



انجمن علمی سیستم‌های
سطوح آبگیر باران ایران

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

دوازدهمین همایش ملی
سامانه‌های سطوح آبگیر باران

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

آثار آتش‌سوزی بر مشخصات خاک بوم‌سازگان‌ها: مطالعه مروری

نگین سلطانی^۱ و رقیه جهدی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل،

ایران

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(*) ایمیل نویسنده مسئول (roghayeh.jahdi@uma.ac.ir)

چکیده

در این تحقیق، مروری بر آثار آتش‌سوزی جنگل و سوزاندن تجویزی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌های جنگل انجام می‌شود و خلاصه‌ای از دانش کنونی مرتبط با مزایا و معایب این آتش‌سوزی‌ها ارائه می‌شود. آتش‌سوزی با شدت کم با رسوب خاکستر در سطح خاک موجب تغییراتی در ویژگی شیمیایی خاک از جمله افزایش pH و مواد مغذی موجود می‌شود. با این وجود، آتش‌سوزی‌های شدید با احتراق کامل مواد آلی، منجر به آثار منفی شدید مانند تبخیر مواد مغذی، از بین رفتن پایداری خاکدانه‌ها، افزایش چگالی ظاهری خاک، افزایش آب‌گریزی ذرات خاک که در نتیجه کاهش نفوذ آب با افزایش فرسایش و تخریب موجودات زنده خاک رخ می‌دهد، می‌شود. گرمای زیاد خاک ناشی از این آتش‌سوزی‌ها برای بوم‌سازگان خاک، به ویژه خواص فیزیکی و بیولوژیکی آن مضر است. با توجه به آثار آتش‌سوزی‌های کنترل نشده، استفاده از سوزاندن تجویزی به عنوان یک ابزار مدیریتی برای کاهش بار ماده سوختنی به دلیل شدت کم و گرمایش محدود خاک بسیار توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، سوزاندن تجویزی، شدت آتش، مواد مغذی خاک

۱- مقدمه

خاک حامی حیات و تامین کننده مواد مغذی است که عملکرد آن تحت تاثیر تعادل تغذیه‌ای، pH و محتوای مواد آلی آن قرار می‌گیرد. بستر خاک به تنظیم آب، حمایت از ارگانیسم‌های مختلف کمک می‌کند و نقش مهمی در ترسیب کربن، به‌ویژه در زمینه

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

تغییرات اقلیمی ایفا می‌کند [۱]. خاک‌های جنگلی، جایی که شکل‌گیری خاک تحت تأثیر پوشش گیاهی جنگل قرار گرفته است، معمولاً با درختان ریشه‌دار، «لایه‌های لاشبرگ» یا افق O، بازیابی مواد آلی و مواد مغذی، از جمله چوب، و انواع وسیعی از ارگانیک‌های ساکن در خاک مشخص می‌شوند [۲]. بنابراین، تخریب خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌های جنگلی ظرفیت آن را برای عملکرد کامل کاهش می‌دهد که این آثار موقت یا دائمی است. محرک‌های اصلی تخریب خاک در بوم‌سازگان‌های جنگلی عبارتند از آلودگی خاک، جنگل‌زدایی، آتش‌سوزی و سوزاندن پوشش گیاهی و فرسایش. علل اصلی این پدیده صنعتی شدن، فقر، کشاورزی، افزایش جمعیت، سیل و بیابان‌زایی است. آثار خطرناک آن بر خاک سرعت تجزیه سریع مواد آلی است که منجر به از بین رفتن تدریجی و مداوم نیمرخ خاک می‌شود و گیاهان نمی‌توانند به مواد غذایی دست پیدا کنند [۳].

آتش‌سوزی جنگل عامل تخریب کننده جنگل‌های گرمسیری، معتدله و بوره‌آل محسوب می‌شود که به صورت طبیعی یا انسان‌ساخت رخ می‌دهد و با پاک‌سازی زمین و جنگل‌زدایی مرتبط است [۴]. آتش با تأثیر بر گردش مواد مغذی، آب‌گریزی، ترکیب و بازسازی گونه‌ها و تنوع زیستی اکولوژیکی بر اکولوژی و عملکرد جنگل تأثیر می‌گذارد. آتش‌سوزی‌های جنگل اغلب نتیجه فعالیت‌های انسانی هستند، در حالی که آتش‌سوزی‌های طبیعی تنها بخش کوچکی از آتش‌سوزی‌های جهانی را نشان می‌دهند [۵]. یافته‌های Sjöström و Granström [۶] نشان می‌دهد که در رابطه اقلیم-آتش‌سوزی کنونی، تغییرات در فعالیت‌های انسانی (که تراکم جمعیت یک نماینده است)، یک عامل مهم برای وقوع آتش‌سوزی و احتمال آتش‌سوزی‌های بزرگ و با تأثیر زیاد است. از آنجایی که عمده آتش‌سوزی‌ها توسط مردم ایجاد می‌شود، وضعیت آتش‌سوزی جنگل در آینده نسبت به تغییرات فرهنگی که بر منابع مختلف اشتعال انسانی تأثیر می‌گذارد، بسیار حساس خواهد بود. اما این بدان معناست که پتانسیل اقدامات پیشگیری از آتش‌سوزی باید زیاد باشد [۶]. آتش‌سوزی‌های جنگلی عامل اصلی تخریب خاک و از بین رفتن مواد مغذی از طریق تبخیر و فرسایش هستند. Akburak و همکاران [۷] کاهش شدید کربن زیست توده میکروبی را به صورت کوتاه‌مدت به دنبال آتش‌سوزی جنگل گزارش کردند [۷]. بر اساس مطالعه Cheng و همکاران [۸]، آتش‌سوزی‌ها به طور قابل توجهی میانگین اندازه اثر چندین جزء کلیدی چرخه کربن خاک از جمله کربن زیست‌توده میکروبی، کربن آلی محلول، کربن کل، کربن پیرونیکی (بیوجار)، ماده آلی خاک و کربن آلی خاک را در مقایسه با بوم‌سازگان‌های جنگلی نسوخته افزایش دادند. با این حال، آثار آتش بر روی ذخایر کربن خاک به طور گسترده‌ای بین عوامل محیطی و مدت زمان متفاوت است و توسط عواملی مانند گونه‌های درختی، نوع آتش و لایه خاک تعدیل می‌شود. Mataix-Solera و همکاران [۹] مشاهده کردند که آتش‌سوزی جنگل‌ها با دمای بیش از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد منجر به تخریب آب‌گریزی خاک، با تأثیر قابل توجهی بر چرخه آب خاک و ویژگی‌های فرسایش می‌شود. در مجموع، آتش‌سوزی بر pH، محتوای مواد آلی، در دسترس بودن مواد مغذی، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت، چگالی ظاهری، پایداری سنگدانه‌ها، دفع آب و جامعه میکروبی در خاک تأثیر می‌گذارد و تعادل هیدرولوژیکی را تغییر می‌دهد.

