

کیفیت شیمیایی خاکستر لاشریزه ناشی از آتش سوزی کف جنگل برودار (*Quercus brantii* Lindl.) در منطقه دره‌وران مریوان

وحید حسینی^{۱*}، کیومرث محمدی سمانی^۲ و لیلا مراد میروانی^۳

*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. پست الکترونیک: v.hosseini@uok.ac.ir

۲- استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۶

چکیده

آتش منجر به تجمع خاکستر در خاک سطحی می‌شود که می‌تواند اثرات عمیقی بر چرخه بیوشیمیایی عناصر در بوم‌سازگان برجای بگذارد. هدف این پژوهش، بررسی برخی ویژگی‌های شیمیایی خاکستر لاشریزه درختی و پوشش علفی حاصل از آتش‌سوزی در کف جنگل و تعیین روند تغییرات این ویژگی‌ها از زیر تاج درختان برودار (*Quercus brantii* Lindl.) به سمت خارج تاج بود. برای این منظور، بلافاصله پس از رخداد آتش در تابستان سال ۱۳۹۵ در منطقه دره‌وران شهرستان مریوان، از خاکستر به‌جای‌مانده نمونه‌برداری شد. خط‌نمونه‌ای به طول ۳۰۰ متر در روی خط تراز پیاده شد و در هر ۳۰ متر، نزدیک‌ترین درخت برودار انتخاب شد. در مورد هر درخت انتخابی، سه نمونه خاکستر به‌ترتیب در فاصله ۱/۵ متری از تنه، مرز تاج و پنج متری تاج (در جایی که بین درختان قرار می‌گرفت) برداشت و پس از انتقال به آزمایشگاه، ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله از تنه درخت، مقدار کربن، نیتروژن و فسفر خاکستر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کلسیم و منیزیم خاکستر با حرکت به سمت فضای بین درختان، کاهش معنی‌دار داشتند، اما پتاسیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. هدایت الکتریکی و اسیدیته خاکستر نیز از سمت تنه به خارج تاج درختان کاهش پیدا کرد. به‌طور کلی، می‌توان گفت که به‌دلیل تفاوت در مقدار بقایای گیاهی تجمع‌یافته، با حرکت از تنه درخت به سمت فضای بین درختان، شدت آتش رخ داده کمتر شده و در نتیجه اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های خاکستر به‌جای گذاشته است.

واژه‌های کلیدی: آتش، استان کردستان، جنگل‌های زاگرس شمالی، کلسیم، منیزیم.

مقدمه

آتش‌سوزی می‌شوند (Giglio et al., 2010). علاوه بر پوشش گیاهی، خاک نیز از آتش تأثیر می‌پذیرد. حرارت و خاکستر حاصل از آتش، عوامل اصلی هستند که می‌توانند باعث ایجاد تغییراتی در خاک شوند. به‌دنبال آتش‌سوزی، لایه‌ای از خاکستر حاصل از بقایای گیاهی، سطح خاک را می‌پوشاند. ضخامت لایه خاکستر به‌طور معمول از کمتر از یک تا ۱۰

آتش‌سوزی پوشش‌های گیاهی از دوره سیلورین (۴۲۰ میلیون سال پیش)، با گسترش گیاهان آوندی اولیه در سطح زمین، فرآیند طبیعی مهمی بوده است (Scott & Glasspool, 2006; Scott et al., 2014). در سال‌های اخیر، هر ساله حدود ۳۳۰ تا ۴۳۰ میلیون هکتار از اراضی سطح زمین دچار

علمی در مورد خاکستر به آتش‌سوزی‌های کنترل‌شده برمی‌گردد (Alexis *et al.*, 2010; Stoof *et al.*, 2012)، زیرا فرصت برای نصب ابزارها و نمونه‌برداری پیش و پس از آتش‌سوزی کنترل‌شده وجود دارد. همچنین، به‌طور روزافزونی از مطالعات آزمایشگاهی برای جمع‌آوری اطلاعات در مورد ویژگی‌های خاکستر در شرایط کنترل‌شده استفاده می‌شود (Raison *et al.*, 1985; Úbeda *et al.*, 2009; Bodi *et al.*, 2011; Gabet & Bookter, 2011). در پژوهشی، Liodakis و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی خاکستر حاصل از سوختن بقایای برخی گونه‌های غالب در جنگل‌های یونان به این نتیجه رسیدند که مقدار کلسیم و منیزیم با افزایش درجه حرارت در خاکستر افزایش یافت. Nocentini و همکاران (۲۰۱۰) با ارزیابی اندازه ذرات خاکستر حاصل از آتش‌سوزی در ایتالیا گزارش کردند که خاکستر حاصل از سوختن چوب و پوست کاج نسبت به سرو، اندازه بزرگ‌تری داشت. Pereira و همکاران (۲۰۱۴) با استخراج عناصر در خاکستر بقایای کاج دریایی پس از آتش‌سوزی و مقایسه آن با لاشبرگ نسوخته منطقه مجاور دریافتند که عصاره‌های خاکستر، بیشترین مقدار اسیدیته و هدایت الکتریکی را داشتند. Campos و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات غلظت عناصر کمیاب در خاک و خاکستر در جنگل‌های دست کاشت کاج و اکالیپتوس پرتغال را طی ۱/۵ سال پس از آتش‌سوزی بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که بیشترین غلظت عناصر کمیاب بلافاصله پس از آتش‌سوزی بود که در طی چهار ماه بعدی به‌شدت کاهش یافت.

