مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال یازدهم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۸
ص ۲۶۹-۲۸۰

مقاله پژوهشی

اثر تغییرات دمایی بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاکستر لاشبرگ گونهٔ مازودار در شرایط آزمایشگاهی

سارا وکیلی تجره[۱]، وحید حسینی[۲*] و کیومرث محمدی سمانی[۲]

[۱] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج
[۲] استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و مرکز پژوهش و توسعهٔ جنگلداری زاگرس شمالی دانشگاه کردستان، سنندج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۱)

چکیده

لاشبرگ گیاهان و خاکستر حاصل از سوختن آنها از عوامل مؤثر بر عناصر غذایی خاک هستند. زمان و شدت آتش ممکن است بر ویژگی‌های خاکستر و خاک تحتانی اثرگذار باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاکستر حاصل از حرارت دادن لاشبرگ گونهٔ مازودار (*Quercus infectoria* Oliv.) در دماهای مختلف در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت. به‌منظور جمع‌آوری لاشبرگ از سطح خاک، جنگل‌های بخش خاوومیرآباد شهرستان مریوان انتخاب شد و نمونه‌ها در زیر تاج هشت پایه درخت مازودار از کف جنگل جمع‌آوری شدند. درختان روی یک ترانسکت در راستای خطوط میزان با فواصل ۳۰ متری انتخاب شدند. پس از آسیاب کردن لاشبرگ‌ها، نمونه‌ها در چهار تیمار (لاشبرگ و سه تیمار حرارت داده‌شده در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد) تهیه شدند. نتایج نشان داد که رنگ خاکستر در تیمارهای دمایی ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب، قهوه‌ای تیره، خاکستری و خاکستری روشن است. مقدار pH، هدایت الکتریکی، فسفر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم با افزایش دما به‌طور معنی‌داری در لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده افزایش پیدا کرد، درحالی که درصد کربن آلی و نیتروژن کل با افزایش دما ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. کاهش غلظت عناصر غذایی در خاکستر حاصل از لاشبرگ گونهٔ مازودار به‌ترتیب Ca<Mg<K<P<C<N بود. در نهایت نتیجه گرفته شد که با افزایش درجهٔ حرارت تا حد چشم‌گیری در دسترس بودن عناصر غذایی در خاکستر لاشبرگ مازودار تحت تأثیر قرار گرفت و دماهای مختلف اثرهای متفاوتی بر مقدار عناصر غذایی و رنگ خاکستر داشتند.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، بقایای گیاهی، زاگرس، عناصر غذایی.

مقدمه

آتش‌سوزی‌های طبیعی در بیشتر اکوسیستم‌های جنگلی روی می‌دهند و به تغییراتی در پوشش‌های گیاهی و خاک منجر می‌شوند (Certini, 2005). تأثیر آتش‌سوزی بر پوشش‌های گیاهی به‌روشنی مشاهده می‌شود. آتش با سوزاندن لاشبرگ‌ها و پوشش‌های گیاهی، که هر دو از عوامل مهم در حفاظت از اکوسیستم‌های جنگل در برابر فرسایش خاک و تخریب زمین هستند، می‌تواند بر اکوسیستم‌های طبیعی تأثیر بگذارد (Khanna et al., 1994).

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۸۷۳۳۶۲۰۵۵۱
ایمیل: v.hosseini@uok.ac.ir

