مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال چهاردهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۱
ص ۴۵۷-۴۷۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI):10.22034/ijf.2022.330327.1852
شناسه دیجیتال (DOR):20.1001.1.20086113.1401.14.4.7.9

مقایسهٔ اثر حرارت تجویزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک زیراشکوب بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در شرایط آزمایشگاهی

دریا احمدی[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 دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه کردستان و مرکز پژوهش و توسعهٔ جنگلداری زاگرس شمالی دکتر هدایت غضنفری، سنندج

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۸)

چکیده

آتش‌سوزی از مهم‌ترین آشفتگی‌های طبیعی در اکوسیستم‌های جنگلی است که با توجه به شدت و مدت زمان، اثرهای چشمگیری بر خصوصیات خاک دارد. پژوهش حاضر با هدف مقایسهٔ ویژگی‌های خاک جنگلی دامنه‌های شمالی و جنوبی زیراشکوب بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) حرارت‌داده‌شده در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت. به‌منظور جمع‌آوری نمونه‌های خاک، دو دامنهٔ شمالی و جنوبی از نواحی جنگلی شهرستان بانه انتخاب شد. ابتدا خط نمونه‌برداری روی خطوط تراز پیاده شد. با حرکت روی ترانسِکت، نزدیک‌ترین درخت بلوط انتخاب و به فواصل ۳۰ متری هفت درخت بعدی انتخاب شد. ۱۶ نمونه خاک از عمق ۵-۰ سانتی‌متری برداشت شد. با انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، چهار تیمار (خاک نسوخته و سه تیمار حرارت داده‌شده در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد) تهیه شد. مقدار کربن آلی در دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تقریباً ثابت بود و از این دما به بعد کاهش یافت. مقدار نیتروژن در دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش و از این دما به بعد کاهش پیدا کرد و در خاک دامنه‌های شمالی و جنوبی به‌ترتیب به ۰/۰۵ و ۰/۰۲ درصد در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد رسید. مقدار pH و فسفر با افزایش دما ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. هدایت الکتریکی در خاک دامنه‌های شمالی و جنوبی به‌ترتیب به ۱۰۹۳ و ۸۳۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد رسید. مقدار منیزیم نیز در دماهای کم افزایش یافت، اما در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد. مقدار فسفر، پتاسیم، کلسیم و هدایت الکتریکی در خاک دامنهٔ جنوبی در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌ترتیب ۷۵، ۳۲، ۳۲ و ۱۰۰ درصد بیشتر از دامنهٔ شمالی بود. به‌طور کلی می‌توان گفت که در صورت رخداد آتش‌سوزی با شدت متوسط تا شدید در عرصه‌های طبیعی، ویژگی‌های خاک در دامنه جنوبی تأثیر بیشتری می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، خاک جنگل، خاک حرارت داده‌شده، زاگرس شمالی.

مقدمه

خاک بستر زادآوری، رشد و تکامل در جنگل است، از این‌رو بررسی اثر آتش‌سوزی به‌منزلهٔ رایج‌ترین آشفتگی بالقوه اما ویرانگر بر پویایی این اکوسیستم حائز اهمیت است (Bagheri et al., 2016). آتش‌سوزی پدیده‌ای جهانی است و از جدی‌ترین و مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی و از تهدیدهای بزرگ منابع طبیعی در جهان (Xiang et al., 2014) و نیز از عوامل اکولوژیکی تخریب و بازسازی جنگل محسوب می‌شود (Bakhshandeh 2005; Pourreza et al., 2014; Certini, Savadroodbari et al., 2017). آتش‌سوزی بسته به شدت خود که توسط عوامل محیطی مانند

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۸۷۳۳۶۲۰۵۵۱ ایمیل: v.hosseini@uok.ac.ir

مقدار، نوع و رطوبت مواد اشتعال‌پذیر، سرعت باد، درجهٔ حرارت و توپوگرافی کنترل می‌شود (Kumar et al., 2013) می‌تواند گسترهٔ وسیعی از خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک‌ها را تغییر دهد (Yazdani et al., 2020). بررسی‌ها در زمینهٔ آتش‌سوزی و خاک را می‌توان در سه طبقهٔ آتش‌سوزی‌های طبیعی، آتش‌سوزی‌های کنترل‌شده و حرارت دادن خاک در شرایط آزمایشگاه قرار داد (Martinez et al., 2022). در این سه رویکرد پژوهشی، رابطهٔ آتش و خاک مشخص شده است. مهم‌ترین متغیرهای تعیین‌کنندهٔ تأثیرات آتش، ویژگی‌های خاک همانند بافت، رطوبت و ویژگی‌های شیمیایی و مشخصه‌های آتش شامل درجهٔ حرارت و طول زمان آتش است. اطلاع از مقدار درجهٔ حرارت در طی آتش‌سوزی بسیار مهم است، زیرا دماهای مختلف اثرهای متفاوتی بر ویژگی‌های خاک به جای می‌گذارند. آتش‌سوزی‌های شدید و کنترل‌نشده، سبب از بین رفتن مواد آلی، از دست رفتن مواد معدنی، تخریب ساختمان و تخلخل خاک و فرسایش می‌شوند، اما در آتش‌سوزی‌های خفیف، با سوختن بخشی از مواد آلی خاک، عناصر قابل دسترس گیاهان افزایش می‌یابد (Certini, 2005). همچنین کاهش عناصر غذایی موجود در خاک از طریق تصعید، بسته به آستانهٔ حرارتی هر یک از عناصر غذایی و درجهٔ حرارت در طول مدت آتش‌سوزی، ممکن است متفاوت باشد. برای مثال، کربن آلی و نیتروژن در دمای بیشتر از ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تبخیر می‌شوند و در دمای حدود ۴۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد مادهٔ آلی به‌طور کامل از خاک حذف می‌شود. این عنصرها، عناصر حساس محسوب می‌شوند، اما پتاسیم و فسفر در گروه حساسیت متوسط و منیزیم و کلسیم با آستانهٔ حرارتی بالا در گروه به‌نسبت حساس قرار می‌گیرند (Mataix-Solera et al., 2002). اما چالش اصلی پی بردن به دامنهٔ درجهٔ حرارت در طی آتش‌سوزی در منطقه‌ای وسیع و اثرهای متفاوت آن بر اجزای اکوسیستم از جمله خصوصیات خاک است که تعیین آن به‌صورت مستقیم در طبیعت مشکل و پرهزینه است. به همین دلیل بررسی‌های آزمایشگاهی در زمینهٔ حرارت دادن خاک در دماهای معین طراحی می‌شود تا در شرایط کنترل‌شده و با مشخص بودن دما، بتوان اثر آن را بر ویژگی‌های خاک تعیین کرد. Terefe et al. (2008) ویژگی‌های خاک نواحی مدیترانه را تحت تأثیر درجهٔ حرارت‌های مختلف در محیط آزمایشگاهی بررسی کردند و دریافتند که با افزایش درجهٔ حرارت، واکنش خاک افزایش یافت و هدایت الکتریکی در دماهای ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش و در دمای ۵۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد. ضمن تحقیقی در جنگل‌های روستای مرانه شهرستان مریوان Yazdani et al. (2020) بیان کردند که مقدار واکنش خاک، هدایت الکتریکی، کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر قابل جذب در موقعیت نزدیک تنه به‌دلیل تجمع مواد قابل اشتعال و در نهایت افزایش شدت آتش‌سوزی افزایش پیدا کرد. همچنین Najafi-Ghiri & Boostani (2020) در بررسی اثر درجهٔ حرارت‌های مختلف بر ویژگی‌های خاک‌های آهکی در جنوب ایران به این نتیجه رسیدند که حرارت در دماهای کم (۱۰۰-۲۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) بر مقدار اسیدیته و هدایت الکتریکی تأثیری نداشت، اما تا دمای ۳۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد مقدار هدایت الکتریکی و پتاسیم کاهش پیدا کرد.