جنگل‌ها و مراتع ایران، اقلیم و پوشش گیاهی متفاوتی دارند که هر ساله منجر به آتش‌سوزی‌های متفاوتی از نظر طول مدت و شدت می‌شوند و سبب بروز خسارت‌های فراوانی شده‌اند (Nazari *et al.*, 2012). در جنگل‌های مریوان، فراوانی آتش‌سوزی، زیاد است و بر اساس آمارهای اداره منابع طبیعی استان کردستان، از عوامل اصلی تخریب جنگل محسوب می‌شود (Hosseini & Hosseini, 2014). از جمله دلایل رخ دادن آتش‌سوزی می‌توان به رویش بیشتر از حد پوشش کف به دلیل بارش زیاد بهاره و خشکی فصل تابستان اشاره کرد (Hemmatboland, 2008). خاکستر و

سانتی‌متر می‌تواند متغیر باشد (Goforth *et al.*, 2005; Woods & Balfour, 2008). خاکستر حاوی اطلاعات ارزشمندی درباره اثرات آتش‌سوزی بر محیط است. به‌عنوان مثال، رنگ خاکستر اطلاعاتی در مورد شدت آتش‌سوزی ارائه می‌دهد، به این صورت که رنگ سیاه بیانگر شدت کم تا متوسط است، اما خاکسترهای به رنگ خاکستری تا سفید نشان‌دهنده آتش‌سوزی‌های با شدت زیاد هستند. حضور لایه خاکستر در محل آتش‌سوزی اغلب بسیار کوتاه‌مدت است. این لایه توسط باران و یا باد جابجا می‌شود و مواد محلول و ذرات آن وارد خاک می‌شوند. به این ترتیب، حضور خاکستر در خاک سطحی در مدت کوتاهی پس از آتش‌سوزی می‌تواند بسیار مهم باشد، چرا که خاکستر منبع بسیار مهمی از عناصر غذایی برای خاک است (Soto & Diaz-Fierros, 1993; Khanna *et al.*, 1994). از میان این عناصر می‌توان به کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر اشاره کرد (Gabet & Bookter, 2011). نوع گونه‌های گیاهی دچار آتش‌سوزی‌شده، بخش‌های مختلف سوخته‌شده از گیاهان همانند برگ، پوست، سرشاخه‌ها و لاشبرگ، درجه حرارت و مدت آتش‌سوزی از عواملی هستند که بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکستر ایجادشده اثرگذار هستند (Pereira *et al.*, 2014). خاکستر حاصل از آتش‌سوزی با شدت - درجه حرارت کم تا متوسط به دلیل سوختن ناقص مواد آلی، به‌طور عمومی از ترکیبات آلی تشکیل شده است (Santin *et al.*, 2012)، در حالی که خاکستر حاصل از آتش‌سوزی با شدت - درجه حرارت زیاد به دلیل حرارت شدید، از کربنات‌های کلسیم شکل گرفته است (Ulery *et al.*, 1993).

خاکستر از دیدگاه‌های مختلفی همانند خاک، پوشش گیاهی، زغال و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی به‌تنهایی بررسی شده است، اما تا دهه اخیر، در مطالعات انجام‌شده در دنیا در مورد اثر آتش‌سوزی بر بوم‌سازگان، کمتر به خاکستر پرداخته شده است. علت این امر، پراکنش و جابجایی خیلی سریع آن از محل آتش‌سوزی توسط آب و باد است (Pereira *et al.*, 2014). دلیل دیگر برای اندک بودن پژوهش‌ها، نیاز به مطالعات بین رشته‌ای برای خاکستر بوده است. بسیاری از یافته‌های

ویژگی‌های آن می‌تواند بیانگر شدت آتش‌سوزی و به‌دنبال آن بازگوکننده اثرات آن بر محیط و به‌ویژه خاک باشد (DeBano & Conrad, 1978). با توجه به باقی ماندن خاکستر حاصل از آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگلی و تأثیر آن بر خاک و نیز عدم وجود پژوهشی در رابطه با ویژگی‌های خاکستر و اثرات حاصل از آن در مناطق جنگلی ایران، هدف از انجام پژوهش پیش‌رو، بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاکستر حاصل از آتش‌سوزی بقایای گیاهی و تفاوت این ویژگی‌ها در زیر و خارج تاج درختان برودار (*Quercus brantii* Lindl.) با توجه به اثر مقدار تجمع بقایای گیاهی بر شدت آتش بود. نتایج این پژوهش می‌تواند بیانگر تغییرات ویژگی‌های خاکستر در شرایط مختلف آتش‌سوزی، از نظر دوری و نزدیکی به تنه درختان در جنگل‌های زاگرس باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، جنگل‌های روستای دره‌وران در ۱۵ کیلومتری شمال شهر مریوان در استان کردستان بود. این منطقه در عرض جغرافیایی $35^{\circ} 38' 30''$ تا $41^{\circ} 43' 35''$ شمالی و طول جغرافیایی $46^{\circ} 07' 41''$ تا $46^{\circ} 09' 39''$ شرقی واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ برابر با $772/5$ میلی‌متر است. اغلب بارندگی در فصل زمستان (به‌صورت برف) و بهار رخ می‌دهد. بر اساس آمار سال ۱۳۹۵ سازمان هواشناسی کشور مربوط به شهرستان مریوان، حداکثر درجه حرارت در گرم‌ترین ماه سال، ۴۰ و حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال، $22/3-$ درجه سانتیگراد گزارش شده است. رطوبت نسبی هوا در تیرماه به $29/5$ درصد و حداکثر آن در بهمن‌ماه به ۸۰ درصد می‌رسد. پوشش درختی غالب منطقه از سه گونه برودار، مازودار (*Q. infectoria* Oliv.) و ویول (*Q. libani* Oliv.) تشکیل شده است. همچنین، گونه‌های بنه، بادام تلخ، گلابی وحشی، کیکم، زالزالک، آلبالو وحشی و سماق به‌صورت گونه

همراه وجود دارند.

