

مقایسه ویژگی‌های خاکستر حاصل از سوزاندن لاشبرگ و شاخه در گونه‌ی مازودار (*Quercus infectoria* Oliv.)

شیوا سعیدی^۱، وحید حسینی^{۲*} و کیومرث محمدی سمانی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰)

چکیده

خاکستر حاصل از آتش‌سوزی حاوی عناصر غذایی مهمی است که با ایجاد تغییراتی در خاک، نقش مهمی را در جنگل ایفا می‌کند. پژوهش حاضر با هدف بررسی خصوصیات خاکستر حاصل از سوزاندن لاشبرگ و شاخه‌های گونه مازودار، (*Quercus infectoria* Oliv.) انجام گرفت. نمونه‌های لاشبرگ و شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ و ۵-۲ سانتی‌متر، در زیر تاج هشت پایه درخت مازودار در جنگل‌های بخش دزلی شهرستان سروآباد استان کردستان جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد که رنگ خاکستر در لاشبرگ‌ها، خاکستری تیره (5Y2.5/1) و در هر دو تیمار شاخه شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۵-۲ سانتی‌متر، خاکستری روشن (5Y6/1) بود. مقدار پتاسیم، pH و هدایت الکتریکی در خاکستر هر سه تیمار، نسبت به نمونه‌های نسوخته، به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند، در حالی که مقدار کلسیم، کربن آلی و نیتروژن کل در هر سه تیمار، زمانی که سوزانده شدند، کاهش پیدا کردند. همچنین مقدار فسفر در خاکستر لاشبرگ‌ها، نسبت به لاشبرگ‌های نسوخته، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ اما مقدار آن در هر دو تیمار شاخه‌ها، کاهش یافت. به‌طور کلی با وجود همسان بودن الگوی تغییرات متغیرهای مورد بررسی در هر سه تیمار شاخه‌ها طی سوختن اختلاف بیشتری را نسبت به شاهد نشان دادند، به‌طوری که بیانگر شدت بیشتر سوختن در شاخه‌ها نسبت به لاشبرگ‌ها بودند.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، بلوط، خاکستر، زاگرس شمالی، لاشریزه

۱. دانش‌آموخته جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
۲. استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان کردستان و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی دکتر هدایت غضنفری، سنندج، ایران.
۳. استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان، کردستان و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی دکتر هدایت غضنفری، سنندج، ایران.
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: V.Hosseini@uok.ac.ir

مقدمه

آتش‌سوزی به عنوان جزئی از اکوسیستم‌های طبیعی، همواره موجب تغییر در سیمای ظاهری پدیده‌ها گشته است و سالانه سطح زیادی از اکوسیستم‌های جنگلی کره زمین را از بین می‌برد (۳۷). آتش می‌تواند به‌طور مستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و خرد اقلیم و یا به‌طور غیر مستقیم با اثر بر پوشش گیاهی و موجودات خاکزی روی کیفیت رویشگاه اثر گذارد (۱). لاشبرگ و مواد حاصل از درختان و درختچه‌ها (بخش هوایی گیاهان)، بیشترین حساسیت را به سوختن کامل دارند که منبع اصلی خاکستر در جنگل هستند که بر سطح خاک قرار می‌گیرند (۸). شدت آتش‌سوزی و شدت سوختگی حاصل از آن می‌تواند متفاوت باشد که تابع اقلیم، نوع پوشش گیاهی، مواد قابل اشتعال، رطوبت خاک، پستی و بلندی، مدت زمان سوختن و شیب منطقه سوخته شده است (۲۲). خاکستر حاصل از آتش‌سوزی به معنی مواد رسوب‌گذاری شده جامد با اندازه‌های مختلف؛ شامل مواد آلی و مواد معدنی است که ترکیب شیمیایی، رنگ، اندازه ذرات و مقدار کربن آلی آن، با توجه به ویژگی‌های آتش‌سوزی جنگل، متفاوت می‌باشد (۲). خاکستر غالباً از مناطق سوخته شده به وسیله‌ی باران و یا باد پراکنده می‌شود. خاکستر می‌تواند از طریق شستشو از دامنه‌ها یا فرسایش بادی، با تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، تأثیر بر موجودات زنده خاک و جوانه‌زنی و رویش گیاه، اثر خود را اعمال کند (۲۸). خاکستر به‌جا مانده از آتش‌سوزی در جنگل، متشکل از عناصری مانند سیلیس، پتاسیم، کلسیم و تا حدودی منیزیم است (۱۱)؛ که تجمع عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم در خاکستر، pH خاک را در مناطق سوخته شده سریعاً بالا می‌برد (۱۷). کیفیت و مقدار خاکستر، تحت تأثیر شدت آتش تغییر می‌کند (۱۹). همچنین مدت زمان سوختن قسمت‌های مختلف گیاه به صورت جداگانه، متفاوت می‌باشد. به‌طوری که بخش چوبی (شاخه‌ها) به دلیل بالا بودن شدت آتش‌سوزی، بیشتر بودن مدت زمان آتش‌سوزی، متراکم بودن مواد آن و مقدار بیشتر لیگنین، بهتر و بیشتر از لاشبرگ‌ها می‌سوزند. خاکستر

چوب که دارای میزان لیگنین بیشتر و خشبی‌تر است، شامل تمامی اجزای سازنده چوب است. همچنین خاکستر چوب، مقدار کربنات کلسیم خاک را افزایش می‌دهد (۳۳). غلظت ریزمغذی‌ها در خاکستر چوب، بسیار متنوع و مقدار فلزات سنگین آن معمولاً کم است (۳۲). خاکستر گیاه بسیار قلیایی است و دارای تنوع وسیعی از مواد مغذی گیاهی است؛ که مقدار و ترکیب شیمیایی آن به مقدار و ترکیب مواد قابل اشتعال و درجه سوختگی آن‌ها بستگی دارد (۳۶). رنگ و بافت خاکستر یک شاخص برای مقایسه شدت آتش‌سوزی و رفتار عناصر غذایی می‌باشد که خاکستر تولید شده در دماهای پایین‌تر، معمولاً تیره‌تر، درشت‌تر و کمتر متراکم است (۴). اما در آتش‌سوزی‌های با شدت بالا، خاکستر سفید رنگ حاصل می‌شود (۳۴). خاکستر شامل مواد آلی و مواد معدنی است که ترکیب شیمیایی، رنگ، اندازه ذرات و مقدار کربن آلی آن، با توجه به ویژگی‌های آتش‌سوزی جنگل، متفاوت می‌باشد (۳). در بیشتر مطالعات انجام شده با افزایش شدت آتش‌سوزی بسته به نوع گونه‌ها، مقدار نیتروژن و کربن کاهش یافته است؛ در حالیکه عناصری مانند کلسیم، پتاسیم، منیزیم و pH و در برخی از موارد فسفر خاکستر افزایش یافته است. کاهش عناصر غذایی موجود در خاکستریسته به درجه حرارت و طول مدت زمان آتش‌سوزی می‌تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال، کربن و نیتروژن در دماهای پایین بخار می‌شوند (۴۱). در حالیکه تبخیر عناصری مانند پتاسیم، کلسیم و فسفر در دماهای بیشتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد. پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام گرفته است، به طوریکه لوداکیس و همکاران (۲۰۰۵) خاکستر حاصل از سوزاندن بقایای برخی گونه‌های غالب جنگل‌های یونان را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که با افزایش درجه حرارت در خاکستر، مقدار کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد (۱۸). بودی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی انواع خاکستر پرداختند و نتیجه گرفتند که در خاکستر حاصل از آتش‌سوزی جنگل کاج و در خاکستر تولید شده از آتش‌سوزی با شدت کم در جنگل اُکالپتوس خشک، چگالی و اندازه ذرات

الکتریکی، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم با افزایش دما در لاشبرگ‌های حرارت داده شده افزایش پیدا کرد، در حالی که درصد کربن آلی و نیتروژن کل با افزایش دما ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت.