عوامل توپوگرافی در جنگل‌های کوهستانی در کوتاه‌مدت، با ایجاد تغییراتی در مقدار انرژی دریافتی اثر مهمی در تغییرپذیری ویژگی‌های خاک جنگلی دارد که جهت دامنه و مقدار شیب، از عوامل مهم آن به‌شمار می‌آیند (Seibert et al., 2007 ;Pajand et al., 2016). موقعیت و جهت دامنه می‌تواند حرکت آب و مواد را در طول یک دامنه کنترل کند و در تفاوت‌های ایجادشده در خصوصیات خاک اثر مهمی داشته باشد (Tsuia et al., 2004). نتایج بیشتر تحقیقات دربارهٔ تأثیر جهت دامنه بر خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، بیانگر حاصلخیزی و کیفیت بیشتر خاک‌های دامنهٔ شمالی نسبت به دامنهٔ جنوبی بوده است (Sadeghi et al., 2018) که این تفاوت‌ها در دو دامنه با جهت‌های

مختلف می‌تواند بر رفتار آتش اثرگذار باشد، زیرا در نیمکرهٔ شمالی، دامنه‌های رو به جنوب به‌دلیل دریافت انرژی بیشتر، گرم‌ترند و در نتیجه رطوبت کمتری نسبت به دامنه‌های شمالی مجاور خود دارند و به همین دلیل احتمال رخداد آتش در این مناطق بیشتر است (Janbaz Ghobadi, 2019). به‌طوری که در بررسی اثر جهت و موقعیت دامنه بر مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب در خاک جنگل، توسط Karamian . (2015) et al در تنگ دالاب استان ایلام گزارش شد که مقدار این عناصر در دامنهٔ شمالی از دامنهٔ جنوبی بیشتر بوده است. نظر به اهمیت و جایگاه جنگل‌های زاگرس از نظر حفاظت از آب و خاک و معیشت جنگل‌نشینان (Salmani et al., 2021)، یکی از گام‌های مهم در این زمینه، بررسی اثرهای آتش‌سوزی بر ویژگی‌های خاک در این جنگل‌هاست. به‌دلیل دشواری اندازه‌گیری درجهٔ حرارت آتش در طبیعت، به‌راحتی نمی‌توان به‌طور مستقیم دربارهٔ شدت آتش‌سوزی اظهار نظر کرد (Vakili Tajareh et al., 2019). از این‌رو به‌دلیل ضرورت شناخت کافی دربارهٔ شدت آتش‌سوزی، حرارت دادن خاک در آزمایشگاه و در دماهای مختلف یکی از مهم‌ترین گام‌ها در درک رابطهٔ متقابل بین خاک و آتش است. به همین دلیل و همچنین متفاوت بودن مقادیر اولیهٔ عناصر در خاک موقعیت‌های مختلف دامنه، هدف این پژوهش مقایسهٔ تغییرات عناصر غذایی موجود در خاک‌های دامنه‌های شمالی و جنوبی تحت تأثیر سه دمای مختلف ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط آزمایشگاهی است.

مواد و روش‌ها

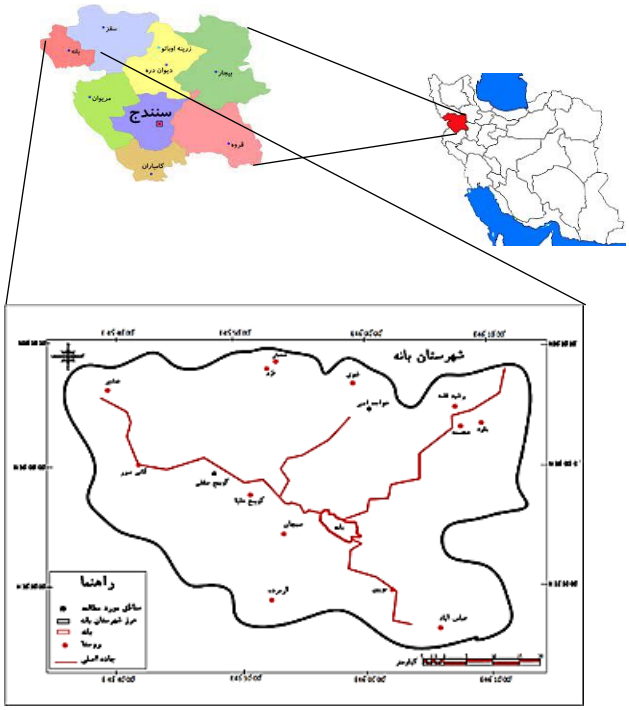
منطقهٔ پژوهش

نمونه‌های خاک از دو منطقه با مساحت ۱۷ و ۳۰ هکتار در جنگل‌های اطراف روستای خواجه‌امیر (دامنهٔ شمالی) و کوپیچ‌سفلی (دامنهٔ جنوبی) جمع‌آوری شد .این مناطق از نظر موقعیت مکانی به‌ترتیب در فاصلهٔ ۴ و ۳ کیلومتری شهرستان بانه در عرض جغرافیایی "۲۳ ´۰۱ °۳۶ و طول جغرافیایی "۲۱ ´۵۱ °۴۵ و عرض جغرافیایی "۰۸ ´۰۱ °۳۶ و طول جغرافیایی "۳۲ ´۵۱ °۴۵ قرار دارند. دامنهٔ ارتفاع از سطح دریای این مناطق ۱۵۲۵ و ۱۵۷۳ متر و درصد شیب آنها ۱۷ و ۱۲ درصد است (شکل ۱). میانگین بارندگی منطقه براساس ایستگاه سینوپتیک هواشناسی بانه (۱۳۸۸-۱۳۹۸)، ۶۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانهٔ آن ۱۴/۲ درجهٔ سانتی‌گراد است. خاک‌های منطقه از نوع قهوه‌ای آهکی در دو رده‌ی آنتی‌سول و اینسپتی‌سول است. ترکیب غالب تودهٔ این جنگل‌ها، گونه‌های وی‌ول (*Quercus libani* Olive)، برودار یا بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) و مازودار یا دارمازو (*Quercus infectoria* Lindl) است.

شیوهٔ اجرای پژوهش

مناطق انتخاب‌شده در پژوهش حاضر به‌گونه‌ای است که دارای دو جهت کاملاً شمالی و جنوبی بوده و از نظر نوع گونه‌های درختی مشابه است. پس از بازدید میدانی، به‌منظور جمع‌آوری نمونه‌های خاک، ابتدا در هر دامنه (شمالی و جنوبی) روی خطوط تراز (وسط دامنه) یک ترانسِکت پیاده شد. با حرکت روی هر ترانسِکت در هر دامنه (در ابتدای ترانسِکت) نزدیک‌ترین درخت برودار به ترانسِکت انتخاب و به فواصل ۳۰ متری هفت درخت بعدی روی خط میزان انتخاب شد (Yazdani et al., 2020). به این ترتیب در هر دامنه هشت نمونه و در مجموع شانزده نمونه خاک از عمق ۵-۰ سانتی‌متری برداشت شد (Moya et al., 2018). نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک شدن، از آلک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس هر نمونه خاک به چهار بخش مساوی تقسیم شد. یک بخش از نمونه‌ها به‌عنوان شاهد و سه بخش دیگر، هر یک به‌ترتیب در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت در کوره حرارت داده شد (Wondafrash et al., 2005). به این ترتیب در مجموع ۶۴ نمونه به‌دست آمد. pH و هدایت الکتریکی به روش پتانسیومتری به‌ترتیب به کمک

دستگاه pH متر و EC سنج اندازه‌گیری شد. مقدار کربن آلی به روش والکی و بلاک، مقدار نیتروژن به روش کجلدال، و مقدار فسفر به روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مشخص شد. مقادیر پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب به روش شعله‌سنجی اندازه‌گیری شدند. پتاسیم و کلسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر و منیزیم با دستگاه جذب اتمی مشخص شد (Jafari haghighi, 2003).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق پژوهش در کشور، استان کردستان و شهرستان بانه
Figure 1. Geographical Location of the study area in the Kurdistan province, Iran

روش تحلیل

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف بررسی شد. سپس با استفاده از آزمون لون همگنی واریانس داده‌ها بررسی شد. به‌منظور بررسی تغییرات خصوصیات خاک‌های نسوخته و حرارت داده‌شده از آزمون فاکتوریل (تجزیهٔ واریانس دوطرفه) برمبنای طرح کاملاً تصادفی با دو عامل، جهت دامنه و تیمارهای دمایی استفاده شد. برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار SPSS 16 انجام گرفت.