روش پژوهش

در تیرماه ۱۳۹۵، آتش‌سوزی در جنگل‌های منطقه مورد مطالعه رخ داد، به‌طوری‌که گستره قابل توجهی در آتش سوخت. به‌منظور انجام این پژوهش، بلافاصله پس از آتش‌سوزی، نمونه‌برداری انجام شد. Pourreza و همکاران (۲۰۱۴) آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس را بر اساس شدت و دوری و نزدیکی به تنه درختان به سه دسته تقسیم کردند: آتش‌سوزی‌های با شدت کم (بین درختان)، آتش‌سوزی با شدت متوسط (زیر تاج پوشش) و شدید (نزدیک تنه). با توجه به اینکه برداشت‌های میدانی در این پژوهش در سه بخش بین درختان، زیر تاج و نزدیک تنه (کمتر از $1/5$ متر) انجام شد، از این رو شدت آتش‌سوزی در محدوده برداشت در سه سطح کم، متوسط و زیاد بود. نمونه‌برداری به این ترتیب بود که نقطه‌ای به‌صورت تصادفی انتخاب شد و از آن نقطه، خط‌نمونه‌ای به طول ۳۰۰ متر بر روی خطوط تراز در دامنه‌ای با شیب ۲۵ درصد و جهت یکسان پیاده شد. به فاصله هر ۳۰ متر نقطه‌ای انتخاب شد و نزدیک‌ترین درخت برودار (در بالا یا پایین خط‌نمونه) به آن نقطه انتخاب شد. سه نمونه خاکستر در فاصله $1/5$ متری از تنه، مرز تاج و پنج متری تاج (فضای بین درختان) برداشت شد. این نمونه‌برداری در مورد ۱۰ درخت انجام شد و برای هر تیمار ۱۰ نمونه و در مجموع ۳۰ نمونه خاکستر از سطح خاک به‌مقدار حدود ۳۰۰ گرم با استفاده از بیلچه برداشت شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه برای جدا کردن مواد دیگر از خاکستر، الک شدند. کربن آلی به‌روش والکل-بلک، نیتروژن کل به‌روش کج‌لدال با استفاده از دستگاه اتوکجالتیک و فسفر به‌روش عصاره‌گیری توسط اسیدنیتریک و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شدند (Jafari Haghighi, 2003). همچنین، pH و EC به‌روش پتانسیومتری (Úbeda et al., 2009)، کلسیم و منیزیم و پتاسیم به‌روش عصاره‌گیری با اسیدهیدروکلریک و با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (Soto & Diaz-

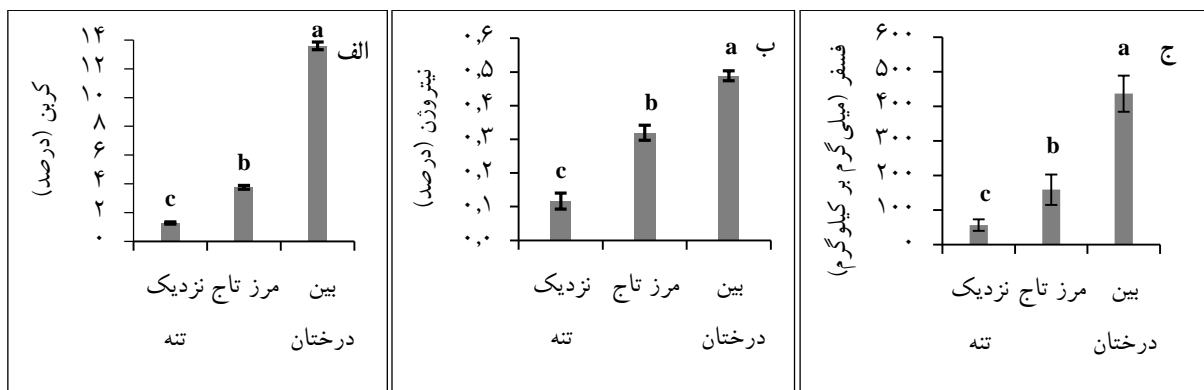
(Fierros, 1993). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، پس از تست نرمال بودن داده‌ها و آزمون همگنی واریانس‌ها، از تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و از آزمون مقایسه میانگین دانکن برای مقایسه و گروه‌بندی داده‌ها استفاده شد.

نتایج

کربن، نیتروژن و فسفر

نتایج این پژوهش نشان داد که با فاصله از تنه درخت، بر مقدار کربن، نیتروژن و فسفر باقیمانده در خاکستر بقایای گیاهی افزوده شد، به این ترتیب که کربن از ۱/۲۸ درصد در نزدیکی تنه درختان به ۳/۷۵ درصد در مرز تاج و به ۱۳/۵۹ درصد در فضای باز بین درختان افزایش یافت (شکل ۱- الف). روندی مشابه با کربن برای نیتروژن موجود

