"مقاله پژوهشی"

تغییرات ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک پس از آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس

میترا کریمی نسب[۱]، علی بهشتی آل آقا[۲] و مرتضی پوررضا[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه رازی
۲- دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه رازی، (نویسنده مسوول: beheshtiali97@gmail.com)
۳- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه رازی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۷
صفحه: ۶۸ تا ۷۹

چکیده

مقدمه: آتش‌سوزی یک عامل اکولوژیک در جنگل به‌شمار می‌رود که طی آن اکثر گیاهانی که در حال رویش هستند، آسیب می‌بینند. آتش‌سوزی با سوزاندن پوشش گیاهی سطح خاک، می‌تواند موجب اثرات منفی و یا حتی مثبت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و پوشش گیاهی خاک شود. با توجه به این‌که تاکنون بررسی‌های فراوانی در مورد اثر آتش‌سوزی‌های طبیعی بر ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی انجام شده است، اما تحقیقات درباره تأثیر آتش در زمان‌های مختلف فصل رویش و اثر آن ویژگی‌های خاک و گیاه در ایران و سایر نقاط جهان اندک است و منابع بسیار محدودی در این زمینه وجود دارد، لذا این پژوهش می‌تواند اطلاعات مناسبی در خصوص وضعیت خاک پس از آتش‌سوزی و نیز توان احیاء و بازسازی گونه‌های باارزش گیاهی و حفظ جنگل‌های زاگرس در اختیار محققان قرار دهد. در این تحقیق اثر آتش‌سوزی در سه فصل بهار، پاییز و زمستان بر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های زاگرس در استان کرمانشاه، شهرستان گهواره، منطقه لرینی بود. در این پژوهش در کنار جنگل‌های سوخته یک منطقه شاهد نیز در نظرگرفته شد. بدین منظور نقاط مورد نظر (۹ نقطه برای زیر تاج و ۹ نقطه برای خارج تاج در هر دو منطقه شاهد و سوخته شده) با اندازه‌گیری به‌وسیله متر بر روی ترانسکت‌ها (۶ ترانسکت) مشخص شد و به‌صورت منظم و با فواصل زمانی مشخص (هر ۲ ماه یک‌بار)، نمونه‌برداری از آن‌ها صورت گرفت. فاصله نمونه‌ها از یکدیگر در هر ردیف ۲۰ متر و فاصله ردیف‌ها از هم ۵۰ متر بود به‌گونه‌ای که ۳ ردیف در منطقه سوخته و ۳ ردیف در منطقه شاهد مشخص شدند. ویژگی‌های خاک با روش‌های آزمایشگاهی مرسوم اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج بررسی‌های صورت گرفته نشان داد آتش‌سوزی که در منطقه مورد مطالعه (زیر تاج و بیرون از تاج درختان منطقه زاگرس) رخ داده است سطحی بوده و قادر به ایجاد تغییرات اندکی در فاکتورهای شیمیایی و بیولوژیکی خاک بود. تنها میزان تنفس خاک و فسفر قابل جذب در این آتش‌سوزی سطحی تحت تأثیر قرار گرفتند. میزان فسفر خاک یک‌روند افزایش داشته سپس به‌میزان اولیه خود در ماه اول نمونه‌برداری کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: با توجه به این که آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه سطحی بوده و موجب ایجاد تغییرات اندکی در ویژگی‌های خاک در تمام ماه‌های نمونه‌برداری شد. احتمالاً آتش‌سوزی‌های شدید توانایی ایجاد تغییرات گسترده در ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک را دارد و زمان نمونه‌برداری در ماه‌های مختلف تأثیر چندانی بر نتایج نداشته است.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، تنفس میکروبی، جنگل، زاگرس، ماده آلی

مقدمه

آتش‌سوزی یک عامل اکولوژیک در جنگل به شمار می‌رود که طی آن اکثر گیاهانی که در حال رویش هستند، آسیب می‌بینند. آتش‌سوزی با سوزاندن پوشش گیاهی سطح خاک، می‌تواند موجب اثرات منفی و یا حتی مثبت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، ریز جانداران و پوشش گیاهی خاک شود. آتش‌سوزی سبب تغییر در ساختمان خاک، مواد غذایی و آب در دسترس برای گیاهان می‌گردد (۳). وقوع آتش‌سوزی سبب تغییر رابطه پویا ریشه و خاک شده که در آن ریشه‌ها، میکروارگانیسم‌ها و عوامل زنده در تعامل با یکدیگر هستند (۳۰). آتش محیط زندگی قارچ‌ها را با اثر بر ساختمان خاک، مواد غذایی در دسترس، مواد آلی و غیر آلی لایه‌های زیرین خاک و سایر اجزاء زنده که با قارچ‌ها و مخصوصاً سایر ریز موجودات در ارتباط مستقیم و یا غیرمستقیم هستند را تغییر می‌دهد (۲۹). به‌طوری‌که در بررسی که صورت گرفت آتش‌سوزی‌های پی‌درپی در جنگل‌های کاج جنوب غربی پاندروسا (Ponderosa) با بیش از یک چرخه آتش‌سوزی کامل، تأثیر منفی بر منابع زیست‌توده زیرزمین گذاشت و فرآیندهای چرخه تغذیه را در مدت طولانی تحت تأثیر قرارداد (۲۰). همت بلند و همکاران (۱۵) در بررسی اثرات آتش‌سوزی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در جنگل‌های بلوط مریوان مشاهده کرد که آتش‌سوزی بر اغلب ویژگی‌های شیمیایی خاک سطحی از جمله افزایش اسیدیته، فسفر قابل جذب، هدایت الکتریکی و پتاسیم قابل جذب تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین آتش‌سوزی باعث افزایش نیتروژن کل و ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک سطحی شد.