اثر آتش‌سوزی در شاخص‌های کیفیت خاک تا حد زیادی به شدت و فراوانی آنها بستگی دارد. آتش‌سوزی شدید که با سرعت آهسته حرکت می‌کند منجر به آسیب بیشتر به خاک نسبت به آتش‌سوزی سریع می‌شود. علاوه بر این، دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر ممکن است در سطوح خاک با بارهای ماده سوختنی خشک و سنگین حاصل شود و ممکن است آثار مخربی بر خواص خاک داشته باشد [۱۰]. برخی از مواد مغذی نیز نسبت به سایرین در برابر آتش آسیب‌پذیرتر هستند. به عنوان مثال، سطوح پتاسیم، کلسیم و منیزیم ممکن است در اثر آتش افزایش یابد یا تحت تأثیر قرار نگیرد، در حالی که گوگرد و نیتروژن معمولاً کاهش می‌یابد. دما به طور خاص تبخیر مواد مغذی در خاک را تنظیم می‌کند. در مواد آلی، نیتروژن در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد شروع به تبخیر

می‌کند، در حالی که کلسیم برای تبخیر شدن به ۱۴۸۴ درجه سانتی‌گراد دما نیاز دارد [۱۱]. آتش‌سوزی‌های با شدت زیاد همچنین می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی خاک را تغییر داده و آن را در برابر کاهش مواد مغذی در اثر فرسایش آسیب‌پذیرتر کنند.

۲- مفاهیم آتش‌سوزی جنگل و سوزاندن تجویزی

در دهه‌های گذشته آتش‌سوزی‌های بزرگی رخ داده است. به‌عنوان مثال، بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۷ در کانادا، سالانه حدود ۵/۶ میلیون هکتار از پوشش گیاهی ناشی از ۸۰۰۰ حادثه آتش‌سوزی جنگل تخریب شده است [۱۲]. پیش‌بینی‌های فعلی تغییر اقلیم همراه با خشکسالی‌های مکرر و طولانی‌تر، وقوع آتش‌سوزی‌های جنگل را در بسیاری از بوم‌سازگان‌ها تشدید می‌کند [۱۳]. اگرچه آتش‌سوزی‌های جنگلی یک پدیده طبیعی هستند، آتش‌سوزی‌های شدید می‌توانند پیامدهای اکولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی عمیقی را به همراه داشته باشند [۱۴]. آتش‌سوزی جنگل یک آشفتگی بزرگ است که بر بوم‌سازگان‌های جنگلی تأثیر می‌گذارد. آتش ابزار اصلی برای پاکسازی جنگل بوده و منجر به افزایش ناپایداری شیب و رویدادهای فرسایش بزرگ خاک شده است [۱۵]. تأثیر آن بر ویژگی‌های خاک ناشی از شدت، فراوانی و مدت آن است. شدت آتش، که به گرمای خروجی در سطح سوخته شده در واحد زمان مربوط می‌شود، می‌تواند به صورت شدت کم ($100 <$ درجه سانتی‌گراد)، شدت متوسط (تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد) و شدت زیاد ($350 >$ درجه سانتی‌گراد) طبقه‌بندی شود [۱۳]. با این حال، شدت آتش‌سوزی‌ها تا حد زیادی به بار ماده سوختنی موجود در بوم‌سازگان، نوع خاک و محتوای رطوبت و شدت آتش بستگی دارد. در برخی مطالعات پیشین، آثار شدت آتش‌سوزی‌های جنگل بر ویژگی‌های خاک گزارش شده است [۱۶، ۵]. به‌عنوان مثال، در مطالعات Liu و همکاران [۱۷] و Hosseini و همکاران [۱۸] افزایش مواد مغذی خاک به دنبال آتش‌سوزی با شدت کم در پوشش گیاهی علفزار مشاهده شده است. با این حال، آتش‌سوزی‌های جنگل با شدت متوسط تا شدید عموماً با کاهش خواص فیزیکی و زیستی خاک همراه بوده است. به عنوان مثال، Downing و همکاران [۱۹] آثار منفی آتش بر محتوای آب، دفع آب، چگالی ظاهری و سنگدانه‌های پایدار را گزارش کردند. در حالی که Fernández-García و همکاران [۲۰] کاهش زیست‌توده میکروبی و فرآیندهای آنزیمی ناشی از آتش‌سوزی‌های جنگل را گزارش کردند. بنابراین، ارزیابی تأثیر آتش‌سوزی حیاتی است زیرا منجر به تغییرات در خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌شود. به‌طور کلی، در مقایسه با آتش‌سوزی‌های با شدت کم، آتش‌سوزی‌های شدید با احتراق کامل مواد آلی، آثار منفی و شدیدی بر محیط‌زیست مناطق مستعد آتش ایجاد می‌کنند.