نتایج

کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر

نتایج آنالیز واریانس دوطرفه نشان داد که مقدار کربن آلی، نیتروژن و فسفر خاک‌ها به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) متأثر از تیمارهای مختلف دمایی و جهت دامنه بود. درحالی که اثر متقابل تیمارهای مختلف دمایی و جهت دامنه به‌جز کربن آلی معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقدار کربن در خاک شاهد دامنه‌های شمالی و جنوبی به‌ترتیب ۳/۰۹ و ۲/۶۵ درصد بود. نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن، بیانگر تفاوت معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بین میانگین‌های مقدار کربن آلی به‌جز دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد در دامنه‌های شمالی و جنوبی، نیتروژن به‌جز دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد دامنهٔ جنوبی و فسفر به‌جز دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد دامنهٔ جنوبی در هر سه تیمار مختلف دمایی نسبت به خاک نسوخته بود (شکل ۲ الف، ب و ج)، به‌صورتی که میانگین درصد کربن آلی در خاک‌های حرارت داده‌شده در تیمار دمایی ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تقریباً ثابت بود و از این دما به

بعد به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (p<۰/۰۵). مقدار نیتروژن در خاک شاهد دامنه‌های شمالی و جنوبی به‌ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۲۳ درصد بود که با افزایش درجهٔ حرارت در تیمار دمایی ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافت، اما در دو تیمار دمایی ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد. مقدار نیتروژن خاک در تیمار دمایی ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد در دو دامنهٔ شمالی و جنوبی به‌ترتیب به ۰/۰۵ و ۰/۰۲ درصد کاهش یافت. مقدار فسفر در خاک شاهد دامنهٔ شمالی و جنوبی به‌ترتیب ۴۸/۲۷ و ۲۹/۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که در تیمار دمایی ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش و از این دما به بعد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (p<۰/۰۵). مقدار فسفر خاک در تیمار دمایی ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در دو دامنهٔ شمالی و جنوبی به‌ترتیب به ۸۱/۲۷ و ۷۱/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت. همچنین تفاوت معنی‌داری (p<۰/۰۵) بین میانگین‌های مقدار کربن آلی، نیتروژن و فسفر در دامنه‌های شمالی و جنوبی نسبت به هم، به‌جز کربن آلی و نیتروژن دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد وجود داشت (p<۰/۰۵) (شکل ۲ الف، ب و ج).

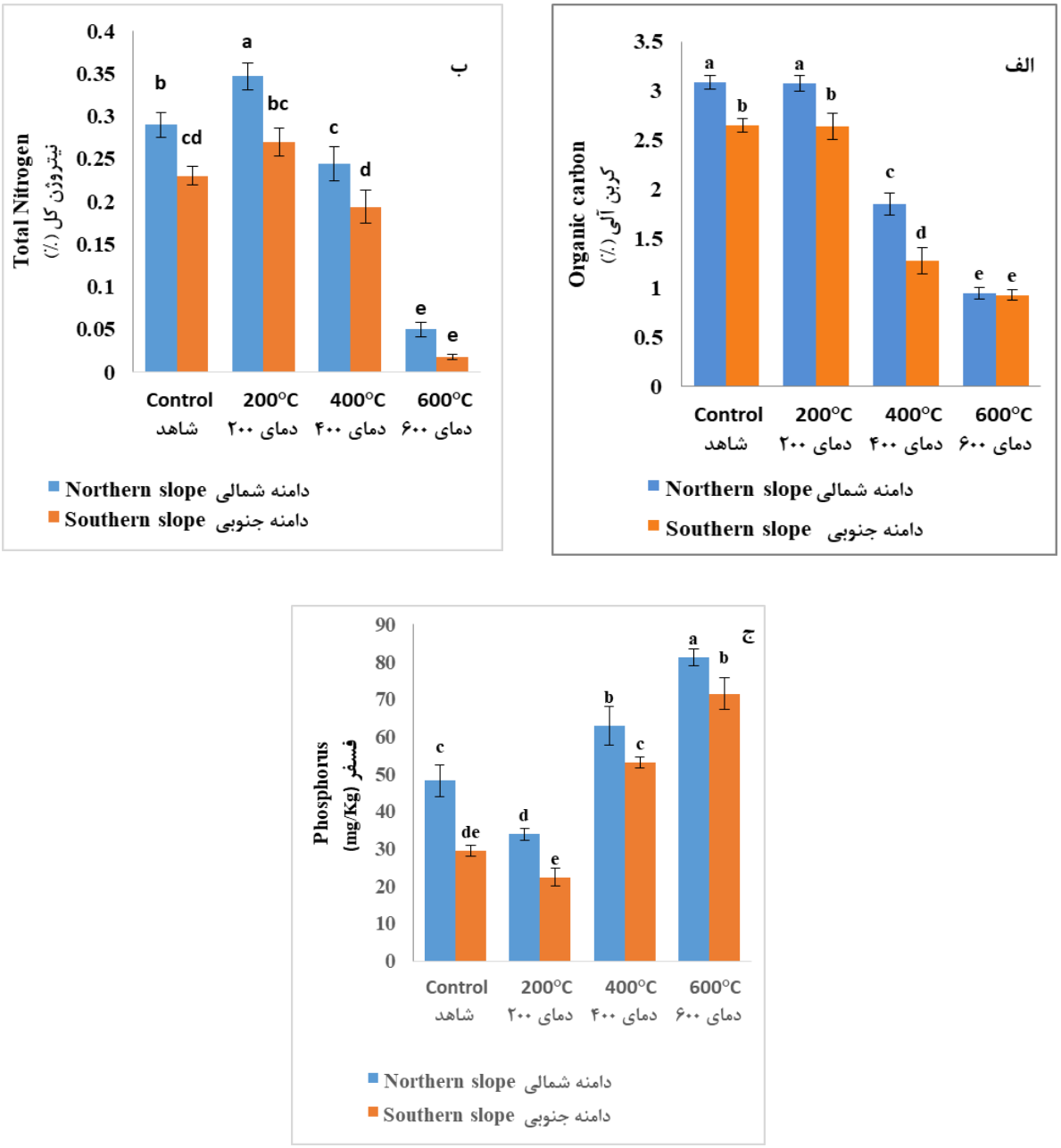
جدول ۱- تجزیهٔ واریانس خصوصیات خاک (C، N، P، K، Ca، Mg، pH و EC) خاک‌های سوخته و نسوخته در دماهای مختلف

Table 1. Analysis of variance of soil properties (C, N, P, K, Ca, Mg, pH and EC) in burned and unburned soils at different tempratures