صادقی‌فر و همکاران (۳۰) پاسخ کوتاه‌مدت و بلندمدت برخی از ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک به آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که pH، EC، ظرفیت تبادل کاتیونی و فسفر خاک ۱ سال پس از آتش‌سوزی افزایش یافتند. همچنین در مدت ۳ و ۱۰ سال پس از آتش‌سوزی pH و ظرفیت تبادل کاتیونی به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یافتند اما EC و فسفر خاک نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری یافتند. کربن آلی و نیتروژن خاک در تمامی زمان‌های مورد بررسی کاهش معنی‌داری داشتند و حتی ۱۰ سال بعد نیز به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود نیافتند. نسبت کربن به نیتروژن خاک، محتوای رس، شن و سیلت خاک در هیچ یک از زمان‌های پس از آتش‌سوزی تفاوت معناداری با شاهد نشان ندادند.

مبوهای و همکاران (۲۱) فراوانی و تنوع زیست‌توده میکروبی یک سال پس از آتش‌سوزی را در جنگل کاج قرمزژاپن مورد آزمایش قرار دادند. نمونه‌گیری فوراً بعد از آتش‌سوزی و برای

[Downloaded from dml.sanru.ac.ir on 2026-06-07]

تعیین الگوی بهبود میکروبی در اولین سال بعد از آتش‌سوزی صورت گرفت. زیست‌توده میکروبی، فراوانی و تنوع میکروبی در پلات‌های سوخته و شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. بخش شاهد دارای بالاترین کربن زیست‌توده میکروبی، فراوانی و تنوع در مقایسه با مناطق تحت آتش‌سوزی بود.

در بررسی‌های جیمینز گونزالس و همکاران (۱۸) بهبود وضعیت ماده آلی خاک پس از آتش‌سوزی در یک خاک کمبی‌سول در جنگل اسپانیا، مورد بررسی قرار گرفت. بلافاصله بعد از آتش‌سوزی، ماده آلی خاک به‌دلیل دریافت پوشش گیاهی سوخته افزایش یافت، اما ۲۵ ماه بعد، ماده آلی خاک کاهش پیدا کرد. همچنین ظرفیت نگهداری آب خاک کاهش یافت. pH و هدایت الکتریکی بلافاصله بعد از آتش‌سوزی افزایش یافتند، اما ۲۵ ماه بعد از آتش‌سوزی مشابه بخش کنترل شدند. همچنین محتوای نیتروژن، یک ماه پس از آتش‌سوزی به‌طور جزئی افزایش یافت اما دو سال بعد به سطح قبل از آتش‌سوزی بازگشت.

با توجه به این‌که تاکنون بررسی‌های فراوانی در مورد اثر آتش‌سوزی‌های طبیعی بر ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی انجام شده است، اما تحقیقات درباره تأثیر آتش در زمان‌های مختلف فصل رویش و اثر آن ویژگی‌های خاک و گیاه در ایران و سایر نقاط جهان اندک است و منابع بسیار محدودی در این زمینه وجود دارد، لذا این پژوهش می‌تواند اطلاعات مناسبی در خصوص وضعیت خاک پس از آتش‌سوزی و نیز توان احیاء و بازسازی گونه‌های باارزش گیاهی و حفظ جنگل‌های زاگرس در اختیار محققان قرار دهد. در این تحقیق اثر آتش‌سوزی در سه فصل بهار، پاییز و زمستان بر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های زاگرس در استان کرمانشاه، شهرستان گهواره، منطقه لرینی با طول جغرافیایی ۳۴ درجه، ۱۰ دقیقه و ۳۵ ثانیه و عرض جغرافیایی ۴۶ درجه، ۳۴ دقیقه و ۲۸ ثانیه و ارتفاع آن از سطح دریا به‌طور متوسط ۱۴۶۸ متر می‌باشد (سازمان نقشه‌برداری کشور). این پژوهش در کنار جنگل‌های سوخته یک منطقه شاهد نیز در نظر گرفته شد. بدین منظور نقاط مورد نظر با اندازه‌گیری به‌وسیله متر بر روی ترانسکت‌ها (۶ ترانسکت) مشخص شد و به‌صورت منظم و با فواصل زمانی مشخص (هر ۲ ماه یک‌بار)، نمونه‌برداری از آن‌ها صورت گرفت. فاصله نمونه‌ها از یکدیگر در هر ردیف ۲۰ متر و فاصله ردیف‌ها از هم ۵۰ متر بود به‌گونه‌ای که ۳ ردیف در منطقه سوخته و ۳ ردیف در منطقه شاهد (منطقه بدون سوختگی) مشخص شدند. نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۱۰ سانتیمتری خاک، هم از محدوده زیر تاج درختان (جزیره حاصلخیزی) و هم از محدوده خارج از تاج درخت برداشت شد. ۱۰ تا ۱۵ نمونه مرکب از زیر تاج درختان و ۱۰ تا ۱۵ نمونه مرکب از محدوده خارج تاج درختان برداشته و با هم مخلوط شدند و درنهایت ۱ نمونه آماده شد. با توجه به تعداد مناطق سوخته و شاهد درمجموع ۹ نمونه برای منطقه شاهد زیر تاج درخت، ۹ نمونه برای منطقه شاهد خارج از تاج درخت، ۹ نمونه برای منطقه سوخته زیر تاج درخت و ۹ نمونه برای منطقه سوخته خارج از تاج درخت تهیه شدند. نمونه‌برداری در ۵ مرحله از تمامی نقاط به‌صورت منظم و با فاصله زمانی هر ۲ ماه (در ماه‌های مهر، آذر، بهمن، فروردین، خرداد) انجام گرفت.