برخلاف آتش‌سوزی جنگل، آتش‌سوزی تجویزی یا سوزاندن تجویزی، آتش‌سوزی کنترل شده و عمدی با شدت کم هستند که برای دستیابی به اهداف مدیریتی خاص زمین استفاده می‌شوند [۲۱]. آتش به عنوان یک ابزار علمی برای مدیریت بار ماده سوختنی مناطق جنگلی برای جلوگیری یا کاهش آتش‌سوزی احتمالی استفاده می‌شود. ضمن حذف انباشت بارهای ماده سوختنی زیاد، سوزاندن تجویزی همچنین برای احیای گونه‌های خاص [۲۲]، برای پاکسازی زمین در کشاورزی [۲۳] و به عنوان یک ابزار توسط آتش‌نشانان استفاده می‌شود. علاوه بر این، سوزاندن تجویزی ویژگی‌های خاک و فرآیندهای اکولوژیکی را تعدیل می‌کند، بیماری‌های جنگل و آفات حشرات را کنترل می‌کند و بر تنوع زیستی گیاهی و جانوری در بوم‌سازگان تأثیر می‌گذارد [۲۴]. به دلیل شدت کم سوزاندن تجویزی، آثار آن‌ها بر خواص خاک عموماً مثبت است [۲۵]. Akburak و همکاران [۷] افزایش کاتیون‌های پایه را پس از سوزاندن تجویزی گزارش کردند که ناشی از تجمع خاکستر در سطح خاک بود. به همین ترتیب، Muqaddas و همکاران [۲۶]

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

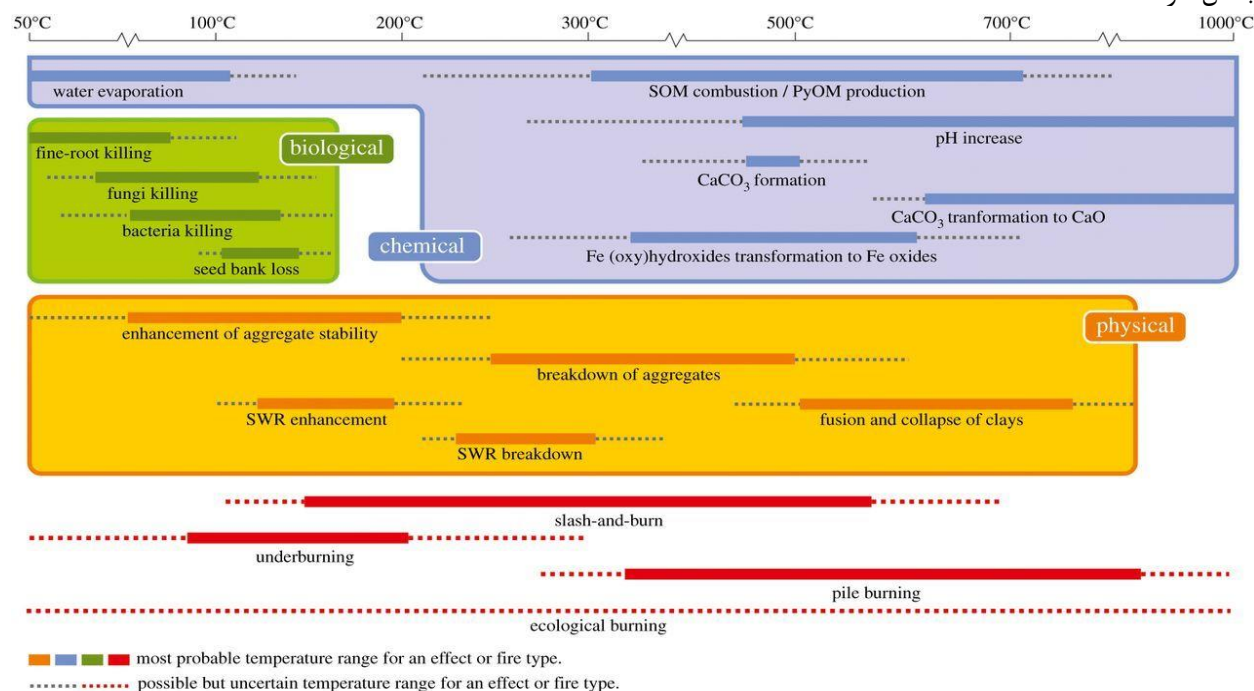
استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

گزارش کردند که pH خاک در نواحی سوخته شده به دنبال آتش سوزی تجویزی افزایش یافته است. علاوه بر این، رسانایی الکتریکی خاک در نواحی سوخته شده پس از آتش سوزی تجویزی با شدت کم به دلیل آزاد شدن یون‌های معدنی محلول و ایجاد کربن سیاه افزایش یافت [۲۷]. با وجود مزایای سوزاندن تجویزی، اگر دما فراتر از آستانه مجاز برای آتش سوزی با شدت کم افزایش یابد، کاربرد آن می‌تواند برای بوم‌سازگان خاک مضر باشد.

۳- آثار آتش سوزی بر مشخصات خاک

آتش سوزی جنگل‌ها به طور قابل توجهی بر مشخصات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیر می‌گذارد که این آثار بسیار پیچیده است (شکل ۱). آتش بر روی مواد آلی خاک، عناصر ماکرو و ریز مغذی، خواص فیزیکی خاک مانند بافت، رنگ، pH، چگالی ظاهری و همچنین بیوتای خاک تأثیر می‌گذارد. تأثیر آتش بر خاک جنگل به عوامل مختلفی از جمله شدت آتش، بار ماده سوختنی و رطوبت خاک بستگی دارد. آتش بسته به شدت و فاصله بازگشت آتش برای خاک جنگل مفید و همچنین مضر است. در آتش سوزی با شدت کم، احتراق بستر و مواد آلی خاک باعث افزایش مواد مغذی در دسترس گیاه می‌شود که منجر به رشد سریع گیاهان علفی و افزایش قابل توجه ذخیره سازی عناصر غذایی گیاه می‌شود. در حالی که آتش سوزی شدید می‌تواند منجر به از بین رفتن کامل مواد آلی خاک، تبخیر نیتروژن، پتاسیم، سدیم و کلسیم، مرگ میکروب‌ها و غیره شود. آتش سوزی جنگل‌ها نیز تأثیر طولانی مدتی بر خاک جنگل دارد.