در خاکستر به دست آمد، به طوری که نیتروژن از ۰/۱۲ درصد در کنار تنه درخت به ۰/۳۲ درصد در مرز تاج و به ۰/۴۹ درصد در فضای بین درختان افزایش یافت (شکل ۱- ب). تغییرات فسفر موجود در خاکستر بقایای گیاهی نیز از روند دو عنصر پیشین پیروی کرد. مقدار فسفر از ۵۶/۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در کنار تنه درخت به ۱۵۹/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در مرز تاج و به ۴۳۷/۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در فضای بین درختان افزایش یافت (شکل ۱- ج). تفاوت بین میانگین کربن، نیتروژن و فسفر در خاکستر حاصل از بقایای گیاهی در این سه موقعیت معنی‌دار ($p < 0.05$) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که موقعیت مکانی خاکستر حاصل از سوختن بقایای گیاهی بر مقدار کربن، نیتروژن و فسفر موجود در خاکستر، اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین کربن، نیتروژن و فسفر خاکستر حاصل از سوختن بقایای گیاهی در سه موقعیت مورد مطالعه در درختان برودار

جدول ۱- تجزیه واریانس عامل‌های مورد مطالعه در خاکستر حاصل از آتش‌سوزی در سه تیمار نزدیک تنه، مرز تاج و خارج از تاج

درختان برودار

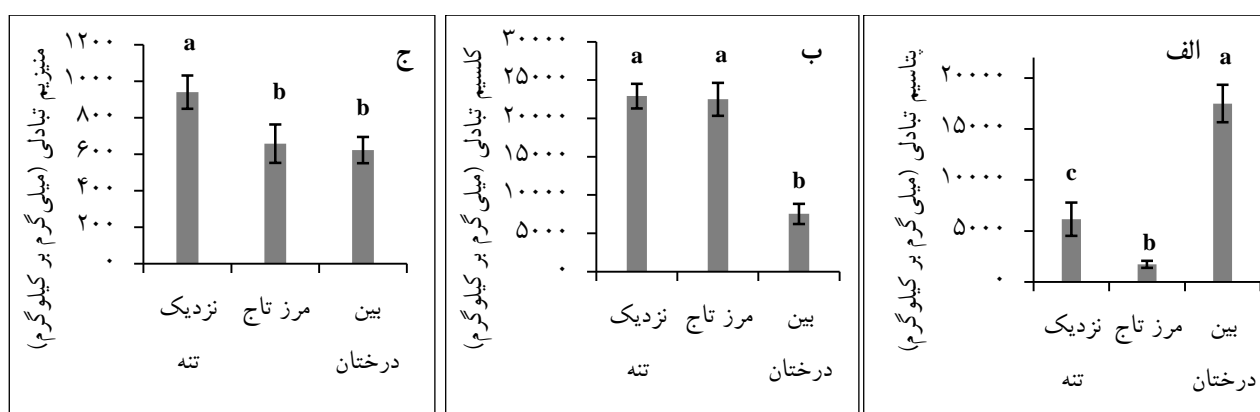
متغیر	اسیدیته	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	کلسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	منیزیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)
میانگین مربعات	۱۳/۶۴	۴۴۶۵۱/۱۵	۴۲۴/۳۲	۰/۳۴۸	۳۵۳۴۱۸/۴	۶۶۲۴۰۰۰۰۰	۷۶۷۹۰۰۰۰۰	۲۶۳۴۳۰/۹۵
F	۱۲۱/۶۸*	۱۲/۰۸*	۱۳۰۶/۶۱*	۸۲/۸۹*	۹۰/۲۴*	۲۰۳/۷۰*	۲۵۸/۰۷*	۱۲/۷۳*

* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد

پتاسیم، کلسیم و منیزیم

شد، اما در فضای بین درختان به ۷۵۳۱/۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش یافت (شکل ۲-ب). تغییرات در مقدار منیزیم موجود در خاکستر بقایای گیاهی بدین‌شکل بود که از ۹۳۹/۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در کنار تنه درخت به ۶۲۲/۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در فضای بین درختان کاهش یافت. اختلاف بین منیزیم موجود در خاکستر بین موقعیت مرز تاج درختان با فضای باز بین درختان معنی‌دار نبود، در حالی‌که مقدار منیزیم موجود در خاکستر نزدیک تنه درختان با دو موقعیت دیگر اختلاف معنی‌داری را نشان داد (شکل ۲-ج). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که موقعیت مکانی خاکستر حاصل از سوختن بقایای گیاهی بر مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم موجود در خاکستر، اثر معنی‌دار داشت (جدول ۱).

بر اساس نتایج، با فاصله از تنه درخت از مقدار پتاسیم در خاکستر بقایای گیاهی کاسته شد، به این ترتیب که از ۶۱۵۴/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در نزدیکی تنه درختان به ۱۷۳۰/۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در مرز تاج رسید و در فضای باز بین درختان به ۱۷۴۷۹/۴۹ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت. تفاوت بین میانگین پتاسیم در خاکستر حاصل از بقایای گیاهی در این سه موقعیت معنی‌دار ($p < 0/05$) بود (شکل ۲-الف). مقدار کلسیم خاکستر در نزدیک تنه درختان و مرز تاج تفاوت معنی‌داری نشان نداد، اما در فضای بین درختان نسبت به دو تیمار دیگر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مقدار کلسیم در کنار تنه درخت ۲۲۹۱۶/۹۵ و در مرز تاج ۲۲۴۹۴/۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری



شکل ۲- مقایسه میانگین پتاسیم، منیزیم و کلسیم خاکستر حاصل از سوختن بقایای گیاهی در سه موقعیت مورد مطالعه در درختان برودار