ویژگی‌های شیمیایی خاک با روش‌های آزمایشگاهی مرسوم اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (ECe) با دستگاه رسانایی سنج الکتریکی در عصاره گل اشباع (۹)، pH گل اشباع با دستگاه pH متر (۹) و میزان فسفر قابل‌جذب به روش عصاره‌گیری (۷) در نمونه‌ها تعیین شدند.

میزان کربن آلی خاک (OC) در نمونه‌ها به‌روش واکلی و بلک (۳۲) تعیین شد. تنفس پایه (BR)، (۲۴) تنفس ناشی از سوبسترا یا تنفس برانگیخته (SIR) (۲۴) و کسر متابولیکی (qCO_2) با روش‌های تائید شده و مرسوم به دست آمدند. کربن زیست‌توده میکروبی با روش گاز دهی و طی ۱۰ روز خوابانیدن (۲۴) تعیین گردید و ضریب بازیافت یا راندمان تجزیه کربن میکروبی معادل ۰/۴۵ در نظر گرفته شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های به دست آمده از مراحل مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج به دست آمده تأثیر آتش‌سوزی و محل نمونه‌برداری بر میزان pH خاک معنی‌دار نبود. تنها اثر ساده آتش‌سوزی بر میزان pH خاک در فرودین ماه معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر آتش‌سوزی سبب افزایش pH نسبت به شاهد شده است (جدول ۲). در بیشتر مطالعات انجام شده توسط محققان، افزایش pH خاک تحت تأثیر آتش‌سوزی تأیید شده است. به‌دلیل حضور اکسیدهای پتاسیم و سدیم، هیدروکسیدها و کربنات‌ها است. افزایش pH خاک دوام زیادی نداشته و زیاد به طول نمی‌انجامد و اغلب طی یک فصل مرطوب از بین می‌رود؛ اما فرم کلسیت تا مدت بیشتری پس از آتش‌سوزی دوام می‌یابد و به‌طور متوسط حالت قلیایی pH خاک را حفظ می‌کند و به عمق‌های پایین‌تر نیز نفوذ می‌نماید. شکل ۱ نشان دهنده تغییرات pH در زمان‌های مختلف در دو محدوده زیر تاج و بیرون تاج درخت در اثر آتش‌سوزی می‌باشد. زیر تاج درخت شاهد در مرحله دوم کمترین میزان pH را داشته است اما بعد از مرحله دوم روندی رو به افزایش را نشان می‌دهد. در بیرون تاج سوخته تا مرحله سوم روندی افزایشی داشته اما از مرحله سوم به بعد روندی کاهشی و در مرحله پنجم نمونه‌برداری تقریباً ثابت شده است. در بیرون تاج شاهد و در مرحله اول و دوم روند ثابت و کمترین میزان در مرحله سوم و بعد از آن تا مرحله چهارم افزایشی و در مرحله پنجم ثابت است.

طبق نتایج مشاهده شد که اثر ساده محل در مرحله اول نمونه‌برداری در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار بوده است (جدول ۱)، در سایر مراحل، اثرات ساده و متقابل عوامل مورد بررسی (آتش‌سوزی و محل) معنی‌دار نبوده است (جدول ۱). میزان هدایت الکتریکی در محدوده خارج از تاج درختان بیشتر از زیر تاج بوده است (جدول‌های ۲ و ۳). همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است در خارج تاج سوخته، خارج از تاج شاهد و زیر تاج شاهد کم‌ترین

[Downloaded from dml.sanru.ac.ir on 2026-06-07]

میزان هدایت الکتریکی در مرحله چهارم نمونه‌برداری و در زیر تاج سوخته کم‌ترین میزان هدایت الکتریکی در مرحله اول نمونه‌برداری مشاهده شده است. بیشتر مطالعات نشان می‌دهد که اثرات آتش‌سوزی روی عناصر غذایی باعث تغییر هدایت الکتریکی خاک در زمان‌های پس از آتش‌سوزی می‌شود (۶).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های شیمیایی خاک

Table 1. Results of variance analysis of soil chemical properties

زمان نمونه‌برداری	منابع تغییرات	df	میانگین مربعات			
			pH	EC	فسفر	کربن آلی
مهر	اثر آتش‌سوزی	۱	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۸۶۲/۴۰**	۰/۰۳۸^{ns}
	محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۳**	۹/۶۱ ^{ns}	۰/۰۳۷^{ns}
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۷^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱/۶۹^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}
	خطا	۳۲	۰/۰۴	۰/۰۰۰۹	۲۱۵/۴۷	۰/۰۲۵
	درصد ضریب تغییرات	–	۲/۷۹	۹/۲۱	۸/۳۶	۱۳/۳۱
آذر	اثر آتش‌سوزی	۱	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۶۰۱/۰۷**	۰/۰۱۰۰^{ns}
	محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۱۳/۳۲^{ns}	۰/۰۱۰۰^{ns}
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۵^{ns}	۵۴/۵۱^{ns}	۰/۰۱۰۰^{ns}
	خطا	۳۲	۰/۰۶	۰/۰۰۴	۲۵/۷۰	۰/۰۱۰۰
	درصد ضریب تغییرات	–	۳/۵۴	۱۷/۴۴	۱۶/۳۷	۹/۲۳
بهمن	اثر آتش‌سوزی	۱	۰/۰۲۶^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۷۰۳/۱۳**	۰/۰۲۲^{ns}
	محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۱۵/۰۸^{ns}	۰/۰۴۶۷*
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۳۶/۶۰^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}
	خطا	۳۲	۰/۰۷	۰/۰۰۰۹	۸۲۱/۹۴	۰/۰۲۸
	درصد ضریب تغییرات	–	۲/۳۵	۹/۰۶	۱۶/۶۹	۹/۰۹
فروردین	اثر آتش‌سوزی	۱	۰/۱۹^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱۱۸۱/۰۷**	۰/۰۱۹^{ns}
	محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۲۰/۵۵^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۸۸^{ns}	۰/۰۰۰۹^{ns}	۶۰/۳۲ ^{ns}	۰/۰۴۵**
	خطا	۳۲	۰/۰۵۸	۰/۰۰۰۰۹	۲۴/۷۰	۰/۰۲
	درصد ضریب تغییرات	–	۳/۲۰	۹/۴۴	۱۵/۴۸	۶/۰۵
خرداد	اثر آتش‌سوزی	۱	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰۲*	۱۷۸۶/۴۷**	۰/۰۱۶^{ns}
	محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۱/۲۸^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۰۱۲^{ns}	۱۹/۹۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}
	خطا	۳۲	۰/۰۳	۰/۰۰۰۶	۳۳/۰۸	۰/۰۰۸۸
	درصد ضریب تغییرات	–	۲/۱۲	۷/۳۵	۱۷/۱۲	۶/۵۸