منبع تغییرات Source of variation	میانگین مربعات Mean Square	درجهٔ آزادی df	F
کربن (درصد) C (%)			
جهت دامنه Slope aspect (S)	2.09	1	27.33**
تیمارهای دمایی Temperature treatments (T)	14.93	3	194.49**
اثرمتقابل Interaction (T×S)	0.23	3	3.04**
نیتروژن (درصد) N (%)			
جهت دامنه Slope aspect (S)	0.04	1	24.43**
تیمارهای دمایی Temperature treatments (T)	0.23	3	124.56**
اثر متقابل Interaction (T×S)	0.001	3	0.71ns
فسفر P (mg/Kg)			
جهت دامنه Slope aspect (S)	2493.25	1	30.31**
تیمارهای دمایی Temperature treatments (T)	7254.30	3	88.19**
اثر متقابل Interaction (T×S)	74.97	3	0.91ns
پتاسیم K (mg/Kg)			
جهت دامنه Slope aspect (S)	4710.93	1	34.80**
تیمارهای دمایی Temperature treatments (T)	4106.65	3	30.33**
اثر متقابل Interaction (T×S)	128.00	3	0.94ns
کلسیم Ca (mg/Kg)			
جهت دامنه Slope aspect (S)	3.25 E7	1	74.98ns
تیمارهای دمایی Temperature treatments (T)	9798903.74	3	22.74**
اثر متقابل Interaction (T×S)	552169.00	3	1.27ns
منیزیم Mg (mg/Kg)			
جهت دامنه Slope aspect (S)	10733.99	1	0.49ns
تیمارهای دمایی Temperature treatments (T)	1279997.49	3	59.39**
اثر متقابل Interaction (T×S)	1426.95	3	0.06ns
اسیدیته pH			
جهت دامنه Slope aspect (S)	0.24	1	8.55ns
تیمارهای دمایی Temperature treatments (T)	2.58	3	90.72**
اثر متقابل Interaction (T×S)	0.02	3	0.92ns
هدایت الکتریکی EC (ms/cm)			
جهت دامنه Slope aspect (S)	310084.70	1	26.84**
تیمارهای دمایی Temperature treatments (T)	1847771.22	3	159.94**
اثر متقابل Interaction (T×S)	29931.92	3	2.59ns

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns معنی‌دار نبودن

** Significantly at 95 % confidence interval, ns: No significant difference



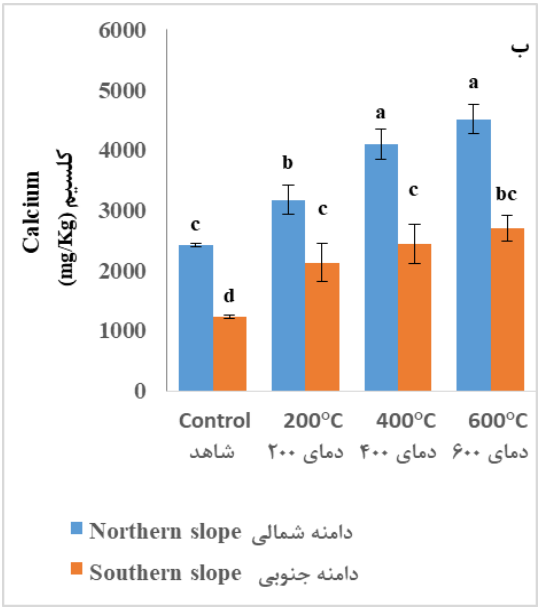
شکل ۲- میانگین± اشتباه معیار کربن آلی، نیتروژن و فسفر خاک‌های نسوخته و حرارت داده‌شده

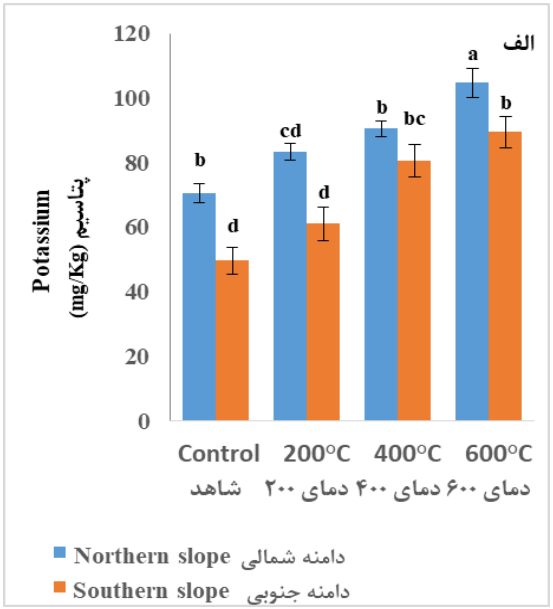
Figure 2. Mean ± standard erorr of organic carbon, nitrogen and phosphorus in control and heated soils

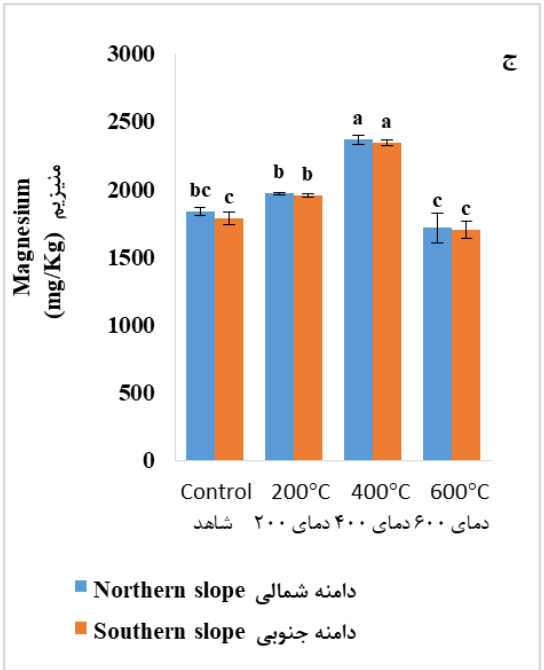
پتاسیم، کلسیم و منیزیم تبادلی

نتایج تحلیل آماری نشان داد که تیمارهای مختلف دمایی بر مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم و جهت دامنه بر مقدار پتاسیم و کلسیم به‌طور معنی‌داری تأثیر گذاشت ($p<۰/۰۵$). درحالی که اثر متقابل تیمارهای مختلف دمایی و جهت دامنه معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقدار پتاسیم در خاک شاهد دامنه‌های شمالی و جنوبی به‌ترتیب ۷۰/۶۷ و ۴۹/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. با توجه به آزمون چنددامنه‌ای دانکن، میانگین‌های مقدار پتاسیم به‌جز دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد دامنهٔ شمالی و دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد دامنهٔ جنوبی و کلسیم در خاک‌های حرارت داده‌شده نسبت به خاک‌های نسوخته، با افزایش درجهٔ حرارت، به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش یافت (شکل ۳ الف و ب). مقدار منیزیم نیز در تیمارهای دمایی ۲۰۰ و ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد

افزایش و از این دما به بعد کاهش یافت. اختلاف مقدار کلسیم در تیمارهای مختلف دمایی و خاک نسوخته در دامنهٔ شمالی و جنوبی نسبت به هم معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$) و در تیمار دمایی ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد در دامنهٔ شمالی ۴۵۱۷/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و در دامنهٔ جنوبی ۲۶۹۹/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، درحالی که در مقدار منیزیم اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۳ ج). مقدار پتاسیم نیز در خاک‌های نسوخته و در تیمار دمایی ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($p<۰/۰۵$) (شکل ۳ الف). مقدار پتاسیم خاک در تیمار دمایی ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در دو دامنهٔ شمالی و جنوبی به‌ترتیب به ۱۰۴/۷۰ و ۸۹/۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت.