لاشبرگ و پوشش گیاهی، بسیار اشتعال‌پذیرند و به‌راحتی می‌سوزند (Keeley et al., 2009). در حین سوختن مادهٔ آلی، ابتدا رطوبت آن به‌صورت بخار آزاد می‌شود و سپس لیگنین و همی‌سلولز شروع به تجزیه می‌کنند و در دمای ۲۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد، سلولز دهیدراته می‌شود (Debano, 1991). بسیاری از مشخصه‌های خاک معدنی پس از آتش‌سوزی ممکن است به‌طور مستقیم تحت تأثیر حرارت حاصل از سوختن بقایای گیاهی قرار گیرد (Bodi et al., 2014). با سوختن لاشبرگ‌ها و پوشش‌های گیاهی در اثر آتش‌سوزی، عناصر غذایی موجود در آنها می‌تواند آزاد شده و به این ترتیب سبب تغییر خصوصیات خاک شود (Moya et al., 2018). همچنین آتش‌سوزی، بسته به شدت آن که توسط عوامل محیطی مانند مقدار، نوع و رطوبت مادهٔ اشتعال‌پذیر (پوشش‌های گیاهی و لاشبرگ)، درجهٔ حرارت، سرعت باد و توپوگرافی کنترل می‌شود (Neary et al., 1999)، می‌تواند اثرهای متفاوتی بر مشخصه‌های خاک و اکوسیستم داشته باشد. آتش‌سوزی‌های شدید و کنترل‌نشده، سبب از بین رفتن مواد آلی، تخریب ساختمان و تخلخل خاک، از دست دادن مواد معدنی از طریق تبخیر و تصعید، خروج خاکستر و مواد معدنی همراه با دود، فرسایش و خاکستر می‌شود (Certini, 2005). نیتروژن و دی‌اکسید کربن ناشی از سوختن مواد آلی از جمله چوب، برگ، پوست و دیگر مواد اشتعال‌پذیر وارد اتمسفر می‌شوند و در نهایت مواد باقی‌ماندهٔ معدنی، بعد از آتش‌سوزی، به‌صورت خاکستر در سطح زمین باقی می‌ماند (Bodi et al., 2014; Brook & Wittenberg, 2016). خاکستر ماده‌ای بسیار متحرک شبیه گردوغبار بوده و متشکل از ذرات آلی و معدنی است، به‌طوری که به‌راحتی توسط باد و آب جابه‌جا می‌شود (Bodi et al., 2011). لایه‌های خاکستر حاصل از آتش‌سوزی پوشش‌های گیاهی، در تغییر ویژگی‌های محیطی، به‌ویژه خاک تأثیر زیادی دارد (Pereira et al., 2015). خاکستر به‌دلیل دارا بودن کاتیون‌های بازی چشمگیر، می‌تواند اسیدیتهٔ خاک را به‌صورت موقت افزایش دهد (Bodi et al., 2011) که در پی آن ممکن است دسترسی گیاهان به برخی از عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم را افزایش دهد (Hosseini et al., 2019). رنگ خاکستر نیز از موارد قابل استناد در آتش‌سوزی است، به‌صورتی که می‌تواند اطلاعاتی دربارهٔ شدت آتش‌سوزی در اختیار محققان قرار دهد. براساس مطالعات، خاکسترهای سیاه، با شدت آتش‌سوزی متوسط به پایین مطابقت دارند؛ درحالی که خاکسترهای سفید و خاکستری، شاهدی بر وجود آتش شدیدند (Keeley et al., 2009). خاکستر گونه‌های گیاهی مختلف، با توجه به متفاوت بودن ویژگی بقایای آنها، ترکیبات شیمیایی متفاوتی دارند (Gray & Dighton, 2006). ترکیبات شیمیایی اصلی خاکستر، کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر است که مقدار آنها بسته به درجهٔ حرارت و نوع گونه ممکن است افزایش یا کاهش یابد (Gabet & Bookter, 2011). اتلاف و هدررفت مادهٔ آلی و عناصر غذایی با افزایش درجهٔ حرارت افزایش می‌یابد (Pereira et al., 2011). همچنین کاهش عناصر غذایی موجود در خاکستر از طریق تصعید، بسته به درجهٔ حرارت در طول مدت آتش‌سوزی و آستانهٔ حرارتی هر یک از عناصر غذایی ممکن است متفاوت باشد. به‌عنوان مثال، نیتروژن در دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تبخیر می‌شود، درحالی که تبخیر عناصری همچون فسفر، پتاسیم و کلسیم در دماهای بیشتر از ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد (White et al., 1973). پژوهش‌ها و یافته‌های زیادی در این زمینه انجام گرفته است، به‌طوری که Pereira et al. (2012) طی تحقیقی در پرتغال به این نتیجه رسیدند که با افزایش شدت آتش مقدار اسیدیته، کربنات کلسیم و گوگرد کل افزایش، و مقادیر نیتروژن کل، کربن کل و فسفر کاهش می‌یابد. همچنین Qian et al. (2009) در بررسی خود در فلوریدای آمریکا، اظهار کردند که با افزایش دمای آتش، مقدار کربن و نیتروژن کل کاهش چشمگیری

می‌یابد. Ubeda et al. (2009) ویژگی‌های خاکستر حاصل از دو نمونه چوب‌پنبهٔ بلوط را در نواحی مدیترانه بررسی کردند و دریافتند که در دماهای زیاد، کاتیون‌های دوظرفیتی کلسیم و منیزیم غلظت کمتری داشتند، درحالی که در دماهای متوسط، کاتیون‌های تک‌ظرفیتی سدیم و پتاسیم غلظت بیشتری را نشان دادند. Gray & Dighton (2006) ضمن تحقیقی در ایالات متحدهٔ آمریکا عنوان کردند که در لاشبرگ‌های سه گونهٔ کاج، بلوط و زغال اخته، ۹۹ درصد نیتروژن آلی و معدنی قبل از دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد تبخیر شدند. Liodakis et al. (2005) ویژگی‌های خاکستر را در جنگل‌های یونان بررسی کردند و نتیجه گرفتند که با افزایش درجهٔ حرارت، مقدار کلسیم، پتاسیم و منیزیم افزایش و مقدار هیدروکسیل و کربنات کاهش پیدا کرد. Murphy et al. (2006) در بررسی اثرهای آتش‌سوزی کنترل‌شده بر عناصر غذایی پوشش‌های گیاهی و خاک در ایالات کالیفرنیا به این نتیجه رسیدند که آتش‌سوزی سبب کاهش معنی‌دار مقدار کربن موجود در پوشش‌های گیاهی، نیتروژن، گوگرد و پتاسیم شد، درحالی که هیچ تغییر معنی‌داری در محتوای کلسیم یا منیزیم رخ نداد. همچنین نتایج تحقیقات Nazari et al. (2012) نیز نشان داد که با افزایش دما، درصد کربن آلی و نیتروژن کل کاهش پیدا کرد، درحالی که مقدار فسفر افزایش یافت و در دمای ۴۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد فسفر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. آتش‌سوزی یکی از عوامل تهدید و تخریب در جنگل‌های زاگرس است (Moradi et al., 2016) و خاکستر مهم‌ترین مادهٔ تولیدشده در این فرایند است که تا حد زیادی نادیده گرفته شده است. در خصوص آتش‌سوزی و اثرهای آن بر خاک‌های جنگلی تحقیقات گسترده‌ای در داخل کشور صورت گرفته است. با توجه به ناممکن بودن آتش‌سوزی تجویزی (Prescribed fire) در ایران، مطالعهٔ دقیقی دربارهٔ درجهٔ حرارت‌های مختلف و اثرهای آن بر نوع خاکستر ایجادشده انجام نگرفته است. از این‌رو پژوهشگران به‌راحتی نمی‌توانند دربارهٔ شدت آتش‌سوزی اظهار نظر کنند و مشخص نیست که با مشاهدهٔ وضعیت خاکستر، می‌توان شدت آتش‌سوزی را تا حدی تشخیص داد یا نه. به‌دلیل اهمیت این جنگل‌ها در حفاظت از آب و خاک و ضرورت شناخت کافی دربارهٔ شدت آتش‌سوزی و خاکستر حاصل از آن و نیز، متفاوت بودن رفتار عناصر غذایی موجود در خاکستر بسته به شدت آتش‌سوزی و همچنین رنگ آن، هدف این پژوهش بررسی تغییرات عناصر غذایی موجود در خاکسترهای تولیدشدهٔ حاصل از لاشبرگ گونهٔ مازودار در شرایط آزمایشگاه و تعیین رفتار این عناصر در دماهای مختلف است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