** و *: به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

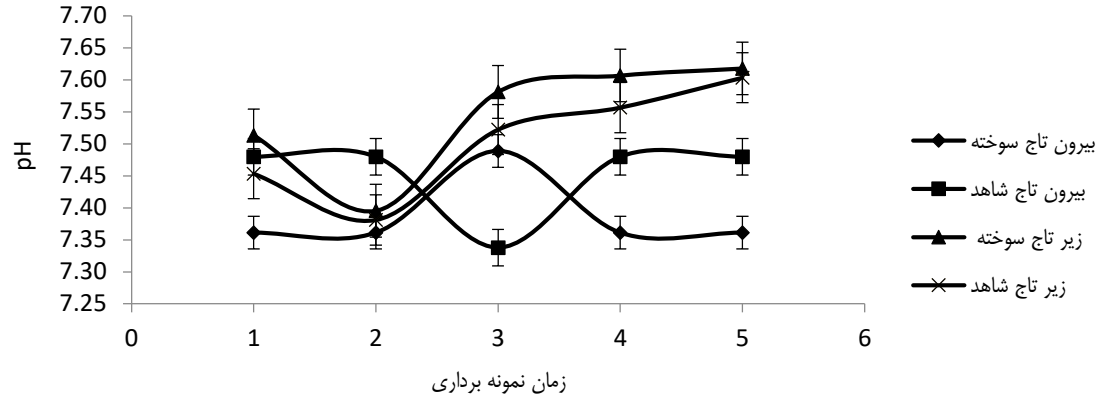
جدول ۲- تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

Table 2. The effect of fire on soil chemical properties

زمان نمونه‌برداری	اثر آتش‌سوزی	pH	EC	فسفر	کربن آلی
		–	dS/m	mg/kg	%
مهر	سوخته	۷/۴۳^{a}	۰/۳۳^{a}	۳۵/۹۲^{a}	۱/۳۰^{a}
	نسوخته	۷/۴۶^{a}	۰/۳۵^{a}	۲۶/۱۳^{b}	۱/۲۳^{a}
آذر	سوخته	۷/۴۴^{a}	۰/۳۷^{a}	۳۶/۵۲^{a}	۱/۲۱^{a}
	نسوخته	۷/۳۵^{a}	۰/۳۵^{a}	۲۶/۸۷^{b}	۱/۱۷^{a}
بهمن	سوخته	۷/۵۶^{a}	۰/۳۵^{a}	۳۶/۲۸^{a}	۱/۲۴^{a}
	نسوخته	۷/۵۱^{a}	۰/۳۳^{a}	۲۵/۹۵^{b}	۱/۱۹^{a}
فروردین	سوخته	۷/۶۴^{a}	۰/۳۳^{a}	۳۹/۴۰^{a}	۱/۳۸^{a}
	نسوخته	۷/۴۹^{a}	۰/۳۱^{a}	۲۶/۳۸^{b}	۱/۳۳^{a}
خرداد	سوخته	۷/۶۰^{a}	۰/۳۴^{a}	۴۲/۴۲^{a}	۱/۴۹^{a}
	نسوخته	۷/۵۴^{a}	۰/۳۲^{a}	۲۶/۵۵^{b}	۱/۴۵^{a}

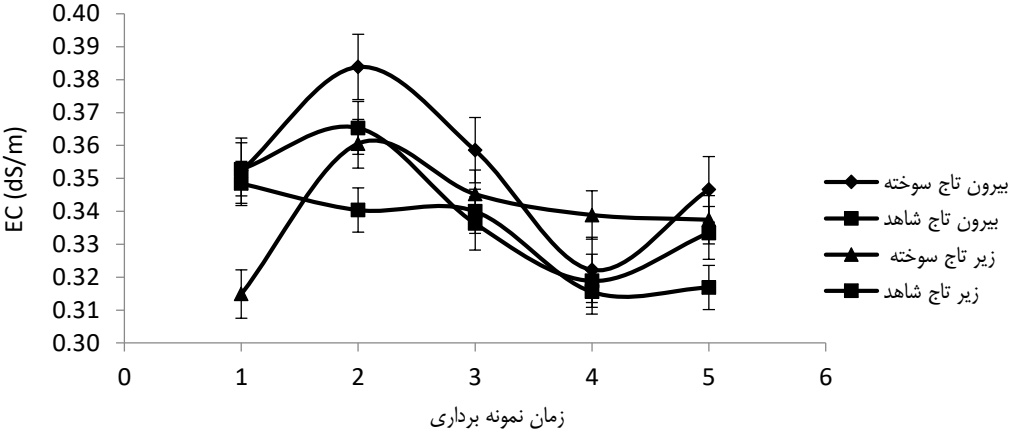
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال درصد ندارند.