از مناطق حائز اهمیت از لحاظ رُخداد آتش‌سوزی؛ جنگل‌های زاگرس می‌باشد که به دلیل نقش مهم این جنگل‌ها در معیشت جنگل‌نشینان و حفاظت آب و خاک مورد توجه می‌باشد. از عوامل مؤثر بر پراکنش آتش در جنگل‌ها و مراتع کشور ایران می‌توان به شرایط خشک و نیمه خشک، آتش‌سوزی‌های عمدی از گونه‌های غالب برودار (*Quercus brantii* Lindl) و مازودار (*Quercus infectoria* Oliv) (۲۰) اشاره نمود که خطر آتش‌سوزی به‌طور مداوم این جنگل‌ها را تهدید می‌کند. یکی از مهم‌ترین ماده‌ی تولید شده در طی این آتش‌سوزی‌ها خاکستر می‌باشد که تجمع آن بر روی خاک سطحی می‌تواند اثرات عمیقی بر اکوسیستم‌های جنگلی بر جای بگذارد. همچنین درجه حرارت، مدت زمان سوختن و متراکم بودن مواد و مقدار لیگنین از عوامل مؤثر در تفاوت بین خاکستر لاشبرگ و شاخه‌ها می‌باشد. به این ترتیب، با توجه به باقی ماندن خاکستر در عرصه‌های جنگلی و تأثیر آن بر اکوسیستم و نیز عدم وجود پژوهشی در رابطه با ویژگی‌های خاکستر حاصل از بخش‌های مختلف گیاهی در برابر آتش‌سوزی، تحت شرایط کنترل شده و با توجه به شدت آتش‌سوزی و مدت زمان سوختن قسمت‌های مختلف گیاه به صورت جداگانه، در این پژوهش ویژگی‌های خاکستر لاشبرگ و شاخه‌های سوزانده شده در گونه‌ی مازودار تحت شرایط کنترل شده مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

محل جمع‌آوری نمونه‌ها، در جنگل‌های اطراف روستای دزلی در فاصله ۳۳ کیلومتری شهرستان سروآباد در استان کردستان و در محدوده طول جغرافیایی $70^{\circ} 34' 59''$ تا $53^{\circ} 08' 10''$ و

مشابه بود و خاکستر حاصل از آتش‌سوزی کاج، کاتیون، تخلخل و pH بیشتری نسبت به خاکسترهای حاصل از آتش‌سوزی اکالیپتوس داشت (۲). پریرا و همکاران (۲۰۱۴) طی تحقیقی در پرتغال با مقایسه عناصر استخراج شده در خاکستر بقایای کاج دریایی بعد از آتش‌سوزی با لاشبرگ نسوخته منطقه همجوار به این نتیجه رسیدند که هدایت الکتریکی و pH در عصاره‌های خاکستر بالاتر بود (۲۵). وانگ و دیدیاکوا (۲۰۱۴) ویژگی‌های خاکستر حاصل از قسمت‌های مختلف چوب درخت صنوبر را بررسی کردند و دریافتند که مقدار پتاسیم و سدیم در شاخه‌ها و سرشاخه‌ها از چوب تنه و پوست درخت بیشتر بوده و خاکستر شاخه‌ها و سرشاخه‌ها نسبت به خاکستر چوب تنه و پوست در دمای به مقدار ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد کمتر، ذوب می‌شود (۳۸). بودی و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی ترکیب، خواص و اثرات خاکستر بر روی اکوسیستم سوخته شده به این نتیجه رسیدند که در احتراق پایین ($T < 450$) درجه سانتی‌گراد) خاکستر غنی از کربن آلی و در احتراق بالا ($T > 450$) درجه سانتی‌گراد) pH خاکستر در محلول افزایش یافت؛ خاکستر تولید شده در احتراق پایین‌تر معمولاً تیره‌تر، درشت‌تر و کمتر متراکم است و دارای ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع بالاتری است (۴). دیدیاکوا و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی خود در شرق نروژ، اظهار کردند که عناصر سدیم، فسفر و پتاسیم در خاکستر حاصل از شاخه‌های کاج نسبت به خاکستر حاصل از قسمت‌های دیگر کاج بیشتر است؛ همچنین خاکستر بدست آمده از ساقه کاج نسبت به سایر قسمت‌های دیگر بیشتر بوده است (۷). نتایج تحقیق حسینی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد، میزان کربن، نیتروژن و فسفرخاکستر، با افزایش فاصله از تنه درخت افزایش یافت و میزان کلسیم و منیزیم خاکستر با حرکت به سمت فضای بین درختان، کاهش معنی‌دار داشتند (۱۴). همچنین نتایج تحقیقات وکیلی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که رنگ خاکستر در تیمارهای دمایی ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه به ترتیب قهوه‌ای تیره، خاکستری و خاکستری روشن است (۳۶). مقدار pH، هدایت

با توجه به هشت تکرار برای هر گونه، به مقدار ۱۰۰ گرم آسیاب شد و نمونه‌های باقیمانده برای هر تیمار به‌طور مستقیم سوزانده شد. در مجموع ۴۸ نمونه شامل ۲۴ نمونه سوخته و ۲۴ نمونه سوخته تهیه گردید. دمای آتش در حین سوختن، با استفاده از دماسنج مدل UT305C اندازه‌گیری شد. رنگ خاکستر از روش مانسل، pH و هدایت الکتریکی به نسبت ۱:۱۰ در آب مقطر و از روش پتاسیومتری به ترتیب توسط دستگاه‌های pH متر و EC سنح اندازه‌گیری شد (۳۵). مقدار نیتروژن کل از روش کج‌دال و توسط دستگاه اتوکجلیتیک، مقدار کربن آلی از روش والکی و بلاک و مقدار فسفر از روش رنگ‌سنجی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مشخص شد (۱۶). مقادیر کلسیم و پتاسیم نیز از روش رنگ‌سنجی و توسط دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد (۳۱).

روش تحلیل

با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2013 و Sas 9.1، به ترتیب، نمودارها رسم شد و داده‌ها تجزیه و تحلیل شدند. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، و آزمون همگنی واریانس‌ها، تجزیه واریانس یکطرفه (ANOVA) انجام گرفت. در نهایت برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون مقایسه میانگین دانکن استفاده شد.