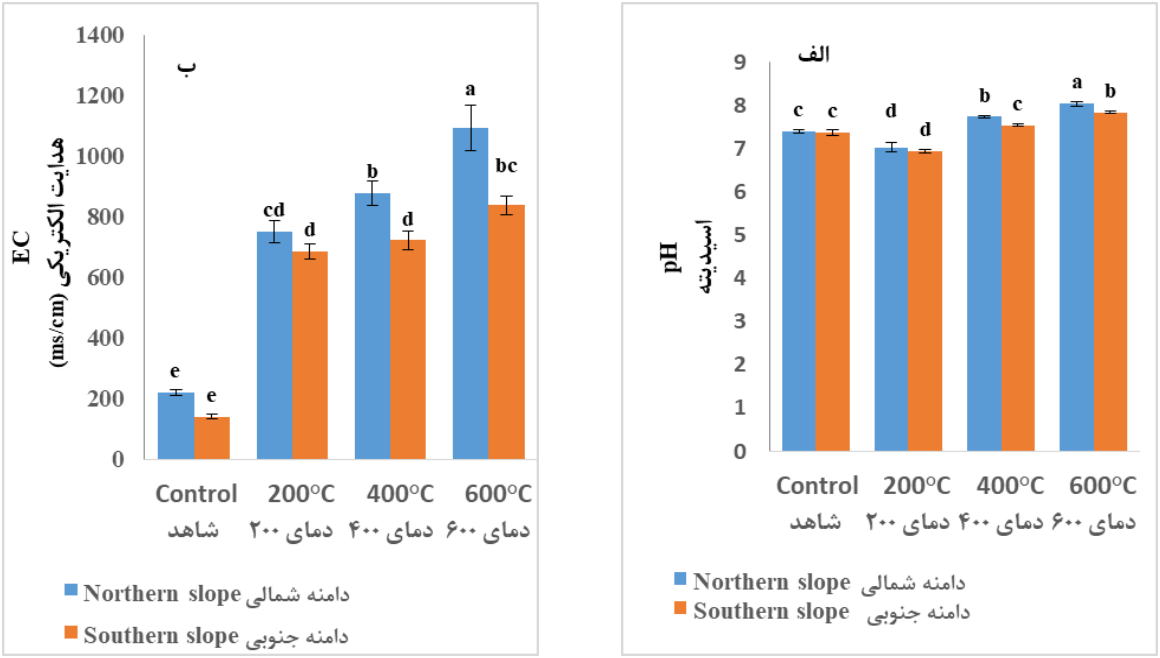


شکل ۳- میانگین± اشتباه معیار پتاسیم، کلسیم و منیزیم خاک‌های نسوخته و حرارت داده‌شده

Figure 3. Mean ± standard erorr of potasium, calsium and magnisium in control and heated soils

اسیدیته و هدایت الکتریکی

بررسی نتایج آماری نشان داد که مقدار pH و هدایت الکتریکی خاک‌ها به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) متأثر از تیمارهای مختلف دمایی و جهت دامنه بود. درحالی که اثر متقابل آنها معنی‌دار نبود (جدول ۱). در خاک شاهد مقدار pH در دامنهٔ شمالی ۷/۴۱ و در دامنهٔ جنوبی ۷/۳۷ اندازه‌گیری شد. مقدار هدایت الکتریکی در خاک شاهد دامنه‌های شمالی و جنوبی به‌ترتیب ۲۲۵/۴۳ و ۱۴۰/۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود. با توجه به آزمون چنددامنه‌ای دانکن، میانگین‌های مقدار هدایت الکتریکی در خاک‌های حرارت داده‌شده در هر سه تیمار مختلف دمایی نسبت به خاک نسوخته، به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش پیدا کرد (شکل ۴ الف). مقدار pH در تیمار دمایی ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت به خاک نسوخته کاهش و از این دما به بعد، به‌جز دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد دامنهٔ جنوبی به‌طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) افزایش یافت (شکل ۴ ب). همچنین میانگین‌های مقدار اسیدیته و هدایت الکتریکی، در دامنه‌های شمالی و جنوبی نسبت به هم، در تیمارهای دمایی ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری داشتند ($p<۰/۰۵$) (شکل ۴ الف و ب).



شکل ۴- میانگین± اشتباه معیار اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک‌های نسوخته و حرارت داده‌شده

Figure 4. Mean ± standard erorr of pH and EC in control and heated soils

تغییرات ویژگی‌های خاک دو دامنه در تیمارهای مختلف دمایی

در دامنهٔ جنوبی درصد تغییرات نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و هدایت الکتریکی خاک در تیمار دمایی ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت به شاهد بیشتر از مقدار این نسبت در دامنهٔ شمالی است (جدول ۲). درحالی که مقدار pH، منیزیم و کربن در دامنهٔ شمالی مقدار اندکی بیشتر است. در دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌جز هدایت الکتریکی و کلسیم، در بقیهٔ متغیرها درصد تغییرات نسبت به شاهد همان دامنه، بین دو دامنهٔ شمالی و جنوبی تفاوت چندانی دیده نمی‌شود. اما در دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد، درصد تغییرات کربن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و هدایت الکتریکی نسبت به شاهد همان دامنه، در دامنهٔ جنوبی بیشتر از دامنهٔ شمالی است (جدول ۲).

جدول ۲- درصد تغییرات ویژگی‌های خاک هر دامنه نسبت به شاهد همان دامنه در تیمارهای مختلف دمایی

Table 2. Percentage of changes in soil properties of each slope aspect compared to the control of the same slope in different temperature treatments

متغیرParameter تیمارهای دمایی temperature treatments	کربن C	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	pH	هدایت الکتریکی EC
دمای ۲۰۰ شمالی Northern slope 200° C	-0.42	19.66	-29.64	17.99	31.27	7.10	-5.12	240.97
دمای ۴۰۰ شمالی Northern slope 400° C	- 40.05	-15.86	30.46	28.16	69.72	28.66	4.43	298.64
دمای ۶۰۰ شمالی Northern slope 600° C	-69.34	-82.76	68.36	48.14	86.78	-6.73	8.48	395.90
دمای ۲۰۰ جنوبی Southern slope 200° C	-0.38	17.39	-23.65	22.87	71.96	9.35	-5.87	387.54
دمای ۴۰۰ جنوبی Southern slope 400° C	-51.88	-15.65	80.78	62.12	97.21	31.19	2.22	413.68
دمای ۶۰۰ جنوبی Southern slope 600° C	-64.91	-92.17	143.15	80.07	118.14	-4.54	6.16	496.47

علامت منفی نشانگر کاهش است

Negative sign indicate decrease

بحث

درجهٔ حرارت به‌طور چشمگیری بر ترکیبات عناصر غذایی خاک‌های دامنهٔ شمالی و جنوبی و در دسترس بودن آن اثر گذاشت، به‌طوری که حرارت دادن در دماهای زیاد (۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد) سبب حذف و از دسترس خارج شدن مقدار زیادی کربن آلی و نیتروژن از خاک شد. علت کاهش کربن آلی و نیتروژن خاک ممکن است خروج و تصعید آنها در دماهای زیاد باشد (Johnson, 1992) در این زمینه یافتهٔ Nazari et al. (2012) در جنگل‌های زاگرس نشان داد که بیشترین مقدار کربن آلی و نیتروژن تا دمای ۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد و همچنین کاهش آنها از دمای ۲۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد به بالا بود. آنان علت کاهش کربن آلی را خروج و سوختن کربن آلی و تبدیل آنها به خاکستر و علت کاهش نیتروژن را تصعید آن در دماهای زیاد گزارش کردند. همچنین Yazdani et al. (2020) به این نتیجه رسیدند که به‌علت تفاوت در مقدار تجمع مواد قابل اشتعال با افزایش فاصله از تنهٔ درخت و کاهش شدت آتش‌سوزی، مقدار کربن آلی و نیتروژن افزایش پیدا کرد. Glass et al. (2008) نیز تغییر چندانی در مقدار نیتروژن کل در دماهای کم در آزمایشگاه مشاهده نکردند، اما در دماهای زیاد با وجود مقدار رطوبت اولیهٔ در خاک، نیتروژن کل کاهش یافته بود. بررسی نتایج آماری بیانگر معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) میانگین درصد کربن آلی در خاک نسوختهٔ دامنهٔ شمالی نسبت به دامنهٔ جنوبی بود، به‌طوری که مقدار آن همواره در دامنهٔ شمالی بیشتر بود. علت این موضوع را می‌توان افزایش مقدار لاشبرگ در دامنه‌های شمالی، به‌دلیل تراکم پوشش گیاهی و درختان بیشتر نسبت به دامنهٔ جنوبی مرتبط دانست (Sadeghi et al., 2018). همچنین مطابق با کربن آلی، میانگین درصد نیتروژن نیز در خاک‌های نسوخته و در تیمارهای دمایی ۲۰۰ و

۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد معنی‌دار (p<۰/۰۵) و مقدار آن در دامنهٔ شمالی بیشتر بود. از علل افزایش نیتروژن در دامنهٔ شمالی می‌توان ارتباط بسیار نزدیک آن با مواد آلی را نام برد، به‌طوری که با افزایش مادهٔ آلی خاک، مقدار نیتروژن نیز افزایش می‌یابد (Sadeghi et al., 2018). بنابراین می‌توان گفت که به‌دلیل تراکم و درصد زیاد تاج‌پوشش درختان و تولید لاشبرگ بیشتر، مقدار نیتروژن نیز در دامنهٔ شمالی افزایش یافته است (Karamian et al., 2015). به این ترتیب، تفاوت میانگین مقدار کربن آلی و نیتروژن در دو دامنه، به‌دلیل تیمارهای مختلف دمایی و اختلاف در مقادیر اولیهٔ خاک‌های نسوخته دو دامنه بوده است. همچنین با افزایش درجهٔ حرارت (دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد) قسمت عمدهٔ مادهٔ آلی و نیتروژن خاک طی فرایند حرارت، تبخیر می‌شود و می‌سوزد و از این‌رو با هر محتوای اولیه، به مقدار یکسانی در دو دامنه رسیده است.

تغییرات در مقدار فسفر خاک به شدت آتش‌سوزی و مدت زمان آن بستگی دارد، بنابراین فسفر دارای آستانهٔ حرارتی بالایی است و تصعید آن در دماهای بیشتر (۷۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد) آغاز می‌شود (Debell & Ralston, 1970). براساس نتایج پژوهش حاضر، میانگین مقدار فسفر تا دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت به خاک‌های نسوخته کاهش و از این دما به بعد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (p<۰/۰۵). به‌طور معمول افزایش دما، سبب سوختن مادهٔ آلی و تبدیل آن به مواد معدنی می‌شود (Nazari et al., 2012). برپایهٔ نظر Nazari et al. (2012) مقدار فسفر تا دمای ۳۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش و پس از آن در دمای ۴۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش پیدا کرد. ایشان علت کاهش را جذب زیاد فسفر خاک یا تصعید اورتوفسفات پس از آتش‌سوزی بیان داشتند. همچنین Yazdani et al. (2020) از علل افزایش فسفر در موقعیت نزدیک تنه (شدت زیاد آتش‌سوزی) را معدنی شدن مادهٔ آلی در دماهای زیاد گزارش کردند. برخلاف کربن آلی و نیتروژن، میانگین مقدار فسفر در خاک‌های دامنهٔ شمالی و جنوبی نسبت به یکدیگر، هم در خاک‌های نسوخته و هم در تیمارهای مختلف دمایی معنی‌دار (p<۰/۰۵) و مقدار آن در دامنهٔ شمالی بیشتر بود. این تفاوت‌ها ممکن است به‌دلیل تیمارهای مختلف دمایی و محتوای اولیهٔ خاک‌های نسوخته دو دامنه باشد. افزایش مقدار لاشبرگ ممکن است از علل افزایش فسفر در دامنهٔ شمالی باشد که خود بر بیشتر بودن مقدار فسفر تأثیرگذار است (Karamian et al., 2015). بنابراین می‌توان اذعان کرد که پوشش گیاهی منبع اصلی فسفر خاک است.

پتاسیم، کلسیم و منیزیم معمول‌ترین کاتیون‌هایی هستند که پس از وقوع آتش‌سوزی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Alcaniz et al., 2016). براساس نتایج این پژوهش، مقدار پتاسیم و کلسیم در هر سه تیمار مختلف دمایی نسبت به خاک نسوخته افزایش یافت. علت افزایش این عناصر ممکن است سوختن و اکسید شدن بیشتر مادهٔ آلی باشد که موجب آزادسازی کاتیون‌های بازی به مقدار فراوان می‌شود (Jensen et al., 2001). مقدار منیزیم نیز در تیمارهای دمایی ۲۰۰ و ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش و از این دما به بعد کاهش پیدا کرد. علت کاهش آن در دماهای زیاد ممکن است تبخیر و از دسترس خارج شدن این عناصر باشد (Jensen et al., 2001). برپایهٔ یافته‌های Yazdani et al. (2020) مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم در موقعیت نزدیک تنه به‌دلیل شدت زیاد آتش‌سوزی افزایش پیدا کرد. ایشان علت این موضوع را افزوده شدن خاکستر حاصل از سوختن مواد قابل اشتعال روی خاک و شدت زیاد آتش‌سوزی بیان داشتند. در این زمینه براساس یافته‌های Goh & Philips (1991) آتش‌سوزی‌های ضعیف تا متوسط سبب آزاد شدن ۸۰ تا ۹۰ درصد از یون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم شده است. برپایهٔ نتایج این پژوهش، اختلاف مقدار پتاسیم با افزایش درجهٔ حرارت در دو دامنه، فقط در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد معنی‌دار

بوده است (p<۰/۰۵). بنابراین می‌توان گفت دلیل نبود تفاوت در دماهای کم، زیاد بودن دمای تصعید پتاسیم (۷۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد) باشد که به‌راحتی از بین نمی‌رود و علت تفاوت در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد نزدیک شدن به دمای تصعید این عنصر است. همچنین منشأ مهم کلسیم نیز در طبیعت، خاک‌های آهکی و کربنات‌ها هستند (Shahui, 2006). در منطقهٔ پژوهش، خاک‌ها نیز از نوع قهوه‌ای آهکی‌اند (Nazari et al., 2012). به این ترتیب، این تفاوت در هر سه تیمار مختلف دمایی کاملاً مشهود و معنی‌دار (p<۰/۰۵) بوده و اختلاف مقدار آن در دو دامنه نسبت به هم، به‌دلیل اختلاف در مقادیر اولیهٔ خاک‌های نسوخته و تیمارهای مختلف دمایی بوده است. همچنین مقدار منیزیم در خاک‌های با سنگ مادری آهکی بیشتر از منطقهٔ با سنگ مادری دگرگونی بوده که دلیل آن، آزاد شدن عنصر منیزیم در اثر هوادیدگی کانی‌های منیزیم‌دار است (Oyonarte et al., 2008). در پژوهش حاضر، با وجود بیشتر بودن مقدار منیزیم در دامنهٔ شمالی نسبت به دامنهٔ جنوبی، این تفاوت در خاک‌های نسوخته و در تیمارهای مختلف دمایی معنی‌دار نیست. مقدار منیزیم در خاک‌ها تابع سنگ مادر، اقلیم و بافت خاک است و ازآنجا که مقدار این عنصر در خاک تابعی از مقدار هوادیدگی کانی‌هاست، پوشش گیاهی تأثیر چندانی بر آن ندارد و بیشتر تحت تأثیر منشأ سنگ‌شناسی منطقه قرار می‌گیرد (Shahui, 2006).