شکل (۱) - آثار دامنه‌های دمایی آتش سوزی بر مشخصات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در نزدیکی سطح خاک معدنی. مقیاس دما غیر خطی است. SOM: مواد آلی خاک. PyOM: مواد آلی پیروژنیک. SWR: دفع آب خاک [۱۵].

۳-۱- آثار آتش‌سوزی بر مشخصات شیمیایی خاک

کربن آلی خاک

کربن آلی خاک (^{1}SOC) به دلیل ارتباط آن با کیفیت خاک یکی از فاکتورهای مورد مطالعه بیشتر خاک در پی آتش‌سوزی است. با این حال، تغییرات در SOC متغیر است و به مدت زمان آتش، زیست توده موجود، و میزان رطوبت آن، و نوع و شدت آتش بستگی دارد. چنین تغییراتی منجر به از دست دادن تقریباً کل مواد آلی خاک، زغال سنگ، تقطیر کمی از ترکیبات جزئی و یا افزایش محتوای SOC به حدود ۳۰ درصد می‌شود [۲۴]. در آتش‌سوزی تجویزی از دست دادن SOC از حدود ۲۰۰-۲۵۰ درجه سانتی‌گراد شروع می‌شود، در حالی که احتراق کامل آن در حدود ۴۶۰-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد است [۲۸]. مطالعه Akburak و همکاران [۷] هیچ تغییری در SOC پس از آتش‌سوزی نشان نداد، در حالی که مطالعات Liu و همکاران [۱۷] و Moya و همکاران [۲۹] تغییراتی را در SOC به دنبال آتش‌سوزی گزارش کرده است.

pH خاک

در طول آتش‌سوزی جنگل، تلفات در زیست‌توده و لایه‌های آلی رخ می‌دهد و در نتیجه خاکستر غنی از مواد مغذی به سطح خاک اضافه می‌شود. این باعث افزایش pH می‌شود و به طور قابل توجهی بر مشخصات شیمیایی و زیستی خاک تأثیر می‌گذارد. pH بالاتر در خاک‌هایی با شدت سوختگی بیشتر (درجه حرارت > 450 درجه سانتی‌گراد) یافت می‌شود [۳۰]. چندین محقق افزایش pH پس از آتش‌سوزی را ثبت کرده‌اند [۷ و ۳۱]. افزایش قابل توجه pH خاک، به ویژه پس از آتش‌سوزی شدید، ممکن است به دلیل افزودن خاکستر غنی از مواد مغذی (کاتیون‌های پایه) پس از سوختن مواد آلی و دنا توره شدن (دگرگون ساختن خواص فیزیکی و فیزیولوژیکی مواد) گروه‌های آلی از مواد آلی باشد. با این حال، افزایش pH ممکن است به pH اولیه، محتوای مواد مغذی و مقدار خاکستر رسوب شده بستگی داشته باشد. در مقابل، تحقیقات دیگر گزارش کردند که pH پس از آتش‌سوزی بدون تغییر باقی مانده است [۱۹]. این می‌تواند با شرایط محیطی پس از آتش‌سوزی به عنوان مثال، فرسایش و آتش‌سوزی‌های کم تا متوسط مرتبط باشد.

نیتروژن

نیتروژن به عنوان محدود کننده ترین ماده مغذی در بوم‌سازگان‌های زراعی و جنگلی ذکر شده است [۳۲]. آتش‌سوزی منجر به کاهش نیتروژن از طریق تبخیر می‌شود که زمانی رخ می‌دهد که دمای خاک از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد فراتر رود. علاوه بر تبخیر، از دست دادن نیتروژن به دنبال آتش‌سوزی ممکن است در نتیجه فرسایش و شستشو باشد. با این حال، آثار آتش‌سوزی جنگل در خاک با نتایج متناقضی هنوز قابل درک نیست. به عنوان مثال، در مطالعه Muqaddas و همکاران [۲۶] آتش‌سوزی جنگل‌ها به طور قابل توجهی کل نیتروژن را در خاک سطحی کاهش داد. این یافته در مطالعه Certini و همکاران [۱۰] نیز به طور مشابه بدست آمد. در مقابل بر اساس گزارش‌های Hosseini و همکاران [۱۸] و Liu و همکاران [۱۷] افزایش کل نیتروژن در افق A به دنبال

¹ Soil Organic Carbon

آتش‌سوزی گزارش شده است. افزایش نیتروژن کل به دلیل افزودن خاکستر غنی از نیتروژن، به ویژه پس از آتش‌سوزی با شدت کم، و نرخ بالاتر کانی‌سازی بستر آلی است که مقدار بیشتری از نیتروژن را آزاد می‌کند. با این حال، مطالعات دیگر Moya و همکاران [۲۹] هیچ تفاوتی در محتوای کل نیتروژن پس از آتش‌سوزی نشان نداد.

در دسترس بودن مواد مغذی

افزایش قابل توجه در دسترس بودن مواد مغذی به دنبال آتش‌سوزی جنگل با رسوب خاکستر و احتراق مواد آلی مرتبط است. تجزیه مواد آلی در دسترس بودن و توزیع مواد مغذی موجود در رسوبات خاکستر را تغییر می‌دهد [۲۴]. مهم‌تر از همه، غلظت کاتیون‌های قابل تعویض (Ca^{2+} , K^{+} , Mg^{2+} و Na^{+})، فسفر، و نیتروژن معدنی (NH_4^{+} و NO_3^{-}) با افزایش شدت آتش افزایش می‌یابد [۳۳]. با این حال، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر در مقایسه با NH_4^{+} و NO_3^{-} کمتر فرار هستند [۳۴].