نتایج

درجه حرارت و رنگ خاکستر

نتایج حاصل از بررسی درجه حرارت با استفاده از دماسنج نشان داد که میانگین دما در لاشبرگ، شاخه با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر سوزانده شده در گونه مازودار به ترتیب ۴۱۴، ۷۰۵ و ۵۹۴ درجه سانتی‌گراد بود. دما در لاشبرگ‌ها کمتر از شاخه‌ها بود و در شاخه‌ها هرچند دماها به هم نزدیک بودند، اما در شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر بیشتر بود. همچنین مدت زمان سوختن لاشبرگ‌ها نسبت به شاخه‌ها کمتر بود و در شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵

عرض جغرافیایی "۳۰' ۱۰" تا "۵۶' ۲۴" ۳۹°، واقع در استان گردستان با مساحت ۱۲۴۹۳/۹۷ هکتار می‌باشد. توپوگرافی منطقه عمدتاً کوهستانی است. از لحاظ آب و هوایی منطقه سروآباد اغلب تحت تأثیر دو جبهه هوایی شامل جریان‌های مدیترانه‌ای و جریان‌های پرفشار سیبری است. میانگین بارندگی سالانه این منطقه ۸۰۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد است. بیشترین بارندگی در اواخر زمستان و اوایل بهار و کمترین بارندگی در فصل تابستان است. به این ترتیب با گرما و خشکی حاکم، بیشترین رخداد آتش‌سوزی از اواخر خردادماه تا اواخر شهریورماه رخ می‌دهد. خاک‌های منطقه، تکامل‌یافته‌ی عمیق تا نیمه عمیق از نوع قهوه‌ای آهکی و خاک‌های جوان از نوع لیتوسول و واریزه‌ای که غالباً سطحی و با عمق کم هستند. فرم رویشی این جنگل‌ها غالباً شاخه‌زاد و ترکیب غالب توده این جنگل، گونه برودار یا بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) و گونه مازودار یا دارمازو (*Quercus infectoria* Oliv.) می‌باشد. به دلیل تنک بودن و داشتن تاج باز در این جنگل‌ها، نوع آتش‌سوزی معمولاً سطحی است، اما ناهمگونی مواد قابل اشتعال در کف جنگل می‌تواند منجر به آتش‌سوزی با شدت‌های متفاوت شود. (۲۷).

روش پژوهش

محل برداشت نمونه‌ها، در جنگل‌های اطراف روستای دزلی در فاصله ۳۳ کیلومتری شهرستان سروآباد بود. پس از بازدید میدانی از منطقه، به منظور جمع‌آوری بقایای گیاهی، ابتدا یک ترانسکت به طول ۲۵۰ متر در یک دامنه، عمود بر جهت شیب و بر روی خطوط تراز در جنگل پیاده شد. با حرکت بر روی خط تراز، در فواصل ۳۰ متری روی ترانسکت، درختان مازودار انتخاب شد و در زیر آن‌ها نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها شامل لاشبرگ، شاخه با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر بود که در زیر تاج هر یک از هشت پایه درخت مازودار و از سطح خاک در تابستان (تیر) ۱۳۹۸، جمع‌آوری شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و از هر تیمار بقایای گیاهی و

سوزانده شدند افزایش یافت، در حالیکه در شاخه‌ها کاهش یافت که این تغییرات از نظر آماری ($p < 0/01$) معنی‌دار بود (شکل ۲- ج). بیشترین میزان درصد کربن آلی مربوط به شاخه‌های ۲ تا ۵ سانتی‌متر نسوخته ۲۹/۷۶ درصد و کمترین میزان آن در لاشبرگ و شاخه‌های کمتر از ۲ سانتی‌متر سوخته شده به ترتیب ۱/۴۲ و ۱/۵۱ درصد دیده شد. بیشترین میزان درصد نیتروژن در لاشبرگ‌های نسوخته ۰/۷۸ درصد و کمترین میزان آن در شاخه‌های کمتر از ۲ سانتی‌متر سوخته بود ۰/۸ درصد بود. بیشترین مقدار فسفر مربوط به لاشبرگ‌های سوخته شده ۳۰۹/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین میزان آن در شاخه‌های کمتر از ۲ سانتی‌متر سوخته ۱۸/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد.

پتاسیم و کلسیم

نتایج آنالیز واریانس یکطرفه نشان داد، سوزاندن بر روی مقدار کلسیم و پتاسیم تیمارهای مختلف اثر معنی‌داری گذاشت (جدول ۲). با توجه به آزمون دانکن، بین میانگین‌های متغیرهای مختلف هنگام سوزاندن تفاوت معنی‌داری وجود داشت. میانگین کلسیم در لاشبرگ‌ها، شاخه‌های کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های ۲ تا ۵ سانتی‌متر سوخته شده نسبت به نسوخته کمتر بود. در واقع در هر سه تیمار میزان کلسیم در گونه مازودار بعد از سوختن، به صورت معنی‌داری ($p < 0/01$) کاهش یافت

(شکل ۳ - الف). در حالیکه میزان پتاسیم در هر سه تیمار، زمانی که سوزانده شدند نسبت به نسوخته به طور معنی‌داری ($p < 0/01$) افزایش یافت (شکل ۳- ب). بیشترین میزان کلسیم مربوط به لاشبرگ‌های نسوخته، ۷۶۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار آن مربوط به شاخه‌های کمتر از ۲ سانتی‌متر سوخته شده، ۵۶۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین مقدار پتاسیم مربوط به شاخه‌های ۲ تا ۵ سانتی‌متر سوخته شده، ۴۹۴/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و کمترین مقدار آن در لاشبرگ‌های نسوخته، ۶۵/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد.

سانتی‌متر بیشترین مدت زمان به ثبت رسید؛ به طوریکه، بیشترین طول زمان آتش‌سوزی در لاشبرگ‌های مازودار، ۹ دقیقه، در شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر، ۱۷ دقیقه و در شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر، ۳۰ دقیقه بود. بیشترین میزان دما در شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و کمترین آن در لاشبرگ‌ها مشاهده شد. روند تغییرات دمای نمونه‌ها تا دقیقه‌ی سه صعودی بود و دما به بیشترین میزان خود رسید و از آن به بعد، دما به طور متوسط کاهش پیدا کرد. همچنین بیشترین میزان دما در گونه‌ی مازودار در دقیقه‌ی دوازدهم، ۷۰۶/۶۵ درجه سانتی‌گراد بود. رنگ مربوط به لاشبرگ‌های نسوخته در گونه‌ی مازودار قهوه‌ای روشن (10YR7/4) و در شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر به ترتیب دارای رنگ قهوه‌ای روشن (10YR7/4) و (10YR5/4) می‌باشند. برای لاشبرگ‌های حرارت داده شده، رنگ خاکستر، خاکستری تیره (5Y2.5/1) بود. در شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر سوخته شده و در نمونه‌های خاکستر مربوط به شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر خاکستری روشن (5Y7/1) و (5Y6/1) (نزدیک به سفید) مشاهده شد. رنگ خاکستر در لاشبرگ و شاخه‌های سوخته شده، با افزایش دما و مدت زمان حرارت شروع به روشن‌تر شدن کرد و در هر تیمار، طیف مشخصی از رنگ خاکستر را ایجاد کرد (شکل ۱).

کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر

نتایج آنالیز واریانس یکطرفه (جدول ۲) نشان داد که سوزاندن بر مقدار کربن آلی، نیتروژن و فسفر لاشبرگ و شاخه‌های با ابعاد مختلف تأثیر گذاشته و از نظر آماری معنی‌دار بوده است. نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌های متغیرهای مختلف نشان داد، به طوری که میانگین درصد کربن آلی و نیتروژن در هر سه تیمار (لاشبرگ، شاخه کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه ۲ تا ۵ سانتی‌متر) زمانی که سوزانده شدند به صورت معنی‌داری ($p < 0/01$) کاهش یافت (شکل ۲- الف و ب). مقدار فسفر در لاشبرگ‌های مازودار هنگامی که



خاکستر لاشبرگ

خاکستر شاخه کمتر از ۲ سانتی متر

خاکستر شاخه ۲ تا ۵ سانتی متر

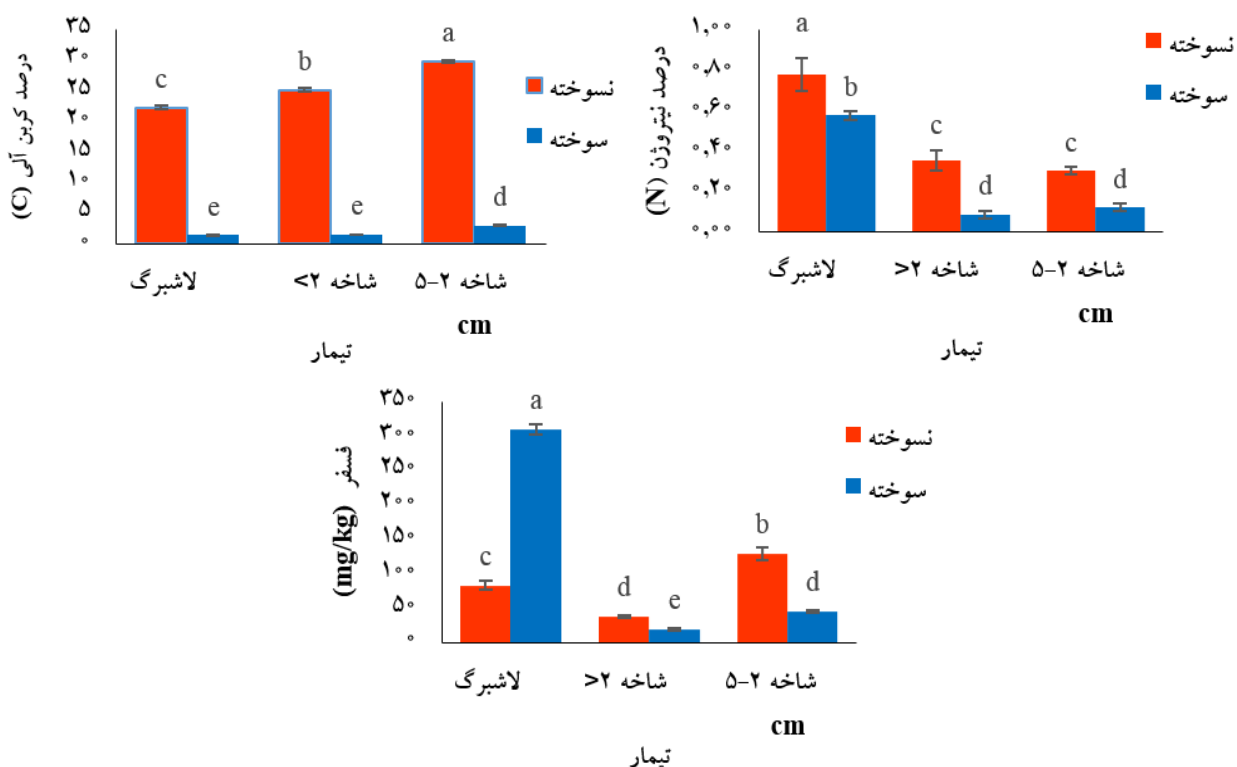
شکل ۱. رنگ خاکستر لاشبرگ و شاخه‌های قطر کمتر از ۲ سانتی متر و ۲ تا ۵ سانتی متر

جدول ۱. رنگ لاشبرگ های نسوخته و حرارت داده شده مازودار

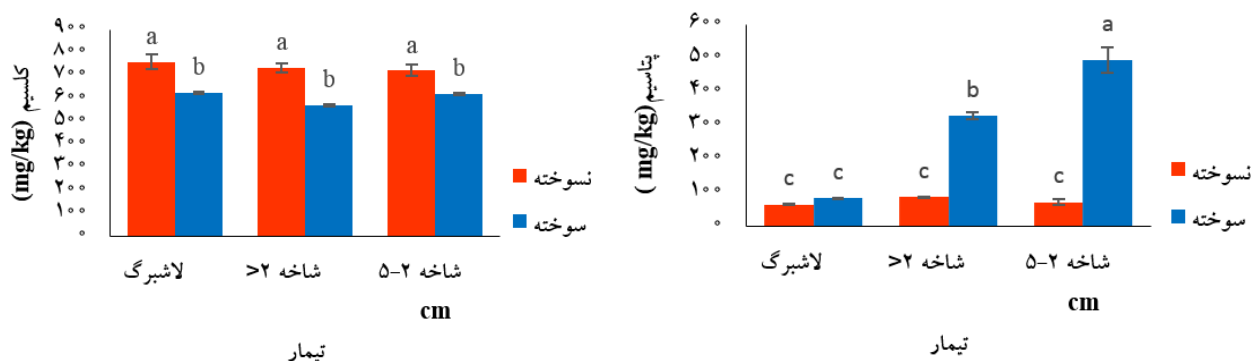
لاشبرگ		شاخه کمتر از ۲ سانتی متر		شاخه ۲ تا ۵ سانتی متر	
نسوخته	سوخته	نسوخته	سوخته	نسوخته	سوخته
10YR7/4	5Y2.5/1	10YR7/4	5Y7/1	10YR5/4	5Y6/1

جدول ۲. تجزیه واریانس عامل‌های (C, N, Ca, K, pH, EC و P) لاشبرگ و شاخه‌های سوخته و نسوخته (معنی‌داری در سطح ۰/۰۱)

منبع تغییرات	میانگین مربعات	درجه آزادی	آماره F	p
کربن (%)				
بین گروهی	۱۳۹۶/۰۱	۵	۴۱۶۵/۰۷	۰/۰۰۰
درون گروهی	۰/۳۴	۴۲		
نیتروژن (%)				
بین گروهی	۰/۵۷	۵	۳۴/۹	۰/۰۰۰
درون گروهی	۰/۰۲	۴۲		
فسفر (mg/kg)				
بین گروهی	۹۳۴۷۴/۳	۵	۳۴۲/۸	۰/۰۰۰
درون گروهی	۲۷۲/۶۶	۴۲		
کلسیم (mg/kg)				
بین گروهی	۴۷۲۷۴/۸۹	۵	۱۵/۵۶	۰/۰۰۰
درون گروهی	۳۰۳۷/۹	۴۲		
پتاسیم (mg/kg)				
بین گروهی	۲۶۰۵۸۰/۶۲	۵	۱۲۶/۱۳	۰/۰۰۰
درون گروهی	۲۰۶۵/۹	۴۲		
pH				
بین گروهی	۹۳/۸۷	۵	۳۴۹۲/۶۲	۰/۰۰۰
درون گروهی	۰/۰۳	۴۲		
EC (mS/cm)				
بین گروهی	۲۳۹۰۰۰۰۰۰	۵	۷۴۷/۶۷	۰/۰۰۰
درون گروهی	۳۲۰۵۶۶/۷۶	۴۲		