[Downloaded from dml.sanru.ac.ir on 2026-06-07]



شکل ۱- تغییرات pH در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (زیر تاج و بیرون تاج درختان)
Figure 1. pH changes at different times after the fire (below the crown and outside the crown of the trees)

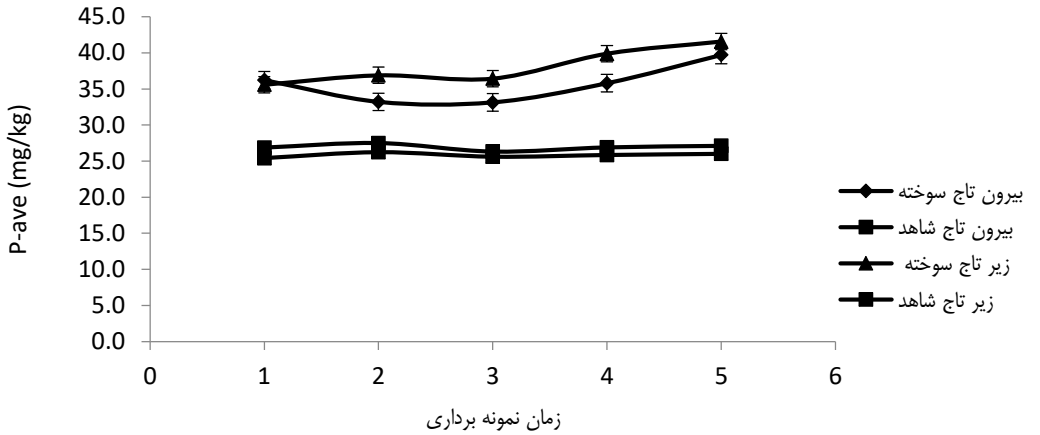
نتایج تحقیق (جدول ۲) همچنین موافق با یافته‌های پژوهشگرانی چون مونوز روجاس و همکاران (۲۳) و هرناندز و همکاران (۱۶) می‌باشد. بارسیناس مورنو و همکاران (۴) نیز اثبات کردند هدایت الکتریکی تنها بلافاصله پس از آتش‌سوزی با شاهد تفاوت معنادار داشت و ۲ ماه بعد تفاوت معناداری نسبت به شاهد نشان نداد؛ اما کاهش معنادار هدایت الکتریکی ۲ سال و ۷۱ سال بعد در مقایسه با شاهد می‌تواند در نتیجه بارش باران، تثبیت نمک‌ها و فرآیندهای آبشویی باشد که باعث خارج شدن نمک‌های محلول از خاک می‌شوند.



شکل ۲ – تغییرات هدایت الکتریکی در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (زیر تاج و بیرون تاج درختان)
Figure 2. Electrical conductivity changes at different times after the fire (under the crown and outside the crown)

نتایج نشان داد که اثر ساده آتش‌سوزی از مرحله اول تا پنجم نمونه‌برداری بر میزان فسفر قابل جذب در سطح احتمال یک درصد، معنی‌دار بوده است اما اثر محل و اثر متقابل آتش‌سوزی در محل در هیچ‌یک از مراحل نمونه‌برداری از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است (جدول ۱). همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود اثر آتش‌سوزی در تمامی مراحل نمونه‌برداری سبب افزایش فسفر نسبت به شاهد شده است که این روند افزایشی از ۳۵/۹ تا ۵۹/۷ درصد بوده است (جدول ۲). علت این افزایش می‌تواند انباشته شدن خاکستر حاصل از گیاهان و بقایای آن‌ها در خاک به دنبال آتش‌سوزی باشد، همچنین آتش‌سوزی باعث تبدیل فسفر آلی خاک به فسفر قابل جذب (اورتوفسفات) می‌شود (۸). شکل ۳ نشان دهنده تغییرات فسفر در زمان‌های مختلف در دو محل زیر تاج و بیرون تاج در اثر آتش‌سوزی می‌باشد همان‌طور که در شکل مشخص است در خارج از تاج و زیرتاج نسوخته میزان فسفر تقریباً روند ثابتی داشته است اما در خارج از تاج سوخته و زیر تاج سوخته از مرحله سوم نمونه‌برداری به بعد میزان فسفر روند افزایشی داشته است.

[Downloaded from dml.sanru.ac.ir on 2026-06-07]



شکل ۳ – تغییرات فسفر قابل جذب در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیرتاج و بیرون تاج درختان)
Figure 3. Changes in absorbable phosphorus at different times after the fire (under the crown and outside the crown)

جدول ۳- تأثیر محل نمونه‌برداری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک
Table 3. The effect of the sampling location on the chemical characteristics of the soil