۳-۲- آثار آتش‌سوزی بر مشخصات فیزیکی خاک

بافت خاک

خواص فیزیکی خاک (بافت، چگالی ظاهری، تخلخل، پایداری سنگدانه‌ها و محتوای آب و آب‌گریزی) تا حد زیادی بر رشد گیاه و ویژگی‌های شیمیایی خاک تأثیر می‌گذارد. بافت خاک که نشان دهنده توزیع اندازه ذرات در خاک است، سهم نسبی عناصر معدنی کمتر از ۲ میلی‌متر خاک معدنی است. بافت به راحتی تحت تأثیر آتش‌سوزی جنگل قرار نمی‌گیرد زیرا شن، سیلت و خاک رس آستانه دمای بالایی را نشان می‌دهند [۳۱]. آستانه دما برای خاک رس (۸۰۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) کمتر از ماسه و سیلت (۱۴۱۴ درجه سانتی‌گراد) است. از این رو ذرات رس از نظر بافت بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. Heydari و همکاران [۳۵] کاهش در ذرات خاک رس را در عمق ۲ تا ۵ سانتی‌متری خاک، با افزایش در ذرات سیلت پس از آتش‌سوزی ثبت کردند. علیرغم کاهش ذرات رس به نفع سیلت و ماسه، تقریباً همه محققان تغییری در بافت خاک گزارش نکردند. با این حال، افزایش ذرات ماسه و سیلت پس از آتش به دلیل فروپاشی و تخریب متعاقب آن ساختار شبکه رسی است. بنابراین، فروپاشی ذرات رس منجر به تجمع ذرات ریزتر برای تشکیل ذرات شن و سیلت بزرگتر یا درشت‌تر می‌شود.

تراکم توده خاک

آتش‌سوزی جنگل بر تراکم توده خاک تأثیر منفی می‌گذارد و تأثیر آن بر تخلخل خاک است [۳۵]. با این حال، نتایج متضادی در اغلب مطالعات وجود دارد. در مطالعه دیگر تراکم توده خاک پس از آتش‌سوزی کمتر شده است [۱۹]. در حالی که برخی دیگر هیچ اثر قابل توجهی بر تراکم توده خاک پیدا نکردند [۳۶]. Verma و همکاران [۳۷] افزایش قابل توجه تراکم توده خاک در خاک سوخته را مشاهده کردند. بر اساس این مطالعات، افزایش تراکم توده خاک پس از آتش‌سوزی در نتیجه فروپاشی تجمع خاک و تخریب مواد آلی خاک است. همچنین، تخریب ساختار و منافذ، همراه با کاهش مواد آلی، تراکم توده خاک را افزایش می‌دهد. علاوه

بر این، تخریب تجمع خاک و کاهش مواد آلی و همچنین مسدود شدن فضاهای منافذ توسط خاکستر و ذرات رس پراکنده در طول آتش سوزی جنگل منجر به افزایش تراکم توده خاک می‌شود. تراکم توده خاک با تخلخل خاک نسبت معکوس دارد، بنابراین افزایش در تراکم توده خاک منجر به کاهش تخلخل می‌شود.

پایداری خاکدانه

دمای خاک بین ۳۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد با تبدیل حرارتی اکسیدها که به اتصال ذرات رس برای تشکیل ذرات سیلت قوی کمک می‌کند، تأثیر مثبتی بر پایداری خاکدانه دارد. هم‌چنین مواد آلی در خاک با عمل به عنوان عامل سیمانی با ذرات خاک، عملکردهای مشابهی دارند. با این حال، افزایش دمای خاک از ۲۰۰ به ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد منجر به اکسیداسیون کامل مواد آلی می‌شود. این منجر به تخریب ساختار خاک از طریق تفکیک و تجزیه منافذ درشت خاک می‌شود [۲۴]. با این حال، مانند سایر پارامترهای بررسی شده، در منابع تحقیقاتی پیشین از تأثیر آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه‌ها، یافته‌های ناسازگاری وجود دارد. در برخی از آنها هیچ تغییر قابل توجهی در پایداری خاکدانه‌ها در هنگام وقوع آتش‌سوزی با شدت کم یافت نشد [۳۸]. در مطالعات دیگر، افزایش پایداری سنگدانه‌ها را در خاک‌های سوخته به دنبال آتش‌سوزی با شدت کم مشاهده شد [۳۹]. افزایش پایداری سنگدانه‌ها با توسعه یک اجتماع معدنی آلی ناشی از ترکیب مواد آلی و مواد معدنی خاک برای تشکیل یک لایه آبگریز بر روی سنگدانه‌ها مرتبط است. این افزایش در پایداری خاکدانه‌ها اهمیت ماده آلی را به عنوان عامل سیمان زنی برجسته می‌کند. در مقابل، در برخی گزارش‌ها کاهش پایداری سنگدانه‌ها در خاک در پی آتش‌سوزی‌ها مشاهده شد [۴۰]. کاهش پایداری خاکدانه‌ها با شدت سوختگی، نوع خاک و نوع و مقدار عامل سیمان‌کننده مرتبط است. با این حال، کاهش پایداری سنگدانه بیشتر با تجزیه یا تخریب مواد آلی به عنوان عامل سیمانی مرتبط است. بنابراین، تحقیقات بیشتر در مورد پایداری خاکدانه‌ها پس از آتش‌سوزی برای گسترش دانش ما در مورد پایداری خاکدانه‌ها که تحت تأثیر شدت سوختگی، نوع خاک یا عامل سیمانی درگیر است، مورد نیاز است.