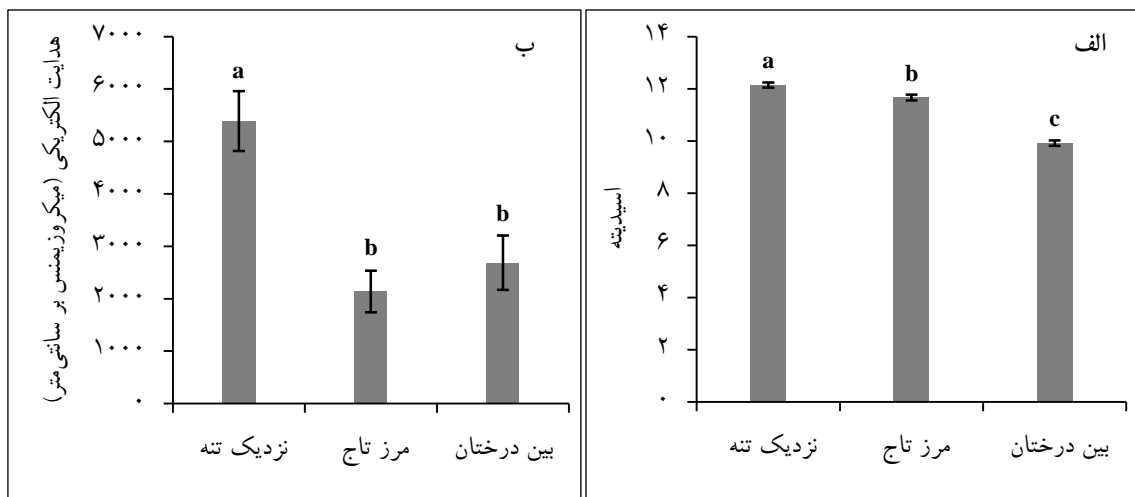
اسیدیته و هدایت الکتریکی

یافته‌های این پژوهش نشان داد که با فاصله از تنه درخت مقدار اسیدیته خاکستر کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن ۱۲/۱۴ در نزدیکی تنه درخت و کمترین مقدار آن ۹/۹۲ در فضای باز بین درختان اندازه‌گیری شد. در مرز تاج درختان مقدار آن ۱۱/۶۶ به‌دست آمد. تفاوت بین میانگین اسیدیته در خاکستر حاصل از بقایای گیاهی در این سه موقعیت معنی‌دار ($p < 0/05$) بود (شکل ۳-الف).

بیشترین مقدار هدایت الکتریکی (۵۳۸۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در نزدیک تنه درختان و کمترین مقدار آن (۲۱۳۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در مرز تاج درختان به‌دست آمد. در فضای بین درختان مقدار هدایت الکتریکی ۲۶۸۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. اختلاف بین هدایت الکتریکی خاکستر موقعیت مرز تاج درختان با فضای باز بین درختان معنی‌دار نبود، اما مقدار هدایت الکتریکی خاکستر نزدیک تنه درختان با دو موقعیت دیگر،

سوختن بقایای گیاهی بر اسیدیته و هدایت الکتریکی موجود در خاکستر، اثر معنی داری داشت (جدول ۱).

اختلاف معنی داری را نشان داد (شکل ۳-ب). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که موقعیت مکانی خاکستر حاصل از



شکل ۳- مقایسه میانگین اسیدیته و هدایت الکتریکی خاکستر حاصل از سوختن بقایای گیاهی در سه موقعیت مورد مطالعه در درختان پرودار

درختان در نزدیکی تنه درختان و کمتر بودن مقدار کربن موجود در خاکستر این منطقه، می‌توان نتیجه گرفت که شدت آتش با حرکت از سمت تنه درختان به بیرون تاج درختان کاهش یافته بود.

مقدار نیتروژن خاکستر با حرکت از سمت تنه درختان به خارج تاج درختان به طور معنی داری افزایش یافت. همانند کربن، نیتروژن به درجه حرارت حاصل از آتش بسیار حساس است و در دمای حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد شروع به تبخیر شدن می‌کند (Yusiharni & Gilkes, 2012). مقدار نیتروژن باقیمانده در خاکستر نیز می‌تواند شاخص خوبی برای برآورد شدت آتش باشد و از دست رفتن آن در طی آتش سوزی متناسب با مقدار ماده آلی سوخته شده است (DeBano & Conrad, 1978; Neary et al., 2005; Gray & Dighton, 2006; Murphy et al., 2006; Qian et al., 2009). مقدار نیتروژن در خاکستر ایجاد شده در دماهای بیشتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد به طور عمومی کم است و دلیل آن تبدیل بیشتر نیتروژن بقایای گیاهی به گازهای

بحث

کربن، نیتروژن و فسفر

بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار کربن در خاکستر موجود در نزدیکی تنه از دو موقعیت دیگر به طور معنی داری کمتر بود. کاهش مقدار کربن در خاکستر بقایای گیاهی به تبدیل مواد آلی به معدنی و دی‌اکسید کربن برمی‌گردد (Yusiharni & Gilkes, 2012). Goforth و همکاران (۲۰۰۵) و Khanna و همکاران (۱۹۹۴) بیان کردند که مقدار کربن با افزایش درجه سوختن کاهش می‌یابد و در خاکستر سیاه، مقادیر بیشتری از کربن نسبت به خاکستر سفید وجود دارد. شدت آتش سوزی بر کربن خاکستر اثر می‌گذارد، به طوری که مقدار کربن باقی مانده در خاکستر با افزایش شدت آتش سوزی کاهش می‌یابد (Murphy et al., 2006). بدین ترتیب، مقدار کربن موجود در خاکستر، شاخص غیرمستقیمی برای برآورد شدت آتش است (Yusiharni & Gilkes, 2012). با توجه به انباشت بیشتر لاشیرگ و مواد قابل اشتعال خشبی شده شامل شاخه و ساقه