جنگل‌های اطراف مریوان با مساحتی بالغ بر ۱۰۸۸۶۶ هکتار بخشی از جنگل‌های ۴/۵ میلیون هکتاری زاگرس هستند. این شهرستان در محدودهٔ عرض جغرافیایی ´۱۹ °۳۵ تا ´۴۸ °۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ´۵۸ °۴۵ تا ´۴۵ °۴۶ قرار دارد. از لحاظ آب‌وهوایی منطقهٔ مریوان با توجه به عرض جغرافیایی دارای ویژگی اقلیمی معتدل میانی است (ANRKP, 2004). میانگین بارندگی سالانه این منطقه با مبنا گرفتن از ایستگاه سینوپتیک هواشناسی واقع در مریوان ۸۰۴/۱۲ میلی‌متر در سال و میانگین دمای سالانهٔ آن ۱۳/۵۲ درجهٔ سانتی‌گراد است. بیشترین بارندگی در دی و کمترین بارندگی در مرداد روی می‌دهد. خاک‌های این منطقه از خاک قهوه‌ای آهکی تکامل‌یافتهٔ عمیق تا نیمه‌عمیق و خاک‌های جوان واریزه‌ای و لیتسول که اغلب کم‌عمق و سطحی هستند، تشکیل شده است. منطقهٔ تحقیق، روستای مرانه، واقع در بخش خاوومیرآباد شهرستان مریوان در استان کردستان است که از نظر موقعیت مکانی، در ۱۵ کیلومتری شهرستان مریوان در طول

جغرافیایی "۸ ´۰۳ °۴۶ و عرض جغرافیایی "۲۴ ´۳۵ °۳۵ و ارتفاع ۱۵۹۱ متر از سطح دریا واقع شده است. ترکیب غالب تودهٔ این جنگل برودار یا بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) و مازودار یا دارمازو (*Quercus infectoria* Olive) و فرم رویشی آن اغلب شاخه‌زاد است (ANRKP, 2004).

روش پژوهش

ابتدا منطقه‌ای به مساحت ۳ هکتار در جنگل‌های اطراف مریوان که در آن آتش‌سوزی اتفاق نیفتاده بود انتخاب شد. پس از بازدید میدانی از منطقه، به‌منظور جمع‌آوری نمونهٔ بقایای گیاهی، ابتدا یک ترانسکت به طول ۲۵۰ متر در یک دامنه و عمود بر جهت شیب بر روی خطوط میزان در جنگل پیاده شد. با حرکت روی خط تراز، در فواصل ۳۰ متری روی ترانسکت، نزدیک‌ترین درخت مازودار انتخاب شد و نمونه‌برداری انجام گرفت. نمونه‌های لاشبرگ به وزن ۱ کیلوگرم در زیر تاج هشت پایه درخت مازودار و از سطح خاک در تابستان (مرداد) ۱۳۹۶، جمع‌آوری شد. پس از برداشت و انتقال لاشبرگ‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌ها آسیاب شدند. از نمونهٔ لاشبرگ هر درخت، چهار زیرنمونه هر یک به وزن ۲۵۰ گرم تهیه شد و سه زیرنمونه در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲ ساعت در کوره حرارت داده شدند (Brook & Wittenberg, 2016). ویژگی‌های لاشبرگ شامل pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلیم و منیزیم قبل از حرارت داده شدن اندازه‌گیری شد. در مجموع ۳۲ نمونه تهیه شد. رنگ خاکستر با استفاده از روش مانسل، pH و هدایت الکتریکی به روش پتانسیومتری به‌ترتیب به‌کمک دستگاه pHمتر و EC سنج اندازه‌گیری شد. مقدار کربن آلی به‌روش والکی و بلاک، مقدار نیتروژن کل به‌روش کجلدال به‌کمک دستگاه اتوکجلتیک و مقدار فسفر به روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. مقادیر پتاسیم، کلسیم و منیزیم به‌روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شدند. برای پتاسیم از دستگاه فلیم‌فتومتر و برای کلسیم و منیزیم از دستگاه جذب اتمی استفاده شد (Jafari haghighi, 2003).

روش تحلیل

با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS 16 به‌ترتیب نمودارها رسم و داده‌ها تجزیه‌وتحلیل شدند. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و آزمون همگنی واریانس‌ها، تجزیهٔ واریانس یکطرفه (ANOVA) انجام گرفت. در نهایت برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