شکل ۲. مقایسه میانگین درصد کربن آلی، نیتروژن و فسفر لاشبرگ و شاخه‌های نسوخته و سوخته شده

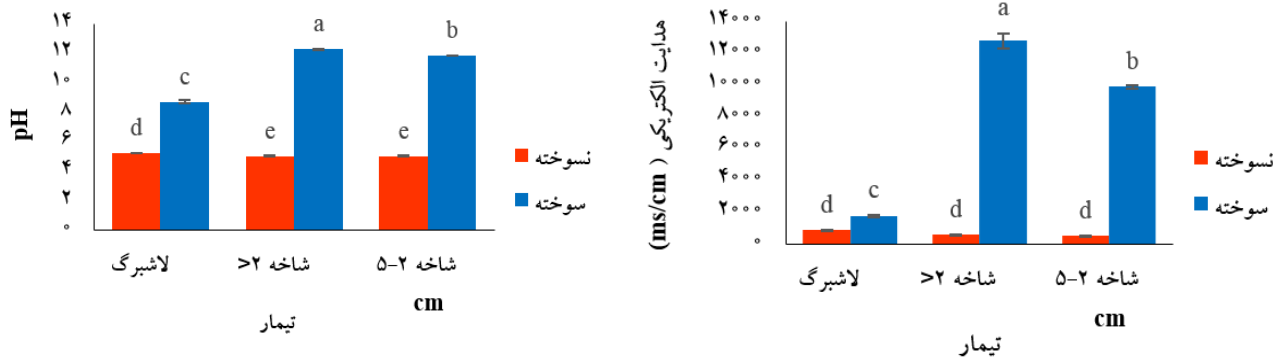


شکل ۳. مقایسه میانگین پتاسیم و کلسیم لاشبرگ و شاخه‌های نسوخته و سوخته شده

هدایت الکتریکی، زمانی که سوزانده شدند نسبت به نسوخته به صورت معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین مقدار pH در شاخه کمتر از ۲ سانتی‌متر حرارت داده شده، ۱۲/۲۹ و کمترین مقدار آن در شاخه کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه ۲ تا ۵ سانتی‌متر نسوخته، به ترتیب، ۵/۰۴ و ۵/۰۵ اندازه‌گیری شد (شکل ۴-الف). بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به شاخه کمتر از ۲ سانتی‌متر حرارت داده، ۱۲۷۵۵/۰ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر

pH و هدایت الکتریکی

بر اساس نتایج بدست آمده، سوزاندن بر میزان pH و هدایت الکتریکی لاشبرگ، شاخه کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه ۲ تا ۵ سانتی‌متر مازودار اثر معنی‌داری ($p < 0.01$) داشت. با توجه به نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن، بین میانگین مقدار pH و هدایت الکتریکی هنگام سوزاندن تفاوت معنی‌داری ($p < 0.01$) وجود داشت (جدول ۲). در هر سه تیمار، میانگین pH و



شکل ۴. مقایسه میانگین pH و هدایت الکتریکی لا شبرگ و شاخه‌های نسوخته و سوخته شده

(نزدیک به سفید) بود؛ که ناشی از سوختن کامل آن‌ها به دلیل بالا بودن شدت آتش‌سوزی هنگام سوختن و همچنین بیشتر بودن مدت زمان آتش‌سوزی نسبت به نمونه‌های لا شبرگ می‌باشد. به طوریکه میانگین درجه حرارت شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر در گونه مازودار به ترتیب، ۷۰۵ و ۵۹۴ درجه سانتی‌گراد بود و همچنین مدت زمان سوختن کامل شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر، ۱۷ دقیقه و در شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر، ۳۰ دقیقه به طول انجامید (جدول ۱). تولید خاکستر سفید رنگ، نتیجه‌ی افزایش درجه حرارت، اکسیداسیون بیشتر و کاهش ترکیبات آلی می‌باشد (۴) که دلیل آن سوختن کامل مواد قابل اشتعال می‌باشد.

با افزایش شدت و زمان سوختن، میزان کربن کاهش یافته و مقدار کربن در خاکستر سیاه بیشتر از خاکستر سفید است. مانند کربن، نیتروژن نیز به درجه حرارت بسیار حساس است و در دماهای پایین بخار می‌شود (۴۱). در دماهای بیشتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، میزان نیتروژن بقایای گیاهی کم است، زیرا طی فرایند آتش‌سوزی، نیتروژن به گازهای N_2 و NO_x و NH_4 تبدیل می‌شود (۲۱). طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، درصد کربن آلی در هر سه تیمار، زمانی که سوزانده شدند، کاهش یافت که می‌تواند به دلیل تبدیل مواد آلی به معدنی و دی‌اکسید کربن باشد (۴۱). مقدار کربن در شاخه‌های نسوخته و سوخته شده با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر در گونه مازودار نسبت به دو تیمار دیگر (لا شبرگ و شاخه‌های با قطر کمتر از ۲

بود و کمترین مقدار آن در شاخه ۲ تا ۵ سانتی‌متر نسوخته با ۴۷۶/۹ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ۴-ب).

بحث

در آتش‌سوزی‌های با شدت کم، بقایای گیاهی به میزان کم سوخته و در نتیجه خاکستر سیاه رنگ تولید می‌شود (۴). اما در آتش‌سوزی‌های با شدت بالا، پس از سوختن کامل بقایای گیاهی، خاکستر سفید رنگ حاصل می‌شود (۳۴). رنگ خاکستر بجز سیاه و سفید، ممکن است قهوه‌ای یا قرمز نیز باشد، بخصوص زمانی که در درجه حرارت کم تشکیل شده باشد (۲۹). تولید خاکستر سفید رنگ، نتیجه‌ی افزایش درجه حرارت، اکسیداسیون بیشتر و کاهش ترکیبات آلی می‌باشد (۴) که دلیل آن سوختن کامل مواد قابل اشتعال می‌باشد. براساس نتایج این پژوهش، رنگ خاکستر در لا شبرگ‌های گونه مازودار، خاکستری تیره (5Y2.5/1) بود (تقریباً سیاه رنگ) که می‌تواند به علت سوختن ناقص مواد آلی باشد که دارای کربن آلی بالاتری نسبت به خاکستر سفید رنگ می‌باشد. همچنین با توجه به حداکثر مدت زمان سوخته شدن کامل نمونه‌های لا شبرگ به مدت ۹ دقیقه و پایین بودن میانگین درجه حرارت آن‌ها (۴۱۴ درجه سانتی‌گراد) رنگ آن‌ها تیره‌تر شده است که با یافته‌های وکیلی و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد (۳۶). همچنین در این پژوهش رنگ خاکستر شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر، خاکستری روشن (5Y7/1)