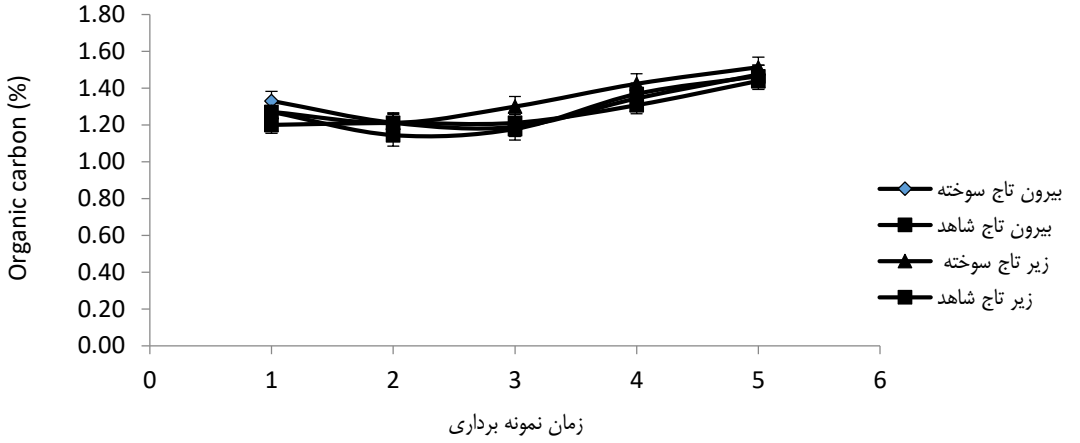
زمان نمونه‌برداری	محل نمونه‌برداری	pH	EC	فسفر	کربن آلی
		–	dS/m	mg/kg	%
مهر	زیر تاج	۷/۴۸^{a}	۰/۳۳^{b}	۳۰/۵۱^{a}	۱/۲۳^{a}
	بیرون تاج	۷/۴۲^{a}	۰/۳۵^{a}	۳۱/۵۴^{a}	۱/۳۰^{a}
آذر	زیر تاج	۷/۴۱^{a}	۰/۳۵^{a}	۳۱/۵۷^{a}	۱/۲۱^{a}
	بیرون تاج	۷/۳۸^{a}	۰/۳۷^{a}	۳۱/۸۳^{a}	۱/۱۷^{a}
بهمن	زیر تاج	۷/۵۵^{a}	۰/۳۴^{a}	۳۱/۰۱^{a}	۱/۲۵^{a}
	بیرون تاج	۷/۵۲^{a}	۰/۳۴^{a}	۳۱/۲۲^{a}	۱/۱۸^{b}
فروردین	زیر تاج	۷/۵۸^{a}	۰/۳۲^{a}	۳۲/۸۶^{a}	۱/۳۶^{a}
	بیرون تاج	۷/۵۶^{a}	۰/۳۲^{a}	۳۲/۹۱^{a}	۱/۳۵^{a}
خرداد	زیر تاج	۷/۶۱^{a}	۰/۳۲^{a}	۳۳/۷۸^{a}	۱/۴۷^{a}
	بیرون تاج	۷/۵۳^{a}	۰/۳۴^{a}	۳۵/۱۸^{a}	۱/۴۶^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال درصد ندارند.

کاوسون و همکاران (۸) گزارش کردند سطح عنصر غذایی فسفر بعد از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد و ممکن است تا چند سال بعد ادامه داشته باشد. دبانو (۱۰) بیان کردند که بیش از ۵۰ درصد فسفر موجود در مواد آلی ممکن است در زمان آتش‌سوزی آزاد شود. پوررضا و همکاران (۲۸) گزارش کردند که یک سال بعد از آتش‌سوزی فسفر خاک افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد که در مرحله سوم نمونه‌برداری اثر ساده محل در سطح احتمال ۵ درصد و در مرحله چهارم نمونه‌برداری اثر متقابل آتش‌سوزی و محل در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان کربن آلی خاک معنی‌دار بودند. (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در مرحله سوم نمونه‌برداری، کربن آلی در زیر تاج بیشتر از خارج از محدوده تاج بوده است (جدول ۳). در توجیه بالا بودن میزان کربن آلی در مرحله سوم نمونه‌برداری در زیر تاج نسبت به خارج از تاج درخت، طبق پژوهش‌های آلمندروس (۲) می‌توان بیان نمود از آنجایی که درختان بلوط خسارات ناشی از کاهش کربن آلی را بعد از آتش‌سوزی جبران می‌کنند در نتیجه در مقدار کربن آلی خاک این مناطق کاهش زیادی اتفاق نمی‌افتد که می‌تواند بالا بودن سطح کربن آلی جنگل بلوط در منطقه مورد مطالعاتی را توجیه کند. در شکل ۴ نمایان است که در هر ۴ منطقه، کربن آلی بعد از مرحله اول و دوم نمونه‌برداری روندی کاهشی اما از مرحله دوم به بعد روندی افزایشی داشته است. (۳۱)؛ اما برخی از پژوهشگران مخالف این عقیده‌اند و معتقدند پس از آتش سوزی کربن آلی افزایش می‌یابد (۱). این نتایج با یافته‌های پژوهش بارسیناس مورنو و همکاران (۲۳) می‌تواند مقایسه شود که گزارش کردند کربن آلی خاک در روزهای نخستین پس از آتش‌سوزی افزایش یافته ولی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. به‌گونه‌ای که این کاهش در چند ماه پس از آتش‌سوزی چشمگیر است. هاتن و همکاران (۱۴) گزارش کردند پس از آتش‌سوزی محتوای کربن در تیمارهای سوخته در مقایسه با شاهد کمتر بود. آن‌ها گزارش کردند که کاهش محتوای کربن آلی خاک تا ۲ سال پس از آتش‌سوزی به دلیل فرآیندهای فرسایشی بوده است .هولدن و همکاران به این نتیجه رسیدند که ۷۵ سال زمان نیاز است تا کربن آلی به سطح قبل از آتش‌سوزی بهبود یابد.

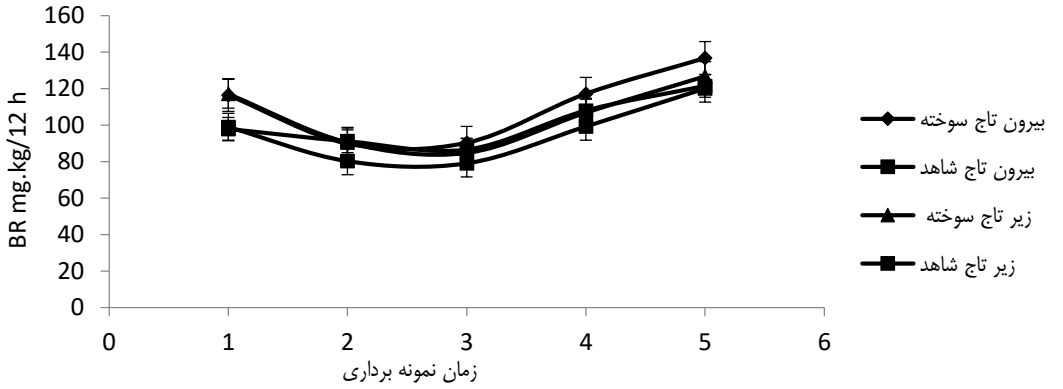
[Downloaded from dml.sanru.ac.ir on 2026-06-07]