آبگریزی خاک

آبگریزی خاک یک ویژگی فیزیکی مهم خاک است و تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرد. این ویژگی، نفوذ آب را کاهش می‌دهد و رواناب را با افزایش فرسایش خاک افزایش می‌دهد. آبگریزی خاک را می‌توان با آتش‌سوزی جنگل ایجاد، افزایش یا کاهش داد. مطالعات Weninger و همکاران [۴۱] نشان داد که آبگریزی خاک پس از آتش‌سوزی افزایش یافته است. افزایش آبگریزی خاک به دلیل لایه آبگریز تشکیل شده بر روی ذرات معدنی در طی احتراق مواد آلی است. در طول آتش‌سوزی، ترکیبات آبگریز در خاک به سمت پایین حرکت می‌کنند و روی ذرات خنک تر متراکم می‌شوند و یک پوشش آبگریز تشکیل می‌دهند. با این حال، Varela و همکاران [۴۰] کاهش آبگریزی خاک را به دنبال آتش‌سوزی جنگل گزارش کرد. آبگریزی کمتر خاک در خاک‌های سطحی ناشی از موارد زیر است: (۱) بافت خاک - دفع آب در خاک‌های ریزبافت بیشتر از خاک‌های درشت بافت کاهش می‌یابد. (۲) مواد آلی همراه با رطوبت - مواد آلی کم و محتوای آب زیاد، دفع آب خاک را پس از آتش‌سوزی افزایش می‌دهد. (۳) عمق پروفیل خاک - پروفیل‌های عمیق‌تر به دلیل متراکم شدن پوشش آلی آبگریز روی ذرات معدنی سردتر، آب‌گریزی را افزایش می‌دهند و (۴) دمای

سطح - دمای بالای سطح در حین سوختن، آبریزی خاک را به طور کامل از بین می برد. فرآیندهای نفوذ و فرسایش ارتباط نزدیکی با آبریزی خاک دارند، به طوری که آبریزی با کاهش نفوذپذیری آب، جریان زمینی را افزایش می دهد.

۳-۳- آثار آتش سوزی بر مشخصات زیستی خاک

گرم شدن خاک ناشی از آتش سوزی جنگل یا سوزاندن تجویزی باعث نوسانات در خواص زیستی خاک (میکرو ارگانیسم‌ها، فعالیت‌ها و جوامع زیستی، بی مهرگان خاک) می شود. آتش با از بین بردن مستقیم یا دلتوره کردن موجودات زنده خاک از طریق احتراق یا به طور غیرمستقیم توسط بازیابی گیاه پس از آتش سوزی یا تغییرات در مواد آلی خاک بر خواص زیستی تأثیر می گذارد [۱۶]. بر اساس نتایج این مطالعه، دمای مورد نیاز برای از بین بردن بیشتر مواد زیستی خاک از ۵۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد است. این دما منجر به از بین رفتن ریشه‌های ریز، باکتری‌ها، قارچ‌ها و دانه‌ها در خاک می شود. Fernández-García و همکاران [۲۰] گزارش دادند که بیشترین کربن زیست توده میکروبی در خاک نسوخته نسبت به خاک سوخته پس از آتش سوزی جنگلی بود. این تغییر می تواند به دلیل از بین رفتن زیست توده میکروبی توسط آتش، کاهش در دسترس بودن مواد مغذی و انتشار ترکیباتی باشد که رشد قارچ را محدود می کند با این حال، برخی از محققان افزایش زیست توده میکروبی در خاک‌های سوخته را پس از آتش سوزی گزارش کردند که ممکن است به دلیل افزودن خاکستر معدنی و فراوانی کربن ناپایدار باشد [۴۲]. در گزارش Erkovan و همکاران [۴۳] آتش باعث تغییر در جامعه میکروبی از جامعه غالب قارچی به جامعه باکتریایی شد. تغییرات در جوامع میکروبی می تواند به دلیل افزایش pH و در دسترس بودن مواد مغذی (کاتیون‌های پایه) به دنبال آتش سوزی باشد.

علاوه بر اصلاحات جامعه میکروبی، آتش بر فعالیت‌های آنزیمی در خاک‌های سوخته تأثیر می گذارد. برای مثال، Moya و همکاران [۲۹] و Fultz و همکاران [۴۲] کاهش فعالیت β -گلوکوزیداز را در خاک‌های جنگلی سوخته گزارش کرد که با کاهش بروز آتش سوزی و فراوانی مواد مغذی ناشی از رسوبات خاکستر مرتبط بود. آنها کاهش اسید فسفاتاز را پس از آتش سوزی جنگل نیز مشاهده کردند و این می تواند به دلیل آسیب یا کاهش فعالیت زیست توده میکروبی باشد. کاهش اسید فسفاتاز همچنین می تواند به دلیل افزایش فسفر قابل دسترس اضافه شده به خاک پس از آتش سوزی باشد که فعالیت اسید فسفاتاز را کاهش می دهد.

۴- نتیجه گیری

آثار آتش سوزی جنگل‌ها بر مشخصات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تا حد زیادی به شدت آتش و مدت سوختن بستگی دارد. آتش منجر به سوختن کامل یا جزئی مواد آلی و رسوب خاکستر در سطح خاک می شود. بنابراین، اختلاط خاکستر و مواد آلی نیمه سوخته در خاک به طور قابل توجهی مشخصات شیمیایی خاک را تغییر می دهد که این آثار آتش بسیار متغیر است. آتش سوزی‌هایی با شدت کم منجر به تغییر کمی یا افزایش مواد مغذی موجود و pH به دلیل رسوب خاکستر می شوند. آتش سوزی شدید باعث کاهش مواد آلی خاک و نیتروژن کل به دلیل تلفات ناشی از احتراق و تبخیر می شود. بنابراین، تثبیت مکان‌های سوخته

برای افزایش محتوای مواد مغذی ناشی از رسوب خاکستر و کانی‌سازی و تا حد زیادی جلوگیری از آتش‌سوزی‌های شدید جنگل‌ها و تلفات تبخیر ضروری است. از سوی دیگر، آثار آتش‌سوزی جنگل‌ها بر مشخصات فیزیکی و زیستی خاک به طور کلی منفی است. خاک‌های آب‌گریز ایجاد شده یا افزایش یافته پس از آتش‌سوزی، نفوذپذیری آب را کاهش می‌دهند و منجر به رواناب اضافی و افزایش خطر فرسایش می‌شوند. میکروبیوتاهای خاک به تغییرات محیطی بسیار حساس هستند و در دمای بالای ۱۲۰ درجه سانتیگراد خاک کاملاً از بین می‌روند. گرمایش جهانی کنونی، دمای بالاتر و خشکسالی شدید خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. در نتیجه، استفاده از سوزاندن تجویزی با شدت کم به عنوان یک ابزار مدیریتی برای کاهش بار ماده سوختنی در مناطق جنگلی برای کاهش وقوع آتش‌سوزی‌های جنگل بسیار توصیه می‌شود. به همین ترتیب، مدیریت جامع خاک و جنگل برای احیای بوم‌سازگان‌های خاک آسیب دیده در اثر آتش‌سوزی مورد نیاز است. همچنین انجام تحقیقات بیشتر برای درک بهتر پویایی آتش‌سوزی‌های جنگلی بر روی مشخصات خاک در بوم‌سازگان‌های مختلف بسیار مهم است.