به شرایط سوختن و نوع ماده آلی بستگی دارد (۴). آتش‌سوزی و سوختن شدید بقایای گیاهی و لاشبرگ بر مقدار فسفر نسبت به نیتروژن تأثیر کمتری دارد؛ در نتیجه سوختن کامل لاشریزه بر چرخه فسفر می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشد و لذا از بین رفتن کل پوشش گیاهی بلافاصله پس از آتش‌سوزی، باعث کاهش ذخیره فسفر خواهد شد. پیرا و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقات خود بیشترین مقدار فسفر را در خاکستر به رنگ قهوه‌ای بسیار تیره، به دلیل داشتن pH مناسب مشاهده کردند (۲۴)، زیرا فسفر در pH پایین با آهن، منگنز و آلومینیوم و در pH بالا با منیزیم و کلسیم رسوب می‌کند (۲۳). در این پژوهش، در بین خاکسترها، کمترین pH (برابر با ۸/۷۱) و بیشترین میزان فسفر (۳۰۹/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، مربوط به خاکستر لاشبرگ گونه‌ی مازودار با رنگ خاکستری بسیار تیره بود.

عناصر شیمیایی اصلی خاکستر شامل، پتاسیم و کلسیم است (۱۰). کلسیم از دمای ۱۲۵۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و پتاسیم از دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد در خاکستر حاصل از بقایای گیاهی تبخیر می‌شوند (۴۰). بر اساس نتایج این پژوهش، مقدار کلسیم در خاکستر لاشبرگ‌های گونه مازودار، نسبت به لاشبرگ‌های نسوخته، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، که با نتایج وکیلی و همکاران مطابقت ندارد (۳۶)؛ که می‌تواند به دلیل تفاوت در سوختن لاشبرگ‌ها در کوره با سوختن آن‌ها در فضای باز در این پژوهش باشد. رفتار کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم با کاتیون تک ظرفیتی هم‌چون پتاسیم در درجه حرارت‌های مختلف، متفاوت است (۳۱). کلسیم جزء عناصر نسبتاً نامتحرک است که به آسانی در بافت لیفی، ترکیب اصلی پوست تجمع می‌یابد. شاخه شامل پوست و چوب است که غنی از کلسیم است (۳۹). به دلیل تجزیه حرارتی ترکیبات اگزالات کلسیمی که به‌طور طبیعی در اندام گیاهان وجود دارد، کربنات کلسیم به وفور در خاکستر یافت می‌شود (۱۸). پتاسیم عنصری متحرک است که معمولاً در گیاهان در شاخه‌های کوچک که دارای مقدار زیادی از بافت‌های جوان و فعال زیستی هستند یافت می‌شود. میزان پتاسیم در هر سه تیمار،

سانتی‌متر) بیشتر بود. دلیل این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تغییرات در دماها و مدت زمان سوختن تیمارهای مختلف باشد. طبق دماهای اندازه‌گیری شده برای هر تیمار و نیز مدت زمان سوختن هر تیمار، لاشبرگ‌ها با شدت کمتر (۴۱۴ درجه سانتی‌گراد) و مدت زمان کمتر (۹ دقیقه) می‌سوزند، در حالیکه شاخه‌ها با شدت بالاتر و مدت زمان بیشتری سوختند که در نتیجه میزان تبخیر کربن در شاخه‌ها بیشتر از لاشبرگ‌ها بوده است. بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش، میانگین درصد نیتروژن خاکستر هر سه تیمار، نسبت به نمونه‌های نسوخته، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. علت کاهش آن، تبخیر نیتروژن حین فرایند سوختن است. در واقع بخش چوبی (شاخه‌ها) به دلیل متراکم بودن مواد آن، مقدار زیاد لیگنین و بیشتر بودن دمای حاصل از سوختن آن‌ها و فرایند سوختن طولانی‌تر، بیشتر از لاشبرگ‌ها سوخته‌اند. در این زمینه، یافته‌های بودی و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که در آتش‌سوزی با شدت پایین (<۴۵۰ درجه سانتی‌گراد) خاکستر، کربن آلی زیاد است و در دماهای بالاتر از ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به علت دمای نسبتاً کم، تبخیر آن‌ها به شکل دود است و وارد اتمسفر می‌شود (۴). نتایج وکیلی و همکاران (۲۰۱۹)، برای بررسی خاکستر حاصل از لاشبرگ گونه مازودار نشان داد، درصد کربن آلی و نیتروژن کل با افزایش دما کاهش یافت؛ همچنین میزان فسفر افزایش یافت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۳۶). عموماً کاهش فسفر در خاکستر به دلیل سوختن و تبخیر آن در دماهای بالاتر از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد (۵). بر خلاف کربن و نیتروژن، مقدار فسفر در خاکستر لاشبرگ‌ها نسبت به لاشبرگ‌های نسوخته، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در حالی‌که مقدار فسفر در خاکستر شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر، نسبت به نسوخته، به دلیل دمای بالای خاکستر و طول زمان آتش‌سوزی بیشتر نسبت به لاشبرگ‌ها، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این تفاوت‌ها می‌تواند به دلیل اختلاف در درجه حرارت‌ها و مدت زمان سوختن در هر کدام از تیمارها باشد. میزان فسفر خاکستر

و EC در دماهای بالاتر از ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، به علت حضور کربنات کلسیم، به‌طور معنی‌داری از دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بود (۳۵). افزایش قابل توجه هدایت الکتریکی با افزایش دما توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (۶)، ۱۲، ۱۳ و ۳۵؛ از جمله، حسینی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که تجمع بیشتر مواد قابل اشتعال در نزدیک تنه درختان، باعث افزایش درجه حرارت و در نهایت، تجزیه حرارتی بیشتر بقایای گیاهی در نزدیک تنه درختان شد که موجب افزایش هدایت الکتریکی و pH می‌شود (۱۴). در این تحقیق مقدار EC در شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر سوخته شده نسبت به مقدار آن در خاکستر لاشبرگ‌ها بیشتر بود؛ که کمتر بودن مدت زمان سوختن و پایین بودن درجه حرارت لاشبرگ‌ها، هنگام سوزاندن نسبت به شاخه‌ها می‌تواند تأثیرگذار باشد. در حالی که مقدار EC موجود در لاشبرگ‌های سوخته از مقدار آن در شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر سوخته که تفاوت زیادی را نشان ندادند، بیشتر بود.