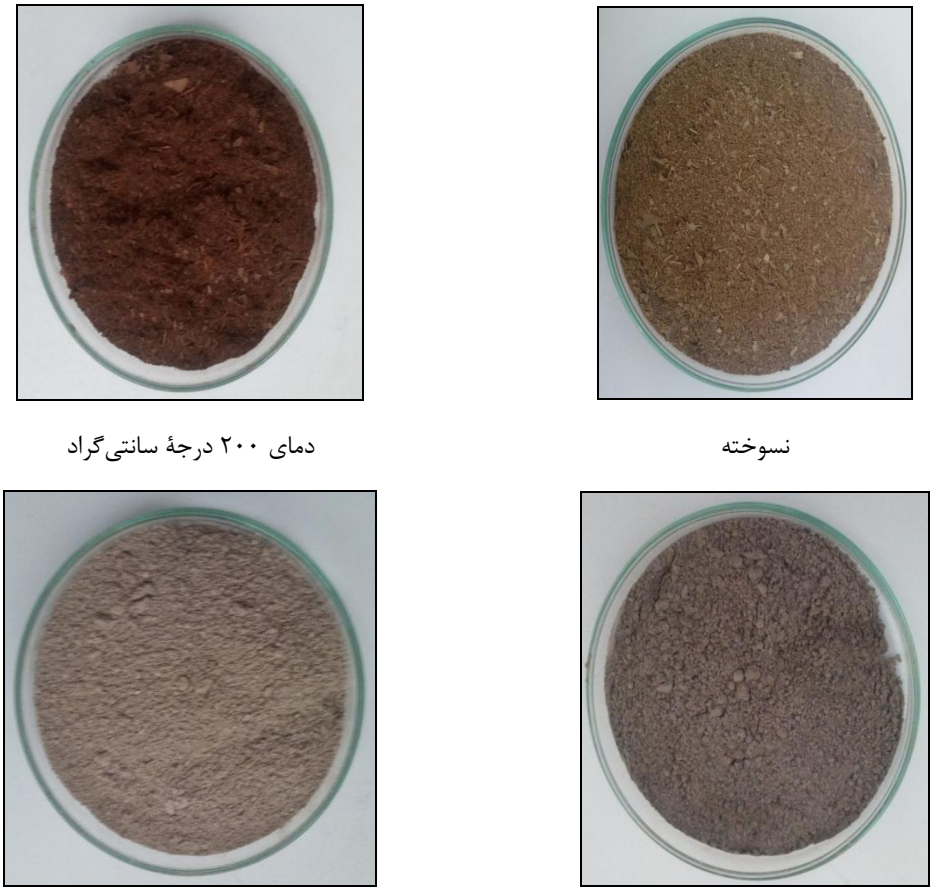
نتایج

رنگ خاکستر

رنگ مربوط به لاشبرگ‌های نسوخته در گونهٔ مازودار با هیو (10YR) والیو (5) و کروما (4) دارای رنگ قهوه‌ای روشن است، درحالی که برای لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد رنگ خاکستر به‌ترتیب قهوه‌ای تیره (10YR4/4)، خاکستری (10YR5/1) و خاکستری روشن (10YR7/2) مشاهده شد (جدول ۱). رنگ خاکستر در لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده، با افزایش دما از ۲۰۰ تا ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد شروع به روشن‌تر شدن کرد و در هر درجهٔ حرارت، طیف مشخصی از رنگ خاکستر را ایجاد کرد (شکل ۱).

جدول ۱- رنگ لاشبرگ‌های نسوخته و حرارت‌داده‌شدهٔ مازودار در دماهای مختلف

لاشبرگ‌های نسوخته	دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد	دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد	دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد
10YR5/4	10YR4/4	10YR5/1	10YR7/2



شکل ۱- رنگ لاشبرگ‌های نسوخته و حرارت‌داده‌شده در دماهای مختلف

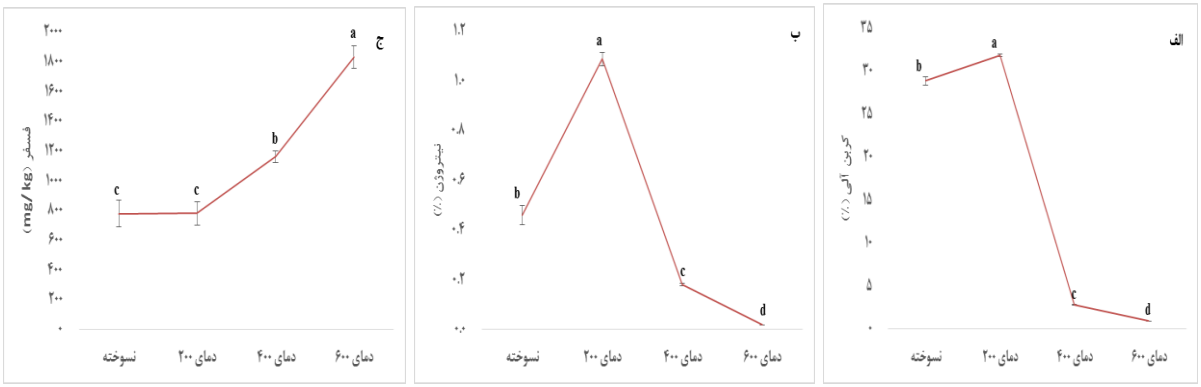
کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر

نتایج تجزیهٔ واریانس یکطرفه نشان داد که تیمارهای مختلف دما بر مقدار کربن آلی، نیتروژن و فسفر بقایای گیاهی تأثیر گذاشته و از نظر آماری معنی‌دار بوده است (جدول ۲) ($p<۰/۰۱$). نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) بین میانگین‌های متغیرهای مختلف در دماهای مختلف نشان داد، به‌صورتی که میانگین درصد کربن آلی و نیتروژن در لاشبرگ‌های سوزانده‌شده تا دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایشی بود و از این دما به بعد به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (شکل ۲ الف و ب). مقدار فسفر با افزایش درجهٔ حرارت در دو تیمار دمایی ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲ ج). بیشترین مقدار کربن آلی و نیتروژن مربوط به لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده در دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب ۳۱/۸۱ و ۱/۰۸ درصد و کمترین مقدار آنها در لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۰۱ درصد بود (شکل ۲ الف و ب). بیشترین مقدار فسفر در لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ۱۸۲۹/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار آن در لاشبرگ نسوخته و حرارت‌داده‌شده در دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب ۷۷۹/۱۶ و ۷۸۰/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (شکل ۲ ج).