(1982). مقدار کلسیم در خاکستر نزدیک تنه و مرز تاج درخت سه برابر مقدار آن در فضای بیرون درختان بود. مقادیر زیاد کربنات کلسیم در خاکستر به دلیل تجزیه حرارتی ترکیبات اکسالات کلسیمی است که به طور طبیعی در اندام گیاهان وجود دارد (Liodakis *et al.*, 2005). مقدار منیزیم در خاکستر مرز تاج درخت و فضای بیرون درختان دوسوم مقدار آن در نزدیک تنه بود. همان طور که نتایج نشان داد، رفتار پتاسیم با کلسیم و منیزیم خاکستر در تیمارهای مختلف، متفاوت بود. رفتار کاتیون های موجود در خاکستر بقایای گیاهی به حلالیت پذیری ترکیبات غالب آن ها شامل اکسیدها، کلریدها و کربنات ها بستگی دارد (Soto & Diaz-Fierros, 1993). اکسیدهای کلسیم و منیزیم، حلالیتی زیاد در آب دارند، اما به سرعت به کربنات های کمتر محلول تبدیل می شوند و به تدریج آزاد می شوند. کربنات ها و کلریدهای پتاسیم، حلالیتی زیاد دارند و بلافاصله شسته می شوند. رفتار کاتیون های تک ظرفیتی همانند پتاسیم با کاتیون های دو ظرفیتی همانند کلسیم و منیزیم در دماهای مختلف متفاوت است (Soto & Diaz-Fierros, 1993).

اسیدیته و هدایت الکتریکی

اسیدیته در هر سه تیمار خاکستر، قلیایی و در دامنه ۹/۹ تا ۱۲/۱ بود. مقادیر زیاد اسیدیته به دلیل حضور کربنات ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای بازی در خاکستر است (Ulery *et al.*, 1993). مقدار هدایت الکتریکی در خاکستر نزدیک تنه دوبرابر مقدار آن در فضای بین درختان بود. انباشت بیشتر مواد قابل اشتعال، منجر به درجه حرارت بیشتر و در نتیجه، تجزیه حرارتی بیشتر بقایای گیاهی در نزدیک تنه درختان شد که اسیدیته و هدایت الکتریکی را افزایش داد. Úbeda و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه اثر درجه حرارت حاصل از آتش سوزی بر ویژگی های خاکستر به این نتیجه رسیدند که با افزایش درجه حرارت، pH و EC خاکستر افزایش می یابد، به طوری که در دماهای بیشتر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد و به دلیل حضور کربنات کلسیم، pH و EC به طور

N_2 و NO_x , NH_4 در طی فرآیند سوختن است (Misra *et al.*, 1993).

مقدار فسفر خاکستر در تیمارهای مختلف نیز از الگوی کربن و نیتروژن پیروی کرد که بیانگر سوختن فسفر آلی، تبخیر آن و باقی ماندن مابقی آن به صورت فسفر معدنی در خاکستر است (Kutiel & Shaviv, 1989; Galang *et al.*, 2010). یک آتش سوزی شدید می تواند به طور مؤثری مقدار فسفر معدنی را در یک بوم سازگان کاهش دهد (Qian *et al.*, 2009). به طور معمول، در دماهای بیشتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد، کاهش فسفر در خاکستر به دلیل سوختن فسفر و تبخیر و تبدیل آن رخ می دهد (Boring *et al.*, 2004). Raison و همکاران (۱۹۸۵) گزارش کردند که گازهای حاصل از سوختن فسفر در بقایای گیاهی موجود در عرصه در شرایط اکسیژن کافی P_4O_{10} و در صورت محدود بودن اکسیژن P_4O_6 بود.

پتاسیم، کلسیم و منیزیم

بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که مقدار پتاسیم خاکستر با فاصله از تنه ابتدا کم شد و سپس در فضای بین درختان به مقدار زیادی افزایش یافت. ترکیبات شیمیایی اصلی خاکستر شامل کلسیم، منیزیم و پتاسیم است (Gabet & Bookter, 2011). pH خاکستر بسیار زیاد است و با افزایش شدت آتش و درجه حرارت مقدار آن افزایش می یابد (Úbeda *et al.*, 2009). Pereira و همکاران (۲۰۱۴) نیز همانند پژوهش پیش رو به زیاد بودن غلظت سه عنصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم در خاکستر حاصل از آتش بقایای گیاهی اشاره کردند. درجه حرارت حاصل از آتش، نکته کلیدی و تعیین کننده در ویژگی های شیمیایی خاکستر است که در گام بعدی می تواند اثراتی بر حاصل خیزی خاک از طریق ورود یون ها به جای بگذارد (Úbeda *et al.*, 2009). پتاسیم از دمای ۷۵۰، منیزیم از دمای ۱۱۰۰ و کلسیم از دمای ۱۲۵۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد در خاکستر بقایای گیاهی تبخیر می شوند (Wright & Bailey,