نتیجه‌گیری کلی

بقایای گیاهی در کف جنگل ترکیبی از بخش‌های مختلف گیاهان همانند لاشبرگ و شاخه‌ها با قطرهای مختلف را دربر می‌گیرد که در مجموع به آنها می‌توان کلمه لاشریزه را اطلاق نمود. مقدار هر بخش از این لاشریزه در یک اکوسیستم متأثر از گونه‌های حاضر در آن اکوسیستم می‌باشد که در یک اکوسیستم جنگلی ترکیبی از لاشبرگ و شاخه‌های خشک شده را دربرمی‌گیرد. ترکیب شیمیایی و به دنبال آن نحوه سوختن و آزاد شدن عناصر تشکیل دهنده طی فرآیند آتش‌سوزی می‌تواند متأثر از نوع لاشریزه باشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که طی فرآیند سوختن، لاشبرگ و شاخه‌های گونه مازودار اثرات متفاوتی بر روی مقدار عناصر غذایی و رنگ خاکستر داشته است. کاهش معنی‌داری در مقدار کربن آلی و نیتروژن کل خاکستر هر سه تیمار (لاشبرگ، شاخه

زمانی که سوزانده شدند نسبت به نسوخته افزایش یافته این صورت که میزان تأثیرپذیری شاخه‌ها (قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر) نسبت به لاشبرگ‌ها بیشتر بود که دلیل زیاد شدن مقدار پتاسیم در شاخه‌ها، افزایش شدت آتش‌سوزی و افزایش مدت زمان درجه حرارت در آنها می‌باشد. همچنین شاخه‌ها غنی از کلسیم هستند (۷). نتایج وانگ و دیبیاکوا (۲۰۱۴) نشان داد، مقدار پتاسیم در شاخه‌ها و سرشاخه‌ها از چوب تنه و پوست درخت (صنوبر) بالاتر بوده و نقطه ذوب خاکستر شاخه‌ها و سرشاخه‌ها ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد از خاکستر چوب تنه و پوست پایین‌تر بوده است (۳۸). همچنین دیبیاکوا و همکاران (۲۰۱۵) به این نتیجه رسیدند که عنصر کلسیم در خاکستر شاخه‌های کاج از سایر قسمت‌های درخت بیشتر بود (۷).

pH خاکستر، نتیجه‌ی تجمع مجموع عناصر کلسیم، پتاسیم و منیزیم است (۱۷). با افزایش میزان حرارت و شدت آتش‌سوزی، مقدار pH موجود در خاکستر نیز افزایش می‌یابد (۶) که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. بر پایه نتایج این پژوهش، مقدار pH و هدایت الکتریکی در خاکسترگونه مازودار، در هر سه تیمار، نسبت به نسوخته، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. علت این افزایش می‌تواند سوختن مواد آلی در درجه حرارت‌های بالاتر باشد که موجب آزادسازی کاتیون بازی به مقدار فراوانی می‌گردد (۲۶). در این تحقیق، مقدار pH در خاکستر شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر، نزدیک به هم بودند و اختلاف زیادی نشان ندادند. در حالی که مقدار pH در خاکستر لاشبرگ‌ها نسبت به دو تیمار دیگر کمتر بود که علت آن بهتر سوختن بخش چوبی نسبت به لاشبرگ‌ها به دلیل بالا بودن شدت آتش‌سوزی (درجه حرارت در آنها به بالای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید) و بیشتر بودن مدت زمان سوختن آنها می‌باشد. pH موجود در خاکستر چوب بسیار قلیایی است (۹). اوبدا و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که pH و EC خاکستر، با زیاد شدن درجه حرارت، افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که pH

شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر میزان کاهش غلظت این عناصر به ترتیب $N < C < P < K < Ca$ بوده است. رنگ خاکستر در لاشبرگ‌ها به علت سوختن ناقص مواد آلی، خاکستری تیره بود. رنگ خاکستر شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر، خاکستری روشن (نزدیک به سفید) بود. رنگ و دمای خاکستر و طول زمان آتش‌سوزی شاخص‌های مهمی برای مقایسه شدت آتش‌سوزی و رفتار عناصر غذایی می‌باشند. به طوری که با افزایش شدت آتش-سوزی، بیشتر شدن طول زمان آن و قسمت‌های مختلف سوخته شده از درختان مازودار، میزان عناصر غذایی و رنگ خاکستر تحت تأثیر قرار گرفت و بخش چوبی (شاخه‌ها)، بهتر و بیشتر از لاشبرگ‌ها سوختند. به این ترتیب با وجود همسان بودن الگوی تغییرات متغیرهای مورد بررسی در هر سه تیمار شاخه‌ها طی سوختن تفاوت‌های بیشتری را نسبت به شاهد نشان داد.

با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر) نسبت به نمونه‌های نسوخته مشاهده شد. مقدار فسفر در خاکستر لاشبرگ‌ها نسبت به لاشبرگ‌های نسوخته، به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ درحالی‌که مقدار آن در خاکستر شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر، نسبت به نسوخته کاهش یافت. مقدار کلسیم در خاکستر لاشبرگ‌ها، شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و شاخه‌های با قطر ۲ تا ۵ سانتی‌متر، نسبت به نسوخته کاهش یافت. میزان پتاسیم، pH و هدایت الکتریکی (EC) در خاکستر هر دو گونه، در هر سه تیمار نسبت به نسوخته، به طور معنی-داری افزایش یافت. همچنین میانگین دما و طول زمان آتش-سوزی در نمونه‌های لاشبرگ نسبت به شاخه‌ها کمتر بود. کاهش غلظت عناصر غذایی موجود در خاکستر حاصل از لاشبرگ‌های گونه مازودار به ترتیب $N < C < K < P < Ca$ بود. در حالی‌که در خاکستر حاصل از شاخه‌های با قطر کمتر از ۲ سانتی‌متر و

منابع مورد استفاده

1. Alcaniz, M., L. Quteiro, M. Francos, J. Farguell and X. Ubeda. 2016. Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean Forest (Montgri Massif, Catalonia, Spain). *Science of the Total Environment* 572: 1329-1335.
2. Bodí, M. B., G. Sheridan, P. Noske, J. Cawson, V. Balfour, S. H. Doerr, J. Mataix-Solera and A. Cerda. 2011. Types of ash resultant from burning different vegetation and from varied combustion processes. *SAGVNTVM Extra* 11: 53-54.
3. Bodí, M.B., J. Mataix-Solera, S. H. Doerr and A. Cerdà. 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: 599-607.
4. Bodí, M.B., D.A. Martin, V. N. Balfour, C. Santin, S.H. Doerr, P. Pereira, A. Cerda, and J. Mataix-Solera. 2014. Wildland fire ash: production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. *Earth-Science Reviews* 130: 103-127.
5. Boring, L.R., J.J. Hendricks, C.A. Wilson, and R.J. Mitchell. 2004. Season of burn and nutrient losses in a longleaf pine ecosystem. *International Journal of Wildland Fire* 13 (4): 443-453.
6. Campos, I., N. Abrantes, J. J. Keizer, C. Vale, and P. Pereira. 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.
7. Dibdiakova, J., L. Wang, and H. Li. 2015. Characterization of ashes from *Pinus Sylvestris* forest Biomass. *Energy Procedia* 75: 186-191.
8. Frandsen, W.H. 1987. The influence of moisture and mineral soil on the combustion limits of smoldering Forest duff. *Canadian Journal of forest Research* 17: 1540-1544.
9. Fuzesi, I., B. Heil and G. Kovacz. 2015. Effects of Wood Ash on the Chemical Properties of Soil and Crop Vitality in Small Plot Experiments. *Acta Silvatica* 11: 556-4.
10. Gabet, E. J. and A. Bookter. 2011. Physical, chemical and hydrological properties of Ponderosa pine ash. *International Journal of Wildland Fire* 20 (3): 443-452.