براساس نتایج این پژوهش، مقدار pH در تیمار دمایی ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت به خاک نسوخته کاهش و از این دما به بعد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. دلیل این افزایش می‌تواند، سوختن مادهٔ آلی در دماهای زیاد باشد که به آزاد شدن مقدار زیادی از کاتیون‌های بازی منجر می‌شود (Certini, 2005). علت احتمالی این کاهش اسیدیته، کاهش تأثیرات اکسیداسیون عناصر خاص، کم‌آبی کلوئیدها و عملکرد بافر به‌دلیل افزایش ترکیبات اسیدهای آلی ناشی از فرایندهای میکروبی است (Parlak, 2011). Parlak (2011) علت افزایش مقدار pH در دمای ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد را، تشکیل اکسیدهای فلزی در این دما گزارش کرد. همچنین Najafi-Ghiri & Boostani (2020) تغییر نکردن مقدار pH پس از حرارت را گزارش کرد که علت را کم بودن مادهٔ آلی خاک‌ها و در نتیجه مقدار زیاد کربنات‌ها بیان کردند. افزایش مقدار pH تحت تأثیر آتش‌سوزی با شدت زیاد در طبیعت در پژوهش Ulery et al. (1993) گزارش شد. ایشان علت را تشکیل اکسیدها، هیدروکسیدها و کربنات‌های پتاسیم و سدیم بیان داشتند. همچنین Fernandez et al. (1997) دلیل معنی‌داری (p<۰/۰۵) افزایش مقدار pH در دماهای زیاد در خاک سوخته را ماهیت قلیایی بودن خاکستر حاصل از سوختن پوشش گیاهی برشمردند. علت افزایش معنی‌دار (p<۰/۰۵) مقدار هدایت الکتریکی در هر سه تیمار مختلف دمایی، ممکن است آزاد شدن یون‌ها در نتیجهٔ سوختن و از بین رفتن گروه‌های هیدروکسیلی و همچنین تجزیهٔ کمپلکس‌های مواد آلی و آزاد شدن کاتیون‌های بازی مانند کلسیم باشد (Singh et al. 2017). در این زمینه، افزایش مقدار هدایت الکتریکی در آتش‌سوزی طبیعی با شدت زیاد (Banej 2010 Shafiei et al. ممکن است به‌دلیل افزایش سوختن مادهٔ آلی تجمع‌یافته در کف جنگل و در نتیجه آزاد شدن کاتیون‌های بازی باشد. براساس نتایج این پژوهش، اختلاف مقدار اسیدیته در دامنه‌های شمالی و جنوبی معنی‌دار نیست. اسیدیته به‌طور معمول با حضور یون‌های منیزیم، کلسیم و به‌ویژه سدیم تبادلی در خاک مرتبط است. از این‌رو به‌دلیل اینکه خاک‌های منطقهٔ پژوهش دارای سدیم اندکی است، اسیدیته در دو دامنه تفاوت چندانی ندارد. به این ترتیب، با افزایش درجهٔ حرارت این اختلاف در دو تیمار دمایی ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد معنی‌دار (p<۰/۰۵) است که ممکن است به‌دلیل افزایش شدت حرارت و آزاد شدن مقدار زیادی از کاتیون‌ها باشد. مطابق با

اسیدیته، مقدار هدایت الکتریکی نیز در دو دامنه اختلاف معنی‌داری نداشت. سازندهای زمین‌شناسی منطقهٔ پژوهش دارای املاح زیادی نیستند و از این‌رو با اینکه هدایت الکتریکی کمی دارند، اختلاف دو دامنه معنی‌دار نشده است. با افزایش درجهٔ حرارت، این اختلاف در دو تیمار دمایی ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) شده است که ممکن است به‌دلیل آزاد شدن مقدار زیادی از کاتیون‌های کلسیم، از بین رفتن گروه‌های هیدروکسیلی و افزایش شدت حرارت باشد.

براساس نتایج، در طی فرایند حرارت دادن، مقدار کربن آلی و نیتروژن کل در دماهای زیاد کاهش زیادی داشت. افزایش کلسیم، پتاسیم و هدایت الکتریکی در هر سه تیمار دمایی مشاهده شد. مقدار منیزیم در دو تیمار دمایی ۲۰۰ و ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش و در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش معنی‌داری پیدا کرد. مقدار فسفر و اسیدیته نیز در دمای ۲۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش و در دو تیمار دمایی ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش نشان داد. به‌طور کلی می‌توان گفت که مقدار عناصر غذایی بسته به ماهیت هر عنصر و تحت تأثیر درجهٔ حرارت‌های مختلف، شرایط سوختن و موقعیت مکانی رخداد آتش ممکن است کاهش یا افزایش یابد. همچنین عاملی همچون توپوگرافی، موجب ایجاد اثر بر ویژگی‌های خاک و متفاوت بودن خصوصیات آن می‌شود. از این‌رو مقدار عناصر در دو دامنه و در تیمارهای مختلف دمایی، بسته به شدت‌های مختلف و مقادیر اولیهٔ خاک‌های نسوخته متفاوت است. بیشترین تغییرات در ویژگی‌های خاک نسبت به شاهد همان دامنه، در دامنهٔ جنوبی و در دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد مشاهده شد. با توجه به نتایج این تحقیق، در شرایط مشابه وقوع آتش از لحاظ شدت و دمای ایجادشده، می‌توان گفت که در عرصه‌های طبیعی در دامنه‌های جنوبی، ویژگی‌های خاک از حرارت حاصل از آتش‌سوزی‌های متوسط تا شدید می‌تواند تأثیر بیشتری بگیرد که نشان‌دهندهٔ اثرگذاری بیشتر حرارت ناشی از آتش در خاک این دامنه نسبت به دامنهٔ شمالی است.

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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.115

Bagheri, F., Basiri, R., Amiriachekan, A., Mohammadzade, A., & Bazgir, M. (2016). The effect of fire on some soil chemical properties of Bankool forests in Ilam province. *Journal. of Wood & Forest Science and Technology, 23*(3), 69-87. 10.22069/jwsc.2018.14895.2998

Bakhshandeh Savadroodbari, M., Maleknia, R., Banj Shafiei, A., Zargaran, M., & Badehian, Z. (2017). The effect of wildfire on the species of soil macro fauna (Case study: Sardasht Forests, West Azerbaijan). *Iranian Journal of Forest, 9(2),* 215-231.

Banej Shafiei, A., Akbarinia, M., Azizi, P., & Eshaghi Rad, J. (2010). Impacts of fire on some chemical properties of forest soil in north of Iran (Case syudy: Kheyroudkenar forest). *Iranian Journal of Forest Poplar Research, 3*(18), 365-379.

Certini, G. (2005). Effect of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia, 143*, 1-10. 10.1007/s00442-004-1788-8

DeBell, D.S., & Ralston, C.W. (1970). Release of nitrogen by burning light forest fuels. *Soil Science Society of America Proceeding, 34,* 936-938. https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400060033x

Fernandez, I., Cabaneiro, A., & Carballas, T. (1997). Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. *Soil Biology and Biochemistry, 29,* 1-11. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00289-1

Glass, D.W., Johnson, D.W., Blank, R.R., & Miller, W.W. (2008). Factors affecting mineral nitrogen transformations by soil heating: a laboratory-simulated fire study. *Soil Science, 173*(6), 378-400. 10.1097/SS.06013e31817e6dd

Goh, K., & Phillips, M.J. (1991). Effects of clearfell logging and burning of a *Nothofagus* forest on soil nutrient dynamics in South Island, New Zealand-changes in forest floor organic matter and nutrient status. *New Zealand Journal Botanic, 29*(1), 367-384. https://doi.org/10.1080/0028825X.1991.10415490

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

Janbaz ghobadi, Gh. (2019). Survey of forest fire risk areas in Golestan province, Based on fire risk index (FRSI) using the technique (GIS). *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 6*(3), 89-102.

Jensen, M., Michelsen, A., & Gashaw, M. (2001). Responses in plant, soil inorganic and microbial nutrient pools to experimental fire, ash and biomass addition in a woodland savanna. *Ecology, 128,* 85–93. 10.1007/s004420000627

Johnson, D.W. (1992). Effects of forest management on soil carbon storage. *Water Air Soil Pollution, 64*, 83-120.