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس عامل‌های (C، N، P، K، Ca، Mg، pH و EC) لاشبرگ‌های سوخته و نسوخته در دماهای مختلف

متغیر	C	N	P	K	Ca	Mg	pH	EC
درجهٔ آزادی				۳				
میانگین مربعات	۲۱۷۵/۵۲۵	۱/۷۷۱	۱۹۵۹۴۱۱/۹۹۲	۱/۹۸۳ E۷	۶/۲۲۶E۸	۲/۹۲۳E۸	۷۹/۶۷۴	۱/۲۳۷
F	۴/۶**	۳۸۸/۸**	۴۷**	۱۵۴/۷**	۲۳۶/۴**	۱/۲**	۸/۷**	۱۰۹/۸**

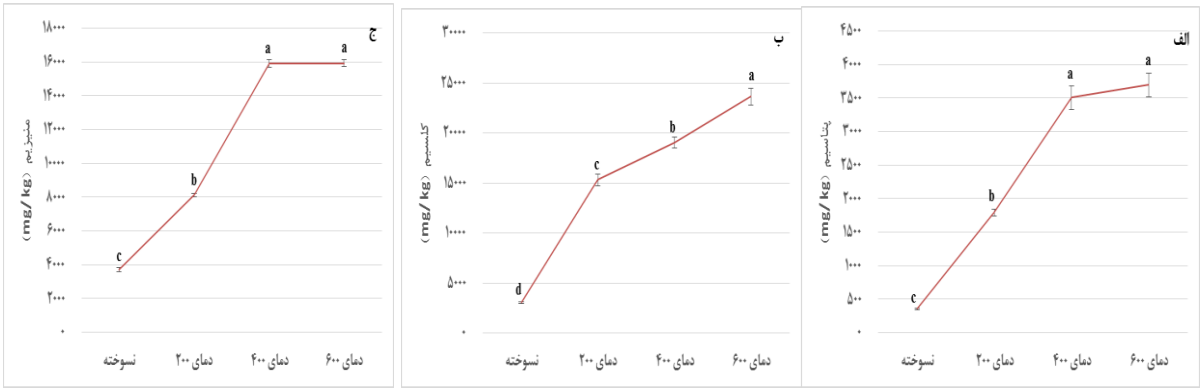
**معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد



شکل ۲- مقایسهٔ میانگین درصد کربن آلی، نیتروژن و فسفر لاشبرگ‌های نسوخته و حرارت‌داده‌شده در دماهای مختلف

پتاسیم، کلسیم و منیزیم

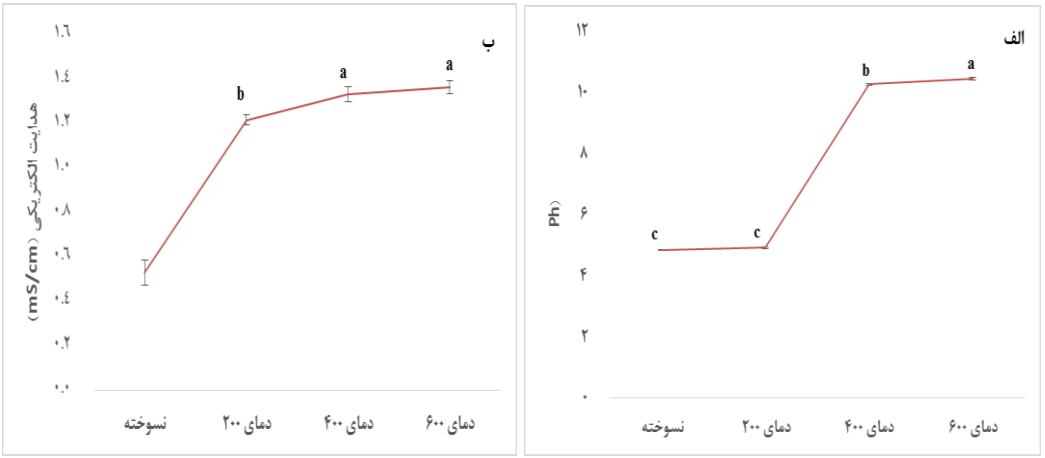
براساس نتایج به‌دست‌آمده، دماهای مختلف بر مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم بقایای گیاهی به‌طور معنی‌داری تأثیر گذاشت (جدول ۲). با توجه به آزمون چنددامنه‌ای دانکن، بین میانگین‌های متغیرهای مختلف در هر سه تیمار دمایی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. میانگین پتاسیم، کلسیم و منیزیم در لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده در دماهای مختلف نسبت به لاشبرگ‌های نسوخته بیشتر بود و مقدار آنها با افزایش درجهٔ حرارت، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۳). البته مقدار منیزیم و پتاسیم در لاشبرگ‌های سوخته‌شده در دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۳ الف و ج). بیشترین مقدار کلسیم مربوط به لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ۲۳۶۲۹/۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار آن در لاشبرگ‌های نسوخته، ۳۰۱۵/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۳ ب). بیشترین مقدار پتاسیم و منیزیم مربوط به لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده در دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب با مقادیر ۳۵۰۷/۸۹ و ۱۵۹۰۲/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب با مقادیر ۳۶۹۵/۹۷ و ۱۵۹۱۷/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و کمترین مقدار آنها مربوط به لاشبرگ‌های نسوخته و به‌ترتیب ۳۵۵/۷۰ و ۳۷۰۹/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (شکل ۳ الف و ج).



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین پتاسیم، کلسیم و منیزیم لاشبرگ‌های نسوخته و حرارت‌دادهشده در دماهای مختلف

اسیدیته و هدایت الکتریکی

دماهای مختلف بر میزان pH و هدایت الکتریکی لاشبرگ مازودار اثر معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۱$). با توجه به نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن، بین میانگین مقدار pH و هدایت الکتریکی در دماهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p<۰/۰۱$). در هر سه تیمار دمایی، میانگین pH و هدایت الکتریکی در لاشبرگ‌های حرارت‌دادهشده نسبت به لاشبرگ‌های نسوخته بیشتر بود و مقدار آنها با افزایش درجهٔ حرارت، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین مقدار pH در لاشبرگ‌های حرارت‌دادهشده در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ۱۰/۴۳ و کمترین مقدار آن در لاشبرگ‌های نسوخته، ۴/۸۴ و حرارت‌دادهشده در دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ۴/۹۲ اندازه‌گیری شد (شکل ۴ الف). در صورتی که بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به لاشبرگ‌های حرارت‌دادهشده در دماهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب ۱/۳۳ و ۱/۳۶ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر بود و کمترین مقدار آن در لاشبرگ‌های نسوخته با ۰/۵۲ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر به‌دست آمد (شکل ۴ ب).