شکل ۴- تغییرات کربن آلی در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیر تاج و بیرون تاج درختان)
Figure 4. Organic carbon changes at different times after the fire (under the crown and outside the crown)

نتایج نشان داد که اثر ساده آتش‌سوزی در مرحله اول نمونه‌برداری در سطح احتمال ۱ درصد، در مرحله چهارم نمونه‌برداری اثر ساده آتش‌سوزی در سطح ۵ درصد و محل در سطح ۱ درصد بر میزان تنفس پایه معنی‌دار بوده است (جدول ۴). با توجه به جدول ۵ تنفس پایه در مرحله اول نمونه‌برداری در منطقه سوخته شده نسبت به منطقه سوخته نشده ۱۸/۶۰ درصد بیشتر بوده است. علاوه بر این در مرحله چهارم نمونه‌برداری تنفس پایه در منطقه سوخته شده نسبت به شاهد (۸/۱۲ درصد) بالاتر و با توجه به اثر ساده محل می‌توان بیان نمود که تنفس پایه در مرحله چهارم در خارج از تاج نسبت به زیر تاج درخت (۹/۱۶ درصد) بیشتر بوده است. میزان تنفس خاک رابطه مستقیمی با رطوبت و میزان ماده آلی خاک دارد و هرچه زیست‌توده میکروبی خاک و سوبسترای لازم برای تجزیه بیشتر باشد و شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک نیز محدودیتی ایجاد نکند به همان میزان تنفس خاک بیشتر و جامعه میکروبی خاک پویاتر می‌باشد. مخازن کربن خاک می‌تواند به‌شدت تحت تأثیر آثار مخرب و منفی آتش‌سوزی قرار بگیرد (۱۸)؛ که می‌تواند باعث انتشار فراوان کربن به اتمسفر از بقایای گیاهی و لاشبرگ‌های خاک شود (۵). شکل ۵ تغییرات تنفس پایه در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی در دو کاربری زیر تاج درخت و بیرون از تاج درخت در اثر آتش‌سوزی را نشان می‌دهد همان‌طور که قابل مشاهده است در هر ۴ کاربری از مرحله اول به بعد تا مرحله سوم، روند کاهشی و بعد از آن روندی افزایشی داشته است. مخازن کربن خاک می‌تواند به‌شدت تحت تأثیر آثار مخرب و منفی آتش‌سوزی قرار بگیرد.

بیشترین میزان تنفس پایه در خاک‌های منطقه سوخته شده در مرحله اول و چهارم به وجود آمده (جدول ۶) که با نتایج پلازا آلوارز و همکاران (۲۷) مبنی بر اینکه تنفس پایه در خاک‌های سوخته شده روندی کاهش داشته است، مطابقت ندارد. این پژوهشگران بیان نمودند که آتش‌سوزی می‌تواند تأثیرهای مهمی بر تغییرات به‌جای بگذارد و این خود به عوامل محیطی مختلفی از جمله، شدت آتش‌سوزی، پوشش گیاهی، آب‌وهوا و شرایط جوی بعد از آتش‌سوزی بستگی دارد زیرا که تنفس پایه وابسته به الگوهای فصلی رشد و درجه حرارت خاک می‌باشد. هولدن و همکاران (۱۷) گزارش کردند آتش‌سوزی ممکن است باعث کاهش تنفس خاک تا ۱۲ سال بعد در جنگل‌های شمالی آلاسکا شود.



شکل ۵- تغییرات تنفس پایه در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیرتاج و بیرون تاج درختان)
Figure 5. Changes in basal respiration at different times after the fire (under the crown and outside the crown)

[Downloaded from dml.sanru.ac.ir on 2026-06-07]

نتایج آنالیز واریانس تنفس در حضور سوبسترا نشان داد که اثر ساده محل در مرحله اول نمونه‌برداری در سطح احتمال ۵ درصد و در مرحله دوم نمونه‌برداری اثر ساده محل و اثر متقابل آتش‌سوزی در محل در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری معنی‌دار بوده است (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری تنفس در حضور سوبسترا در زیر تاج درخت به ترتیب ۱۷/۲ و ۱۵/۷ درصد بیشتر از بیرون از تاج بوده است (جدول ۶).

وقوع آتش‌سوزی ممکن است تنوع زیستی، فراوانی و جمعیت میکروبی خاک را تحت تأثیر قرار دهد و البته شدت آتش نیز در میزان این تغییرات بسیار مؤثر است. قطعاً در خاک‌هایی که به‌شدت تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار گرفته‌اند، اضافه کردن سوبسترا نیز قادر نخواهد بود تا شدت فعالیت میکروبی را همچون یک خاک سالم یا کمتر آسیب‌دیده افزایش دهد (۷). همان‌طور که در شکل ۶ نمایان است در هر ۴ کاربری کمترین میزان تنفس در حضور سوبسترا در مرحله سوم نمونه‌برداری مشاهده شده است و بعد از آن روندی افزایشی داشته است. پوررضا و همکاران (۲۸) گزارش کردند یک سال پس از آتش‌سوزی تنفس برانگیخته در تیمارهای آتش‌سوزی کاهش می‌یابد؛ اما این شاخص مفید کیفیت خاک، ۳ و ۱۰ سال بعد در مقایسه با شاهد کاهش یافت که این امر می‌تواند ناشی از مصرف مواد آلی زیاد در اولین سال پس از آتش‌سوزی و عدم جایگزینی این مواد در سال‌های پس از آتش‌سوزی باشد و باعث عدم بازگشت تعادل در مخازن کربن برای سالیان طولانی شود. با گذشت زمان، تنوع و جمعیت میکروبی خاک نسبتاً ترمیم شده و سبب استقرار دوباره باکتری‌های بومی و قارچ‌ها در خاک شده و بدین سبب نیز وارد ساختن یک سوبسترای سهل‌الوصول سبب تحریک سریع جمعیت و تنفس شدید در خاک نخواهد شد.