Karamian, M., & Hosseini, V. (2015). Effect of Position and Slope Aspect on Organic Carbon, Total Nitrogen and Available Phosphorus in Forest Soils (Case Study: The Forest of Ilam Province, Dalab). *Journal of Water and Soil Science, 19*(71), 109-117. 10.18869/acadpub.jstnar.19.71.109

Kumar, M., Sheikh, M.A., Bhat, J.A., & Bussmann, R.W. (2013). Effect of fire on soil nutrients and under storey vegetation in Chir pine forest in Garhwal Himalaya, India. *Acta ecologica sinica, 33*, 59-63. 10.1016/j.scitotenv.2022.153654

Martinez, S.I., Contreras, C.P., Acevedo, S.E., & Bonilla, C.A. (2022). Unveiling soil temperature reached during a wildfire event using ex-post chemical and hydraulic soil analysis. *Science of The Total Environment, 822*, 42-51. 10.1016/j.scitotenv.2022.153654

Mataix-Solera, J., Gomez, I., Navarro-Pedreno, J., Guerrero, C., & Moral, R., (2002). Soil organic matter and aggregates affected by wildfire in a Pinus halepensis forest in a Mediterranean environment. *Inter Journal Wildfire, 11*, 107-114. DOI:10.1071/WF02020

Moya, D., González-De Vega, S., García-Orenes, F., Morugán-Coronado, A., Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Lucas-Borja, ME., & De las Heras J. (2018). Temporal characterisation of soil-plant natural recovery related to fire severity in burned Pinus halepensis Mill. forests. *Science of The Total Environment, 640-641*, 42-51. 0.1016/j.scitotenv.2018.05.212

Najafi-ghiri, M., & Boostani, H.R. (2020). Effect of heating on some soil properties and potassium dynamics in calcareous soils of southern Iran. *Soil use and management, 37*(3), 519-532. https://doi.org/10.1111/sum.12593

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), 25-37. 10.22092/ijfpr.2012.6098

Oyonarte, C., Aranda, V., & Durante, P. (2008). Soil surface properties in Mediterranean mountain ecosystems: Effect of environmental factor and implications of management. *Forest Ecology and Management, 254*(2), 156-165. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.034

Pajand, M.J., Emami, H., & Astaraee, A. (2016). Relationship between Topography and Some Soil Properties. *Journal of water and Soil, 29*(6), 1699-1710. 10.22067/jsw.v29i6.44736

Parlak, M. (2011). Effect of heating on some physical, Chemical and Mineralogical aspects of forest soil. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19*, 143-152.

Pourreza, M., Hosseini, S.M., Sinegani, A.A.S., Matinizadeh, M. & 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. DOI:10.1016/j.geoderma.2013.07.024

Sadeghi, S., Mohammadi Samani, K., Hosseini, V., & Shakeri, Z. (2018). Effect of aspect on some soil chemical properties in the forest (Case study: Bane, Armardeh forest). The 4th National congress Energy, Agriculture and Sustainable Architecture, Sanandaj, Islamic Azad University, Sanandaj Branch, 562-571. 10.22067/jsw.2022.77579.1180

Salmani, A., Porsaeed, A.R., Bayramzadeh, V., & Eshraghi Samani, R. (2021). Explaining the criteria and indicators of sustainable management of forests in Zagros basin from the point of view of forest specialists and experts. *Iranian Journal of Forest*, *13*(1), 43-58.

Seibert, J., Stendahl, J., & Sorensen, R. (2007). Topographical influences on soil properties in boreal forests. *Geoderma, 141,* 139-148. DOI:10.1016/j.geoderma.2007.05.013

Shahui, S. (2006). Nature and Properties of Soils (Translation) First Edition, Kurdistan University Press, Sanandaj, Iran 884 pp. 10.22059/ijswr.2022.331427.669086

Singh, A.K., Kushwaha, M., Rai, A., & Singh, N. (2017). Changes in soil microbial response across year following a wildfire in tropical dry forest. *Forest Ecology Managment, 391*, 458–468. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.042

Terefe, T., Mariscal-Sancho, I., Peregrina, F., & Espejo, R. (2008). Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. *Geoderma, 143*(3-4), 273-280. 10.1016/j.geoderma.2007.11.018

Tsuia, Ch.Ch., Chen, Z.S., & Hsieh, C.F. (2004). Relationsships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. *Geoderma, 123*(1-2), 131- 142. https://doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.031

Ulery, A.L., Graham, R.C., & Amrhein, C. (1993). Wood-ash composition and soil Ph following intense burning. *Soil Science, 156*, 358-364. https://doi.org/10.1097/00010694-199311000-00008

Vakili Tajareh, S., Hosseini, V., & Mohammadi Samani, K. (2019). Effect of different temperatures on the physio-chemical properties of Aleppo oak ash litter under laboratory conditions. *Iranian Journal of Forest, 11(2)*, 269-280.

Wondafrash, T.T., Sancho, I.M., Miguel, V.G., & Serrano, R.E. (2005). Relationship between soil color and temperature in the surface horizon of Mediterranean soils: A laboratory study. *Soil Science, 170* (7), 495-503. https://doi.org/10.1097/01.ss.0000175341.22540.93

Xiang, X., Shi, Y., Yang, J., Kong, J., Lin, X., Zhang, H., Zeng, J., & Chu, H. (2014). Rapid recovery of soil bacterial communities after wildfire in a Chinese boreal forest. *Scientific Reports, 4*(3829), 1-8. https://doi.org/10.1038/srep03829

Yazdani, E., Hosseini, V., & Mohammadi Samani, K. (2020). Effect of Wildfire on some Chemical Properties of Forest Soil Near Base Trunk and Crown Border of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Journal of Water and Soil. 33*(6), 913-922. 10.22067/jsw.v33i6.80914

Iranian Journal of Forest
Vol. 14, No. 4, Winter 2023
pp. 457-471

Research Article

Comparison effect of prescribed heat on some chemical properties of soil under Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) in laboratory conditions

D. Ahmadi[1], V. Hosseini[2*], K. Mohammadi Samani[2]

[1] M.Sc. Graduate student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran
[2] Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan and Dr. Hedayat Ghazanfari Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, Sanandaj, I. R. Iran

(Received: 21 February 2022; Accepted: 18 May 2022)

Abstract

Fire is one of the most important natural disturbances in forest ecosystems, and it has significant effects on soil properties depending on its severity and duration. The aim of this study was to compare the properties of forest soil beneath Iranian oak (*Quercus brantii* Lindl.) on northern and southern slopes that were heated under laboratory conditions. To collect soil samples, northern and southern slopes were selected in the forest area of Baneh. A transect was established on the counter lines of both slopes. On each transect, the closest tree to the transect was selected, and the next seven trees were chosen at 30-meter intervals. In total, sixteen soil samples were taken from a depth of 0-5 cm. The soil samples were divided into four parts in the laboratory (unburned soil and three treatments heated at 200, 400, and 600°C). The amount of organic carbon did not change at 200°C but decreased after that. The amount of nitrogen increased at a temperature of 200°C and then decreased to 0.05 and 0.02 at 600°C in the soil of the northern and southern slopes, respectively. The pH and phosphorus levels decreased initially and then increased. The electrical conductivity was 1093 and 838 µS/cm at 600°C in the soil of the northern and southern slopes, respectively. The amount of magnesium increased in treatments of 200 and 400°C but decreased in treatments of 600°C. The amount of phosphorus, potassium, calcium, and electrical conductivity in the soil of the southern slope was 75%, 32%, 32%, and 100% higher than that of the northern slope at 600°C treatment, respectively. In conclusion, it can be inferred that the soil properties of southern aspects can be more affected than those of northern aspects by heat of fire with moderate to high severity.

Keywords: Fire, Forest Soil, Heated Soil, Northern Zagros.

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