شکل ۴- مقایسهٔ میانگین اسیدیته و هدایت الکتریکی لاشبرگ‌های نسوخته و حرارت‌دادهشده در دماهای مختلف

بحث

رنگ خاکستر بسته به مقدار مواد آلی سوزانده‌شده می‌تواند محدوده‌ای از خاکسترهای سیاه تا سفید را شامل شود (Neary et al., 1999). البته رنگ خاکستر نه‌تنها سیاه و سفید است، بلکه ممکن است قهوه‌ای یا قرمز باشد، به‌ویژه زمانی که در درجهٔ حرارت کم تشکیل شده باشد (Roy et al., 2010). برپایهٔ نتایج این پژوهش، تشکیل رنگ قهوه‌ای تیره در خاکستر لاشبرگ‌هایی که با دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد حرارت داده شده بودند ممکن است به‌دلیل کم بودن درجهٔ حرارت باشد (Pereira et al., 2012). همچنین این موضوع ممکن است به‌علت اکسید آهن (بسته به محل اکسیداسیون)، همراه با از دست دادن مقداری آب در برگ‌ها باشد (Ubeda et al., 2009). در این تحقیق، تشکیل رنگ خاکستری در لاشبرگ‌هایی که با دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد حرارت داده شدند، ممکن است به‌دلیل زیاد بودن درجهٔ حرارت باشد که با یافته‌های Ubeda et al. (2009) مطابقت دارد. با افزایش درجهٔ حرارت، اکسیداسیون شدیدتر و ترکیبات آلی کاهش می‌یابد (Bodi et al., 2014) و رنگ خاکستر روشن‌تر می‌شود (Pereira et al., 2012). تشکیل رنگ خاکستری روشن در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد در این پژوهش همان‌گونه که Ulery et al.(1993) بیان کردند ممکن است به‌دلیل احتراق کامل مواد اشتعال‌پذیر باشد.

درجهٔ حرارت به‌طور چشمگیری بر ترکیبات عناصر غذایی خاکستر و در دسترس بودن آن اثر گذاشت، به‌طوری که حرارت دادن در دماهای زیاد (۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد) سبب حذف مقدار زیادی نیتروژن و کربن از خاکستر شد. براساس نتایج این پژوهش، میانگین درصد کربن آلی و نیتروژن در لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده تا دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت به لاشبرگ‌های نسوخته افزایش پیدا کرد و از این دما به بعد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. علت افزایش ممکن است کم بودن درجهٔ حرارت باشد که لاشبرگ‌ها به آرامی حرارت می‌بینند و درجهٔ حرارت به حدی نمی‌رسد که عناصری مانند نیتروژن و کربن تصعید شده و وارد اتمسفر شوند (Bodi et al., 2011). علت کاهش آنها در دماهای بیشتر ممکن است تصعید آنها باشد (Pereira et al., 2012). در این زمینه، یافته‌های Bodi et al. (2014) و Pereiraet al. (2012) نشان داد که در احتراق با شدت کم، خاکستر غنی از کربن آلی و نیتروژن است و در دمای ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد ترکیبات آلی به‌طور کامل تخریب و اکسید می‌شوند و بیشتر کربن، نیتروژن، هیدروژن و اکسیژن به‌دلیل دمای به‌نسبت کم تصعید آنها، به‌شکل دود از دسترس خارج شده و وارد اتمسفر می‌شوند (Gary & Dighton, 2006). همچنین Raison et al.(1985) گزارش کردند که تصعید کربن در هر مادهٔ گیاهی سریع است (کاهش بیش از ۹۹ درصد در دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد)، درحالی که از دست دادن نیتروژن در دمای کمی بیشتر رخ می‌دهد. این مشاهدات به احتمال زیاد مربوط به تفاوت ریخت‌شناسی برگ و فراوانی ترکیبات ساختاری و غیرساختاری است. برخلاف نیتروژن و کربن، فسفر با افزایش درجهٔ حرارت تغییرات کمتری را نشان داد. فسفر به‌دلیل داشتن دمای تصعید به‌نسبت زیاد (۷۷۴ درجهٔ سانتی‌گراد) جزو عناصری است که به آسانی تصعید نمی‌شود (Certini, 2005; Raison et al., 1985). براساس نتایج این پژوهش، مقدار فسفر با افزایش دما به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این موضوع ممکن است به‌دلیل دمای زیاد تصعید، کم بودن جابه‌جایی هوا و سوختن ناقص فسفر باشد (Qian et al., 2009). زیاد بودن دمای تصعید برای فسفر و کاتیون‌های دیگر سبب انباشته شدن آنها در خاکستر می‌شود (Gary & Dighton, 2006). همان‌طور که Gillon & Rapp (1989) در تحقیقات خود بیان کردند، در طول آتش‌سوزی در جنگل‌های مدیترانه ۳۵ درصد از فسفر کل وارد اتمسفر شد، درحالی که ۶۵ درصد فسفر باقی‌مانده در خاکستر حفظ شد.