- Boring, L.R., Hendricks, J.J., Wilson, C.A. and Mitchell, R.J., 2004. Season of burn and nutrient losses in a longleaf pine ecosystem. *International Journal of Wildland Fire*, 13(4): 443-453.
 - Campos, I., Abrantes, N., Keizer, J.J., Vale, C. and Pereira, P., 2016. Major and trace elements in soils and ashes of eucalypt and pine forest plantations in Portugal following a wildfire. *Science of the Total Environment*, 572: 1363-1376.
 - DeBano, L.F. and Conrad, C.E., 1978. The effect of fire on nutrients in a chaparral ecosystem. *Ecology*, 59(3): 489-497.
 - Gabet, E.J. and Bookter, A., 2011. Physical, chemical and hydrological properties of Ponderosa pine ash. *International Journal of Wildland Fire*, 20(3): 443-452.
 - Galang, M.A., Markewitz, D. and Morris, L.A., 2010. Soil phosphorous transformations under forest burning and laboratory heat treatments. *Geoderma*, 155(3-4): 401-408.
 - Giglio, L., Randerson, J.T., van der Werf, G.R., Kasibhatla, P.S., Collatz, G.J., Morton, D.C. and DeFries, R.S., 2010. Assessing variability and long-term trends in burned area by merging multiple satellite fire products. *Biogeosciences*, 7: 1171-1186.
 - Goforth, B.R., Graham, R.C., Hubbert, K.R., Zanner, C.W. and Minnich, R.A., 2005. Spatial distribution and properties of ash and thermally altered soils after high-severity forest fire, southern California. *International Journal of Wildland Fire*, 14(4): 343-354.
 - Gray, D.M. and Dighton, J., 2006. Mineralization of forest litter nutrients by heat and combustion. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(6): 1469-1477.
 - Hemmatboland, I., 2008. Effects of fire on some physical and chemical properties of soil in western forests of Marivan region. M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, 69p (In Persian).
 - Henig-Sever, N., Poliakov D. and Borza M., 2001. A Novel method for estimation of wild fire intensity based on ash pH and soil microarthropod community. *Pedobiologia*, 45(2): 98-106.
 - Hosseini, S.S. and Hosseini, V., 2014. Effect of fire occurrence through the time on changes of K, Mg, Ca and EC of forest soil. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(1): 143-151 (In Persian).
 - Jafari Haghghi, M., 2003. *Methods of Soil Analysis: Sampling and Important Physical & Chemical Analysis with Emphasis on Theoretical & Applied Principles*. Nedaye Zoha, Sari, 240p (In Persian).
 - Khanna, P.K., Raison, R.J. and Falkner, R.A., 1994. Chemical properties of ash derived from *Eucalyptus* معنی‌داری بیشتر از دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد بود. خاکسترهای حاصل از دماهای بیشتر از ۵۰۰ درجه سانتیگراد بیشتر بر اجزاء معدنی خاک اثرگذار هستند و می‌توانند منجر به افزایش اسیدیته خاک بسته به pH اولیه تا سه واحد شوند (Bodi *et al.*, 2014). همکاران و همکاران (۲۰۰۵)، Ulery و همکاران (۲۰۰۹) و Henig-Sever و همکاران (۲۰۰۱) به این نتیجه رسیدند که با افزایش شدت آتش‌سوزی، مقدار pH خاکستر افزایش یافت که با تأثیر بر اسیدیته خاک، می‌تواند پیامدهایی را برای فعالیت میکروبی، نرخ معدنی شدن عناصر و رویش گیاهان داشته باشد (Pereira *et al.*, 2014).
- به‌طور کلی، می‌توان گفت که تفاوت در غلظت عناصر خاکستر در یک منطقه دچار آتش‌سوزی شده به عوامل گوناگونی از جمله شدت آتش و مشخصه‌های محیطی بستگی دارد (Oliveira-Filho *et al.*, 2018) و از محل و موقعیت مکانی قرارگیری آن تأثیر می‌پذیرد. با حرکت از کنار تنه درختان به فضای بین آن‌ها مقدار کربن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاکستر افزایش می‌یابد و از مقدار کلسیم، منیزیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته آن کم می‌شود. به دلیل تفاوت در مقدار بقایای گیاهی تجمع‌یافته و نوع آن‌ها (چوبی شدن ساقه و شاخه درختان)، با حرکت از تنه درخت به سمت فضای بین درختان، شدت آتش رخ داده کمتر شد و در نتیجه اثراتی بر ویژگی‌های خاکستر به‌جای گذاشت.

References

- Alexis, M.A., Rumpel, C., Knicker, H., Leifeld, J., Rasse, D., Péchot, N., Bardoux, G. and Mariotti, A., 2010. Thermal alteration of organic matter during a shrubland fire: a field study. *Organic Geochemistry*, 41(7): 690-697.
- Bodi, M.B., Martin, D.A., Balfour, V.N., Santin, C., Doerr, S.H., Pereira, P., Cerda, A. and Mataix-Solera, J., 2014. Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. *Earth-Science Reviews*, 130: 103-127.
- Bodi, M.B., Mataix-Solera, J., Doerr, S.H. and Cerda, A., 2011. The wettability of ash from burned vegetation and its relationship to Mediterranean plant species type, burn severity and total organic carbon content. *Geoderma*, 160(3-4): 599-607.