مراجع

- [1] Telo da Gama, J. The Role of Soils in Sustainability, Climate Change, and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. *Ecologies* 4 (3): 552-567, 2023
- [2] Wu, T. Protection Properties and Functional Diversity of Forest Soil. *J For Res.* 12: 441, 2023.
- [3] Alao, J.S. & Shuaibu, R.B. Soil degradation: causes effects and the way forward for sustainable forest production. Conference: 34th Annual Conference of Forestry Association of Nigeria (FAN) At: Osogbo, Osun State, Nigeria. 5-10 December 2011. Edited by Labode Paola, Kayode Ogunsanwo, Felix Iduma, 2, 8-11, 2021.
- [4] Yadav, I.C., & Devi, N.L. Biomass Burning, Regional Air Quality, and Climate Change. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. *Encyclopedia of Environmental Health* (Second Edition), 386-391, 2019.
- [5] Agbeshie AA, Abugre S., Atta-Darkwa, T., & Awuah, R. A review of the effects of forest fire on soil properties. *J. For. Res.* 33, 1419-1441, 2022.
- [6] Sjöström J., & Granström A. Human activity and demographics drive the fire regime in a highly developed European boreal region. *Fire Safety Journal*, 136, 103743, 2023.
- [7] Akburak, S, Son, Y, Makineci, E, & Çakir, M. Impacts of lowintensity prescribed fire on microbial and chemical soil properties in a Quercus frainetto forest. *J for Res* 29(3):687-696, 2018.
- [8] Cheng, Y., Li, P., Xu, G., Wang, X., Li, Z., Cheng, S., Huang, M. Effects of dynamic factors of erosion on soil nitrogen and phosphorus loss under freeze-thaw conditions. *Geoderma* 390:114972, 2021.

- [9] Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., Zavala, L.M. Fire effects on soil aggregation: a review. *Earth Sci Rev*, 109(1–2):44–60, 2011.
- [10] Certini, G., Nocentini, C., Knicker, H., Arfaioli, P., Rumpel, C. Wildfire effects on soil organic matter quantity and quality in two fire-prone Mediterranean pine forests. *Geoderma* 167:148–155, 2011.
- [11] Johnston, M.D., Barati, M. Calcium and titanium as impurity getter metals in purification of silicon. *Sep Purif Technol* 107:129–134, 2013.
- [12] Tymstra, C., Stocks, B.J., Cai, X., Flannigan, M.D. Wildfire management in Canada: review—challenges and opportunities. *Prog Disaster Sci* 5:100045, 2020.
- [13] Caon, L., Vallejo, V.R., Ritsema, C.J., Geissen, V. Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. *Earth-Sci Rev*, 139:47–58, 2014.
- [14] Sakellariou, S., Sfougaris, A., Christopoulou, O., Tampekis, S. Integrated wildfire risk assessment of natural and anthropogenic ecosystems based on simulation modeling and remotely sensed data fusion. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 78, 103129, 2022.
- [15] Santín, C., & Doerr, S.H. Fire effects on soils: the human dimension. *Philos Trans R Soc B* 371(1696): 20150171, 2016.
- [16] Ibáñez, T.S., Wardle, D.A., Gundale, M.J., Nilsson, M.C. Effects of soil abiotic and biotic factors on tree seedling regeneration following a Boreal forest wildfire. *Ecosystems*, 1–17, 2021.
- [17] Liu, J., Qiu, L., Wang, X., Wei, X., Gao, H., Zhang, Y., & Cheng, J. Effects of wildfire and topography on soil nutrients in a semiarid restored grassland. *Plant Soil* 428(1):123–136, 2018.
- [18] Hosseini, M., Geissen, V., González-Pelayo, O., Serpa, D., Machado, A.I., Ritsema, C., & Keizer, J.J. Effects of fire occurrence and recurrence on nitrogen and phosphorus losses by overland flow in maritime pine plantations in north-central Portugal. *Geoderma*, 289, 97–106, 2017.
- [19] Downing, T.A., Imo, M., Kimanzi, J., Otinga, A.N. Effects of wildland fire on the tropical alpine moorlands of Mount Kenya. *CATENA*, 149, 300–308, 2017.
- [20] Fernández-García, V., Miesel, J., Baeza, M.J., Marcos, E., Calvo, L. Wildfire effects on soil properties in fire-prone pine ecosystems: Indicators of burn severity legacy over the medium term after fire. *Appl Soil Ecol*, 135, 147–156, 2019.
- [21] Hiers, J.K., O'Brien, J.J., Varner, J.M., Butler, B.W., Dickinson, M., Furman, J., Gallagher, M., Godwin D, Goodrick SL, Hood SM, Hudak A. Prescribed fire science: the case for a refined research agenda. *Fire Ecol* 16(1), 1–15, 2020.