معمول‌ترین کاتیون‌هایی که پس از وقوع آتش‌سوزی تحت تأثیر قرار می‌گیرند پتاسیم، کلسیم و منیزیم هستند (Alcaniz et al., 2016). این عناصر به‌دلیل دمای زیاد تصعید که به‌ترتیب ۷۶۰، ۱۴۸۴ و ۱۱۰۷ درجهٔ سانتی‌گراد است به راحتی از بین نمی‌روند (Bodi et al., 2014). براساس نتایج این پژوهش، مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم در هر سه تیمار دمایی با افزایش دما به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. علت افزایش این عناصر، زیاد بودن دمای تصعید آنهاست (White et al., 1973)؛ دلیل دیگر آن ممکن است تجزیهٔ حرارتی $MgCo_3$، $CaCo_3$ و K_2Co_3 باشد (Liodakis et al., 2005). برپایهٔ یافته‌های Gary & Dighton (2006)، در اثر شکستن پیوندهای شیمیایی با افزایش درجهٔ حرارت، یون‌های معدنی از مادهٔ آلی به محیط منتقل می‌شوند، بنابراین مقدار کربنات‌ها، اکسیدها، هیدروکسیدها و کاتیون‌های پایه افزایش می‌یابد (Ulery et al., 1993). همچنین بنابر یافته‌های Pereira et al. (2011) غلظت زیاد پتاسیم، کلسیم و منیزیم در عصارهٔ خاکستر نسبت به لاشبرگ‌های نسوخته تفاوت pH در محلول است. در این زمینه براساس یافته‌های Raison et al.(1985) غلظت عناصر غذایی در خاکستر ۱۰ تا ۵۰ برابر بیشتر از لاشبرگ‌های نسوخته است که حلالیت عناصری مانند کلسیم ناشی از معدنی شدن آن توسط آتش و در نتیجه مقدار زیاد اسیدیتهٔ عصاره‌های خاکستر است. حلالیت زیاد کلسیم در اسیدیتهٔ ۷ و ۸، نشان‌دهندهٔ افزایش چشمگیر یون کلسیم در محلول‌های تولیدشده در عصاره‌های خاکستر است (Augusto et al., 2008). با توجه به همانندی محدودهٔ حلالیت منیزیم و کلسیم، رفتار این دو عنصر در محلول بسیار شبیه است Gary & Dighton (2006) و Ubeda et al. (2009) در تحقیقات خود کاهش منیزیم در دماهای کم را گزارش کردند.

خاکستر، قلیایی و غنی از عناصری مانند کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر است (Gabet & Bookter, 2011) که با افزایش درجهٔ حرارت احتراق، مقدار آنها افزایش می‌یابد (Ubeda et al., 2009). برپایهٔ نتایج این پژوهش مقدار pH و هدایت الکتریکی با افزایش دما در لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌شده نسبت به نسوخته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. دلیل این افزایش ممکن است سوختن مواد آلی در دماهای بیشتر باشد که سبب آزاد شدن مقدار زیادی از کاتیون‌های بازی می‌شود (Hosseini et al, 2019; Certini, 2005). در این زمینه، Bodi et al. (2014) اعلام کردند که مقدار pH خاکستر در دماهای زیاد افزایش می‌یابد و این افزایش زمانی اتفاق می‌افتد که خاکستر حاصل به‌شکل محلول باشد، یعنی بیشتر از کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر تشکیل شده باشد. Brook & Wittenberg (2016) عامل افزایش pH را از بین رفتن اسیدهای هومیک و آزاد شدن غلظت زیاد دکربنات‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای کاتیون بیان کردند. همچنین افزایش هدایت الکتریکی پس از آتش‌سوزی‌های طبیعی توسط Certini.(2005) گزارش شد که علت این افزایش وجود ترکیبات خاکستر و یون‌های معدنی محلول بوده است که از مواد آلی در طی فرایند احتراق رها شدند. در مطالعهٔ Pereira et al. (2011) نیز افزایش هدایت الکتریکی و pH در خاکستر تولیدشده در آزمایشگاه در ارتباط با نوع لاشبرگ گزارش شد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

به‌طور کلی می‌توان گفت مقدار عناصر غذایی موجود در خاکستر و لاشبرگ تحت تأثیر درجهٔ حرارت‌های مختلف و بسته به ماهیت هر عنصر، شرایط سوختن و شدت آن ممکن است افزایش یا کاهش یابد. نتایج این تحقیق نشان داد که دماهای مختلف، اثرهای متفاوتی بر مقدار عناصر غذایی و رنگ خاکستر داشته است. با افزایش درجهٔ حرارت، pH، هدایت الکتریکی، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم موجود در خاکستر در هر سه تیمار دمایی نسبت به

لاشبرگ‌های حرارت‌داده‌نشده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، درحالی که مقدار کربن آلی و نیتروژن به‌طور معنی‌داری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. کاهش غلظت عناصر غذایی موجود در خاکستر حاصل از حرارت دادن لاشبرگ گونهٔ مازودار به‌ترتیب Ca<Mg<K<P< C<N بود. همچنین برای رنگ خاکستر در دمایی ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب قهوه‌ای تیره، خاکستری و خاکستری روشن مشاهده شد. رنگ خاکستر را نیز می‌توان شاخص مناسبی برای مقایسهٔ شدت‌های سوختگی، نوع و مقدار عناصر غذایی باشد.

References

Alcaniz, M., Outeiro, L., Francos, M., Farguell, J., & Úbeda, X. (2016). Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain). *Science of The Total Environment, 572,* 1329-1335.

Administration of Natural Resources at Kurdistan Province (ANRKP) (2004). Multipurpose forestry plan of district of Baghan-Chenareh in Marivan., 49p.

Augusto, L., Bakker, M., & Meredieu, C. (2008). Wood ash applications to temperate forest ecosystems—potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil, 306(1-2),* 181-198.

Bodí, M. B., Martin, D. A., Balfour, V. N., Santín, C., Doerr, S. H., Pereira, P., Cerdà, A., & 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., & 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,* 599- 607.

Brook, A., & Wittenberg, L. (2016). Ash-soil interface: Mineralogical composition and physical structure. *Science of The Total Environment, 572,* 1403-1413.

Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia, 143,* 1- 10.

DeBano, L. F. (1991). The effect of fire on soil properties: Proceedings—Management and productivity of western montane forest soils. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-280. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station.