- Everglades. *Journal of Environmental Quality*, 38(5): 1812-1820.
- Raison, R.J., Khanna, P.K. and Woods, P.V., 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 15(1): 132-140.
 - Santin, C., Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Bryant, R., Sheridan, G.J., Lane, P.N.J., Smith, H.G. and Bell, T.L., 2012. Carbon loads, forms and sequestration potential within ash deposits produced by wildfire: new insights from the 2009 'Black Saturday' fires, Australia. *European Journal of Forest Research*, 131(4): 1245-1253.
 - Scott, A.C. and Glasspool, I.J., 2006. The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 103(29): 10861-10865.
 - Scott, A.C., Bowman, D.M.J.S., Bond, W.J., Pyne, S.J. and Alexander, M.E., 2014. *Fire on Earth: An Introduction*. First edition, Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, 434p.
 - Soto, B. and Diaz-Fierros, F., 1993. Interactions between plant ash leachates and soil. *International Journal of Wildland Fire*, 3(4): 207-216.
 - Stoof, C.R., Vervoort, R.W., Iwema, J., van den Elsen, E., Ferreira, A.J.D. and Ritsema, C.J., 2012. Hydrological response of a small catchment burned by experimental fire. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(2): 267-285.
 - Úbeda, X., Pereira, P., Outeiro, L. and Martin, D.A., 2009. Effects of fire temperature on the physical and chemical characteristics of the ash from two plots of cork oak (*Quercus suber*). *Land Degradation & Development*, 20(6): 589-608.
 - Ulery, A.L., Graham, R.C. and Amrhein, C., 1993. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Science*, 156(5): 358-364.
 - Woods, S.W. and Balfour, V.N., 2008. The effect of ash on runoff and erosion after a severe forest wildfire, Montana, USA. *International Journal of Wildland Fire*, 17(5): 535-548.
 - Wright, H.A. and Bailey, A.W., 1982. *Fire Ecology: United States and Southern Canada*. John Wiley & Sons, New York, 528p.
 - Yusiharni, E. and Gilkes, R.J., 2012. Changes in the mineralogy and chemistry of a lateritic soil due to a bushfire at Wundowie, Darling Range, Western Australia. *Geoderma*, 191: 140-150.
 - litter and its effects on forest soils. *Forest Ecology and Management*, 66(1-3):107-125.
 - Kutiel, P. and Shaviv, A., 1989. Effect of simulated forest fire on the availability of N and P in mediterranean soils, 120(1): 57-63.
 - Lioudakis, S., Katsigiannis, G. and Kakali, G., 2005. Ash properties of some dominant Greek forest species. *Thermochimica Acta*, 437(1-2): 158-167.
 - Misra, M.K., Ragland, K.W. and Baker, A.J., 1993. Wood ash composition as a function of furnace temperature. *Biomass and Bioenergy*, 4(2): 103-116.
 - Murphy, J.D., Johnson, D.W., Miller, W.W., Walker, R.F., Carroll, E.F. and Blank, R.R., 2006. Wildfire effects on soil nutrients and leaching in a Tahoe Basin watershed. *Journal of Environmental Quality*, 35(2): 479-489.
 - Nazari, F., Hosseini, V. and Shabanian, N., 2012. Effect of fire severity on organic carbon, total nitrogen and available phosphorus of forest soils (Case study: Marivan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(1): 25-37 (In Persian).
 - Neary, D.G., Ryan, K.C. and DeBano, L.F., 2005. *Wildland fire in ecosystems: Effects of fire on soils and water*. General Technical Report RMRS-GTR-42-vol.4., USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, U.T., 250p.
 - Nocentini, C., Certini, G., Knicker, H., Francioso, O. and Rumpel, C., 2010. Nature and reactivity of charcoal produced and added to soil during wildfire are particle-size dependent. *Organic Geochemistry*, 41(7): 682-689.
 - Oliveira-Filho, E.C., Brito, D.Q., Dias, Z.M.B., Guarieiro, M.S., Carvalho, E.L., Fascineli, M.L., Niva, C.C. and Grisolia, C.K., 2018. Effects of ashes from a Brazilian savanna wildfire on water, soil and biota: An ecotoxicological approach. *Science of the Total Environment*, 618: 101-111.
 - Pereira, P., Úbeda, X., Martin, D., Mataix-Solera, J., Cerdà, A. and Burguet, M., 2014. Wildfire effects on extractable elements in ash from a *Pinus pinaster* forest in Portugal. *Hydrological Processes*, 28(11): 3681-3690.
 - 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.
 - Qian, Y., Miao, S.L., Gu, B. and Li, Y.C., 2009. Estimation of postfire nutrient loss in the Florida

Litter ash chemical properties of wildfire in forest floor of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Darehvaran area, Marivan

V. Hosseini^{1*}, K. Mohammadi Samani² and L. Morad Mirvani³

1* - Corresponding author, Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: v.hosseini@uok.ac.ir

2- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3- M.Sc. Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 24.09.2018

Accepted: 07.12.2018

Abstract

Wildfire leads to accumulation of ash in the surface soil, which it can have effect on the biochemical cycle of elements in the ecosystem. The goal of this study was to investigate some ash chemical properties of wildfire in litter of the Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) and vegetation of forest floor and determination gradient from beneath of tree crown to the outside of the tree crown. Ash samples were collected immediately after forest wildfire in the summer 2016 in the Darehvaran area in Marivan. One transect was installed on a contour line with 300 m long on burnt slope. Ten Brant's oak trees were selected at 30 meters intervals. Three samples of ash were collected in each tree. The 3 positions of ash samples including: at a distance of 1.5 meters from the base trunk, tree crown border and five-meters far from tree crown. Chemical properties of ash samples were measured in laboratory. The results showed that the content of C, N and P of ash increased significantly with movement from tree trunk to outside. The content of Ca and Mg of ash decreased significantly by moving from tree trunks toward the spaces between them, but the amount of K increased significantly. The EC and the pH of the ash decreased from the trunk side to the outside of the tree crown. In general, it seems that intensity of the wildfire decreased by moving from the tree trunk to the space between the trees because of the difference in the amount of litter accumulated.

Keywords: Calcium, fire, Kurdistan province, magnesium, Northern Zagros forests.