a Mediterranean forest: A 5-year study. *Science of the Total Environment*, 636: 1480-1489.
- Johnson J.M.F., Allmaras R.R. and Reicosky D.C. 2006. Estimated source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. *Journal of Agronomy*, 98: 622-636.
- Kayode S.A., Gabriel A., Oluwatosin O., Adeyolanu D., and Adebayo O. 2008. Slash and burn effect on soil quality of an Alfisol: Soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 103: 4–10.
- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI. Pp. 425–442.
- Ketterings Q.M., and 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.
- Kong J.J., Yang J., and Cai W.H. 2019. Topography controls post-fire changes in soil properties in a Chinese boreal forest. *Science of the Total Environment*, 651: 2666-2670.
- Limon-Ortega A., Sayre K.D., Drijber R.A. and Franci, C.A. 2002. Soil attributes in a furrow-irrigated bed planting system in northwest Mexico. *Soil and Tillage Research*, 63: 123-132.
- 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.
- Mataix-Solera J., Cerda A., Arcenegui V., Jordan A., and Zavala L.M. 2011. Fire effects on soil aggregation: A review. *Journal of Earth-Science Reviews*, 109: 44-60.
- Molavi R., Baghernejad M., and Adhami E. 2009. Effects of forest burning and slash burn on physico-chemical properties and clay minerals of top soil. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 49: 99-110. (In Persian)
- Munoz-Rojas M., Erickson E., Martinia T., and Dixon K. 2016. Soil physicochemical and microbiological indicators of short, medium and long term post-fire recovery in semi-arid ecosystems. *Ecological Indicators*, 63: 14–22.
- Nearly D.G., Ryan K.C., and De Bano L.F. 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. 250p.
- Pieri C.J.M.G. 1992. *Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 384p.
- Reynolds W.D., and Topp G.C. 2008. Soil water desorption and imbibition: tension and pressure techniques, In: Carter, M.R., and Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*,

- 2nd Edition. Canadian Society of Soil Science. Taylor and Francis, LLC, Boca Raton, FL, Pp: 981–997.
- Rubio C.M., Lorens P., and Gallart F. 2008. Uncertainty and efficiency of pedo transfer functions for estimating water retention characteristics of soils. *European Journal of Soil Science*. 59(2): 339-347.
- Stoof C.R., Wesseling J.G., and Ritsema C.J. 2010. Effects of fire and ash on soil water retention. *Geoderma*, 159(3-4): 276-285
- 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 (3–4): 273–280.
- Tucker G. 2003. Review of the impacts of heather and grassland burning in the uplands on soils, hydrology and biodiversity. English Nature Research reports. No. 550 North minister House, Peterborough. PE. 1, IUA.
- Ulery A.L. and Graham R.C. 1993. Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Science Society of America Journal*, 57 (1): 135–140.
- Verma S., 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(3):168-176.
- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of Digestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-37.
- White, R.E. 2006. Principles and Practice of Soil Science, 4th edition. Blackwell Publishing, Oxford, UK. 106p.
- Zavala L.M., A.J. P. Granged A. Jordan and G.B. Moreno. 2010. Effect of burning temperature on water repellency and aggregate stability in forest soils under laboratory conditions. *Geoderma*, 158: 366–374.
- Zhang G.S., Chan K.Y., Oates A., Heenan D.P. and Huang G.B. 2007. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research*, 92: 122-128.

Effect of Fire on Soil Physical Properties in Range Land, Agriculture and Forest Land Uses in Golestan Province

Leili Liknam¹, Hojat Emami^{2*}, Reza Khorassani³

(Accepted: December 2019 Received: April 2020)

Abstract

Fire has a considerable impact on vegetation and soil structure. The purpose of this study was to investigate the effect of fire on some soil physical properties of agricultural, forest, and pasture land uses in Golestan province. For this purpose, agricultural and forest land uses were selected from Gorgan province, and the pasture land use from Kalaleh as well, which were exposed to fire. Soil samples were taken from three surface (0-5cm) and subsurface depths (5-15 and 15-30 cm) for each land use in triplicate. Meanwhile, the control (non-fire) was sampled similarly. Independent t-test was carried out at $p < 0.05$ to compare differences between soil properties in burned and control areas. The results showed that clay content, mean weight diameter of aggregates (MWD), porosity, air capacity, structural stability index (SI), Dexter S index, and organic carbon were significantly ($p < 0.05$) decreased at the depth of 0-5 cm in all land uses. So that in forest, pasture, and agricultural land uses the decreasing contents were 24, 11, and 6% for clay, 47, 41.9, and 7.4% for MWD, 10, 8, and 9 % for porosity, 34.6, 21.4, and 27.3 % for air capacity, 25.6, 7.4, and 11.3% for SI, 19.7, 15.4, and 7.3 % for Dexter's S index, and 8, 9.6 and 13.7% for organic carbon, respectively, while decrement percentages of these properties were not significant at subsurface layer. Burned soils bulk density significantly ($p < 0.05$) compared to the control at the depth of 0-5 cm, which increment percentages of bulk density in forest, pasture, and agricultural land uses were 11, 8, and 6% respectively, but it wasn't significant at the subsurface layer.

Keywords: Air capacity, Fire, S Index, Structural stability index

Niknam L., Emami H., and Khorassani R. 2021. Effect of fire on soil physical properties in range land, agriculture and forest land uses in Golestan province. *Applied Soil Research*, 9(1): 1-13.

1. Former MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

* Corresponding Author Email: hemami@um.ac.ir