11. Gonzales, J., V. Cala and T. Iglesias. 1996. Forms of Mn in Soils affected by a forest fire. *Science of the Total Environment* 181: 231-236.
12. Gerhardus, P. and D.T. Ben. 2016. Potential use of wood ash in South African forestry: a review. *Southern Forests: a Journal of Forest Science* 78(4): 255-266.
13. Granged, A. J., A. Jordán, L. M. Zavala, M. Muñoz-Rojas, and J. Mataix-Solera. 2011. Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). *Geoderma* 167: 125-134.
14. Hosseini, V., K. Mohammadi Samani, and L. Morad Mirvani. 2018. Litter ash chemical properties of wildfire in forest floor of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Darehvaran area, Marivan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 26: 496-505. (In Persian)
15. Jazirehei, M. and M. Ebrahimi Rostaqi., 2005. Silviculture of Zagros: Tehran University Press, p. 56. (In Persian)
16. 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).
17. Khanna, P.K., R.J. Raison and R.A. Falkiner. 1994. Chemical Properties of ash derived from Eucalyptus Litter and its effects on forest Soils. *Forest Ecology and Management* 66 (1): 107-125.
18. Liodakis, S., G. Katsigiannis and G. Kakali., 2005. Ash properties of some dominant Greek forest species. *Thermochimica Acta* 437(1-2): 158-167.
19. Marion, G.M., J. M. Moreno and W.C. Oechel. 1991. Fire Severity, ash deposition, and Clipping effects on soil nutrients in chaparral. *Soil Science Society of America Journal* 55: 235-240.
20. Maroufi, H., K. Sagheb-Talebi, M. Fattahi and M.H. Sadri., 2005. Study of habitat requirements and some quantitative characteristics of (*Quercus.libani* oliv) in Kurdistan province. *Journal of Forest and Poplar Research* 13(4): 417-445. (In Persian)
21. Misra, M.K., K.W. Ragland and A.J. Baker. 1993. Wood ash composition as a function of furnace temperature. *Biomass and Bioenergy* 4(2):103-116.
22. Neary, D.G., C.C. klopatck, L.F. DeBano and P.F. Ffolliott. 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management* 122 (1): 51-71.
23. Pereira, P. and X. Úbeda. 2010. Spatial distribution of heavy met als released from ashes after a wildfire. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18 (1): 13-22.
24. Pereira, P., X. Ubeda, and D.A. Martin. 2012. Fire severity effects on ash chemical composition and water-extractable elements. *Geoderma* 191: 105-114.
25. Pereira, P., X. Úbeda, D. Martin, J. Mataix-Solera, A. Cerdà, and M. Bourget. 2014. Wildfire effects on extractable elements in ash from a Pinuspinasterforest in Portugal. *Hydrological Processes* 28 (11): 3681-3690.
26. Pivello, V. R., I. Oliveras, H. S. Miranda, M. Haridasan, M. N. Sato and S. T. Meirelles. 2010. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant and Soil* 337: 111-123.
27. Pourreza, M., S.M. Hosseini, A.A.S. Sinegani, M. Matinzadeh and W.A. Dick. 2014. Soil microbial activity in response to fire severity in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests, Iran, after one year. *Geoderma* 213: 95-102.
28. Raison, R.J. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant and Soil* 51: 73-108.
29. Roy, D. P., L. Boschetti, S.W. Maier and A.M.S. Smith. 2010. Field estimation of ash and char colour-lightness using a standard grey scale. *International Journal of Wildland Fire* 19(6): 698-704.
30. Sarkargar, A. 2007. Analysis of radiometric- Spatial Characteristics of Fire and Its Application in Identification and Separation by Remote Sensing data. PhD thesis, Faculty of Engineering: Khaje-Nasir-Toosi University, P. 290. (In Persian)
31. Soto, B. and F. Diaz-Fierros. 1993. Interactions between plant ash leachates and soil. *International Journal of Wildland Fire* 3(4): 207-216.
32. Someshwar, A.V. 1996. Wood and combination wood-fired boiler ash characterization. *Journal of Environmental Quality* 25 (5): 962-972.
33. Steenari, b.m., I.G. Karlsson, O. Lindqvist. 1999. Evaluation of the leaching characteristics of wood ash and the influence of ash agglomeration. *Biomass Bioenergy* 16: 119-136.
34. Ulery, A. L., R. C. Graham and C. Amrhein. 1993. Wood- ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Sciences* 156: 358- 364.
35. Úbeda, X., P. Pereira, L. Outeiro and D.A. Martin. 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.
36. Vakili, S., V. Hosseini and K. Mohammadi Samani. 2019. Effect of different temperatures on the physio-chemical properties of Aleppo oak ash litter under laboratory conditions: *Iranian Journal of Forest* 11: 269-280. (In Persian)
37. Wan, S., D. Hui, and Y. Luo. 2001. Fire effects on Nitrogen Pools and dynamics interrestrial ecosystems: a meta-analysis. *Ecological Applications* 11: 1394-1365.

38. Wang, L. and J. Dibdiakova. 2014. Characterization of ashes from different wood parts of Norway spruce tree. *Chemical Engineering Transactions* 37: 37-42.
39. Werkelin J., B. J. Skrifvars and M. Hupa. 2005, Ash-forming elements in four Scandinavian wood species. Part 1: Summer harvest. *Biomass and Bioenergy* 29: 451-466.
40. Wright, H. A. and A. W. Bailey. 1982. Fire ecology: United States and southern Canada: John Wiley & Sons. 581pp.
41. Yusiharni, E. and R.J. Gilkes. 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.

Comparison of Ash Properties from Burning Litter and Branches of *Quercus infectoria* Oliv.

S. Saeedi¹, V. Hosseini^{2*} and K. Mohammadi Samani³

(Received: December 25-2021; Accepted: May 31-2022)

Abstract

Fire ash contains essential nutrients that play an important role in the forest by changing soil properties. The goal of this study was to investigate the physical and chemical properties of ash from burning litter and branches of Aleppo oak (*Quercus infectoria* Oliv.). Litter and dried branches with a diameter of less than 2 and 2-5 cm were collected under the canopy of eight oak trees in Dezli, Sarvabad county, Kurdistan province. The results showed that the colors of ashes were dark gray (5Y2.5/1) in the litter and light gray(5Y6/1) in both branch treatments. The amount of K, pH and electrical conductivity increased significantly in the ashes of all three treatments compared to unburned samples, while the amount of Ca, organic carbon and total nitrogen were decreased considerably in all three treatments after burning. The amount of P in the ash of the litter increased significantly compared to the unburned litter; however, its amount decreased in both branch treatments. In general, despite the similarity of the pattern of changes in all three treatments, branch treatments showed more differences during the burning than the control, indicating a higher burning of branches compared to the litter.

Keywords: Ash, Fire, Litter, Northern Zagros, Oak

1. M.Sc. Graduate student of Silviculture and Forest Ecology, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2. Corresponding author, Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan and Dr. Hedayat Ghazanfari Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, Sanandaj, Iran.

3. Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan and Dr. Hedayat Ghazanfari Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, Sanandaj, Iran

*: Corresponding Author, Email: V.Hosseini@uok.ac.ir