Gabet, E. J., & Bookter, A. (2011). Physical, chemical and hydrological properties of Ponderosa pine ash. *International Journal of Wildland Fire, 20 (3),* 443-452.

Gillon, D., & Rapp, M. (1989). Nutrient losses during a winter low-intensity prescribed fire in a Mediterranean forest. *Plant and Soil, 120 (1),* 69-77.

Gray, D. M., & Dighton, J. (2006). Mineralization of forest litter nutrients by heat and combustion.*Soil Biology and Biochemistry, 38, (6),* 1469-1477.

Hosseini, V., Mohammadi Samani, K., & Morad Mirvani, L. (2019). 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 (4),* 496-505.

Jafari Haghigh, M. (2003). *Methods of Soil Analysis, Sampling and Important Physical and chemical Analysis,* Iran, Nedaye Zahi Press, 236 p.

Keeley, J.E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage.*International journal of wildland fire, 18,* 116- 126.

Khanna, P.K., Raison, R.J., & Falkiner, R.A. (1994). Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forest soils.*Forest Ecology and Management, 66, (1),* 107-125.

Liodakis, S., Katsigiannis, G., & Kakali, G. (2005). Ash properties of some dominant Greek forest species. *Thermochimica Acta, 437 (1),* 158-167.

Moradi, B., Ravanbakhsh, H., Moshki, A., & Shabanian, N. (2016). The effect of fire on vegetation structure in Zagros forests (Case study: Sarvabad, Kurdistan province). *Iranian Journal of Forest, 8*(1), 381-392.

Moya, D., Gonzalez-De Vega, S., Garcia-Orenes, F., Morugan-Coronado, A., Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Lucas-Borja, M.E., & De Las Heras, J. (2018). Temporal characterisation of soil-plant natural recovery in burned *Pinus halepensis* Mill. forests. *Science of the Total Environment, 640-641,* 42-51.

Murphy, J., Johnson, D., Miller, W.W., Walker, R.F., & Blank, R.R. (2006). Prescribed fire effects on forest floor and soil nutrients in a Sierra Nevada forest. *Soil Science,171(3),* 181-199.

Nazari, F., Hosseini, V., & 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),* 24-37.

Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L. F., & Folliott, P.F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management, 122 (1),* 51-71.

Pereira, P., Jordan, A., Cerda, A., & Martin, D. (2015). The role of ash in fire-affected ecosystems. *Catena, 135,* 337- 339.

Pereira, P., Úbeda, X., Martin, D., Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2011). Effects of a low severity prescribed fire on water-soluble elements in ash from a cork oak (Quercus suber) forest located in the northeast of the Iberian Peninsula. *Environmental Research, 111 (2)* 237-247.

Pereira, P., Úbeda, X., & Martin, D.A. (2012). Fire severity effects on ash chemical composition and water-extractable elements. *Geoderma, 191,* 105-114.

Qian, Y., Miao, S.L., Gu, B., & Li, Y.C. (2009).Effects of burn temperature on ash nutrient forms and availability from cattail (Typha domingensis) and sawgrass (Cladium jamaicense) in the Florida Everglades. *Journal of Environmental Quality,38,* 451- 464.

Raison, R.J., Khanna, P. K., & Woods, P.V. (1985). Transfer of elements to the atmosphere during low-intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forests. *Canadian Journal of Forest Research, 15,* 657- 664.

Roy, D.P., Boschetti, L., Maier, S.W., & Smith, A.M.S. (2010). Field estimation of ash and char colour-lightness using a standard grey scale. *International Journal of Wildland Fire, 19 (6),* 698-704.

Ubeda, X., Pereira, P., Outeiro, L., & 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 Degrad Develop, 20,* 589- 608.

Ulery, A.L., Graham, R.C., & Amrhein, C. (1993). Wood- ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Science, 156,* 358- 364.

White, E.M., Thompson, W.W., & Gartner, F.R. (1973). Heat Effects on Nutrient Release from Soils Under Ponderosa Pine. *Journal of Range Management, 26,* 22- 24.

Iranian Journal of Forest
Vol. 11, No. 2, Summer 2019
pp. 269-280

Research Article

Effect of different temperatures on the physio-chemical properties of Aleppo oak ash litter under laboratory conditions

S. Vakili Tajareh[1], V. Hosseini[2]*, and K. Mohammadi Samani[2]

[1] M.Sc. in silviculture and Forest Ecology, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran
[2] Assistant prof., Dept. of Forestry, The Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran

(Received: 20 April 2019, Accepted: 1 June 2019)

Abstract

Forest fire and leaf litter is one of the effective factors influencing soil nutrient. Fire intensity and duration can affect the properties of ash and surface soil. The aim of this study was to investigate the physio- chemical properties of ash after the heating of Aleppo oak (*Quercus infectoria* Oliv.) litter at various temperatures under laboratory conditions. In order to collect litter, Khavmire Abad district in Marivan forest was selected such that litter samples were taken under the crown of the 8 Aleppo oak trees. Trees were selected on a transect parallel to the contour lines, 30 m interval. Leaf litter has milled first and then the samples were prepared in four treatments (milled litter and three treatments heated at 200, 400 and 600 °C). The results showed that the color of ash was dark brown, gray and light gray in temperatures of 200, 400 and 600 °C, respectively. The amount of pH, EC, P, Ca, K and Mg increased significantly with increasing temperature, while OC and TN first increased until 200°C and then decreased significantly. The reduction of nutrient concentrations in the ash of Aleppo oak was: N> C> P> K> Mg> Ca. In sum, temperature can significantly affect the availability of nutrients in ash of Aleppo oak after heating. In addition, different temperatures had significant effects on the amount of nutrients and ash color.

Keywords: Nutrients, Residual plant, Wildfire, Zagros.

∗Corresponding author Tel: +988733620551 Email: v.hosseini@uok.ac.ir