- [22] Kemp, K.B., Higuera, P.E., Morgan, P. Fire legacies impact conifer regeneration across environmental gradients in the US northern Rockies. *Landsc Ecol*, 31(3), 619–636, 2016.
- [23] Dicen, G.P., Rallos, R.V., Labides, J.L., Navarrete, I.A. Vulnerability of soil organic matter to microbial decomposition as a consequence of burning. *Biogeochemistry* 150(2), 123–137, 2020.
- [24] Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., Úbeda, X. Effects of prescribed fires on soil properties: a review. *Sci Total Environ* 613, 944–957, 2018.
- [25] Dems, C.L., Taylor, A.H., Smithwick, E.A., Kreye, J.K., Kaye, M.W. Prescribed fire alters structure and composition of a mid-Atlantic oak forest up to eight years after burning. *Fire Ecol* 17(1), 1–13, 2021.
- [26] Muqaddas, B., Zhou, X., Lewis, T., Wild, C., Chen, C. Long-term frequent prescribed fire decreases surface soil carbon and nitrogen pools in a wet sclerophyll forest of Southeast Queensland, Australia. *Sci Total Environ* 536, 39–47, 2015.
- [27] Francos, M., Stefanuto, E.B., Úbeda, X., Pereira, P. Long-term impact of prescribed fire on soil chemical properties in a wildland-urban interface. Northeastern Iberian Peninsula. *Sci Total Environ*, 689, 305–311, 2019.
- [28] Badía, D., Martí, C., Aguirre, A.J., Aznar, J.M., González-Pérez J.A., De la Rosa J.M., León, J., Ibarra, P., Echeverría, T. Wildfire effects on nutrients and organic carbon of a Rendzic Phaeozem in NE Spain: Changes at cm-scale topsoil. *Catena*, 113, 267-275, 2014.
- [29] Moya, D., González-De Vega, S., Lozano, E., García-Orenes, F., MataixSolera, J., Lucas-Borja, M.E., de Las, H.J. The burn severity and plant recovery relationship affect the biological and chemical soil properties of *Pinus halepensis* Mill. stands in the short and mid-terms after wildfire. *J Environ Manage*, 235, 250–256, 2019.
- [30] Knicker, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry*, 85(1), 91–118, 2007.
- [31] Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., Farguell, J., Úbeda, X. Longterm dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain). *Sci Total Environ* 572, 1329–1335, 2016.
- [32] Agbeshie, A.A., Logah, V., Opoku, A., Tuffour, H.O., Abubakari, A., Quansah, C. Mineral nitrogen dynamics in compacted soil under organic amendment. *Sci Afr* 9, e00488, 2020.
- [33] Chungu, D., Ng'andwe, P., Mubanga, H., Chileshe, F. Fire alters the availability of soil nutrients and accelerates growth of *Eucalyptus grandis* in Zambia. *J for Res* 31(5), 1637–1645, 2020.

- [34] James, J.A., Kern, C.C., Miesel, J.R. Legacy effects of prescribed fire season and frequency on soil properties in a *Pinus resinosa* forest in northern Minnesota. *For Ecol Manage*, 415, 47–57, 2018.
- [35] Heydari, M., Rostamy, A., Najafi, F., Dey, D.C. Effect of fire severity on physical and biochemical soil properties in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests in Iran. *J for Res* 28(1), 95–104, 2017.
- [36] Meira-Castro, A., Shakesby, R.A., Espinha Marques, J. et al. Effects of prescribed fire on surface soil in a *Pinus pinaster* plantation, northern Portugal. *Environ Earth Sci* 73, 3011–3018, 2015.
- [37] Verma, S., Singh, D., Singh, A.K., Jayakumar, S. Post-fire soil nutrient dynamics in a tropical dry deciduous forest of Western Ghats. *India for Ecosyst*, 6(1), 1–9, 2019.
- [38] Scharenbroch, B.C., Nix, B., Jacobs, K.A., Bowles, M.L. Two decades of low-severity prescribed fire increases soil nutrient availability in a Midwestern, USA oak (*Quercus*) forest. *Geoderma*, 183, 80–91, 2012.
- [39] Granged, A.J., Zavala, L.M., Jordán, A., Bárcenas-Moreno, G. Postfire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: a 3-year study. *Geoderma*, 164(1–2), 85–94, 2011.
- [40] Varela, M.E., Benito, E., Keizer, J.J. Influence of wildfire severity on soil physical degradation in two pine forest stands of NW Spain. *CATENA*, 133, 342–348, 2015.
- [41] Weninger, T., Filipović, V., Mešić, M., Clothier, B., Filipović, L. Estimating the extent of fire induced soil water repellency in Mediterranean environment. *Geoderma*, 338, 187–196, 2019.
- [42] Fultz, L.M., Moore-Kucera, J., Dathe, J., Davinic, M., Perry, G., Wester, D., Schwilk, D.W., Rideout-Hanzak, S. Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: two case studies in the semi-arid Southwest. *Appl Soil Ecol* 99, 118–128, 2016.
- [43] Erkovan, Ş., Koc, A., Güllap, M.K., Erkovan, H.I., Bilen, S. The effect of fire on the vegetation and soil properties of ungrazed shortgrasssteppe rangeland of the Eastern Anatolia region of Turkey. *Turk J Agric for* 40(2), 290–299, 2016.



The effects of fire on soil characteristics of ecosystems: a review study

Negin Solatni¹ and Roghayeh Jahdi^{2*}

1- MSc student, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

2- Associate Professor of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* Corresponding author's E-mail: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

Abstract

In this research, a review of the effects of wildfires and prescribed burning on the physical, chemical, and biological characteristics of forest soils is done, and a summary of the current knowledge related to the advantages and disadvantages of these fires is provided. A low-intensity fire with ash deposition on the soil surface causes changes in the chemical properties of the soil, including an increase in pH and available nutrients. Nevertheless, severe fires with complete combustion of organic materials lead to severe negative effects such as evaporation of nutrients, loss of stability of soil grains, increase in apparent density of soil, and increase in hydrophobicity of soil particles, which results in a reduction of water penetration with increased erosion and destruction of soil living organisms. The high heat of the soil caused by these fires is harmful to soil ecosystems, especially its physical and biological properties. Considering the effects of uncontrolled fires, the use of prescribed burning as a management tool to reduce the fuel load is highly recommended due to its low intensity and limited soil heating.

Key words: Fire intensity, Prescribed burning, Soil nutrients, Wildfire