هیچ‌یک از اثرات ساده و متقابل عامل‌های آتش‌سوزی و محل در مرحله اول نمونه‌برداری بر میزان کسر متابولیک از نظر آماری معنی‌دار نبوده و در سایر مراحل نمونه‌برداری نیز نتیجه مشابهی مشاهده شد (جدول ۴). تحقیقات نشان می‌دهد که یک سال پس از آتش‌سوزی، کسر متابولیک خاک دچار کاهش می‌گردد (۲۸). این در حالی است که گزارش‌هایی مبنی بر کاهش کسر متابولیک پس از آتش‌سوزی نیز وجود دارد (۱۶). با توجه به شکل ۷ بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کسر متابولیک در مرحله اول نمونه‌برداری به ترتیب مربوط به زیرتاج و خارج از تاج نسوخته است. مطابق با نتایج این پژوهش، داده‌ها نشان می‌دهند که کسر متابولیکی اغلب با افزایش زیست‌توده میکروبی و محتوای رس، کاهش می‌یابد (۲۳).

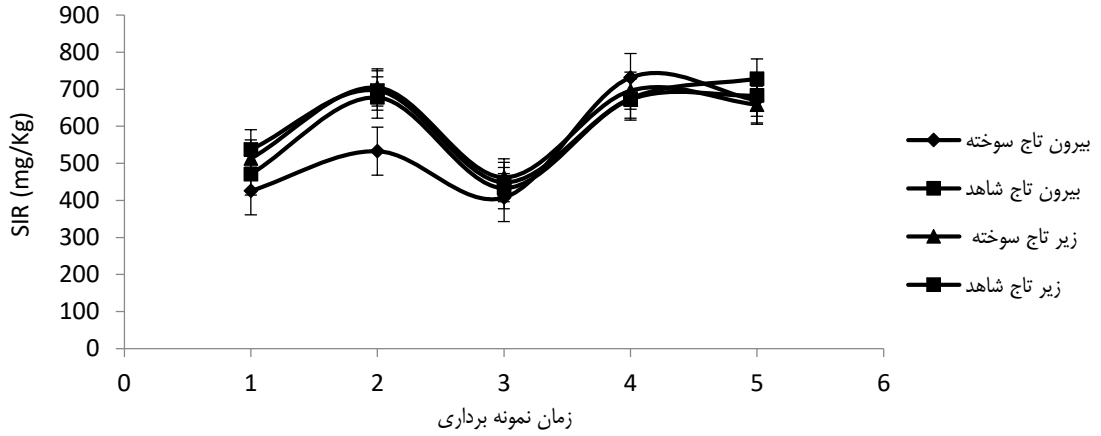
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های بیولوژیکی خاک

Table 4. Results of analysis of variance of soil biological characteristics

زمان نمونه‌برداری	منابع تغییرات	df	میانگین مربعات			
			BR	SIR	qCO2	MBC
مهر	اثر آتش‌سوزی	۱	۳۰۱۵/۸۴**	۱۰۸۱۶/۰۰^{ns}	۰/۰۵۵^{ns}	۴۴۳۵۵۶/۰۰**
	محل نمونه‌برداری	۱	۷/۵۶^{ns}	۵۳۵۱۵/۱۱*	۰/۰۰۰۸^{ns}	۵۰۱۷۳۶/۱۱**
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۰/۳۴^{ns}	۹۸۱/۷۷^{ns}	۰/۲۸۶^{ns}	۴۵۹۳۸/۷۷^{ns}
	خطا	۳۲	۸/۵۲	۲۰۱/۱۰	۰/۰۰۰۳	۹۸۷/۲۰۵
	درصد ضریب تغییرات	–	۵/۱۵	۱۱/۸	۳/۲۱	۸/۶۵
آذر	اثر آتش‌سوزی	۱	۱۷۶/۹۷^{ns}	۴۱۸۸۸/۴۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۳۷۷۶۵/۴۴^{ns}
	محل نمونه‌برداری	۱	۲۳۲/۵۶^{ns}	۸۱۷۹۶/۰۰*	۰/۰۷۸^{ns}	۱۱۳۱۲۰/۱۱^{ns}
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۳۰۱/۴۸^{ns}	۵۲۹۰۰/۰۰*	۰/۱۳۹^{ns}	۱۲۹۶/۰۰^{ns}
	خطا	۳۲	۱۰/۹	۸۷۱/۲۰۱	۰/۰۵	۶۵۲/۸۷
	درصد ضریب تغییرات	–	۳/۶	۶/۵	۶/۸۷	۴/۹
بهمن	اثر آتش‌سوزی	۱	۱۹۶/۵۶^{ns}	۳۳۰/۰۲^{ns}	۰/۰۲۸^{ns}	۲۶۷۳۲/۲۵^{ns}
	محل نمونه‌برداری	۱	۳۷۹/۴۷^{ns}	۱۱۴۱۳/۳۶^{ns}	۰/۰۲۵^{ns}	۱۷۵۰/۰۲^{ns}
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۹/۴۴^{ns}	۳۳۸۳/۳۶^{ns}	۰/۰۰۵۶^{ns}	۸۵۵۵۶/۲۵^{ns}
	خطا	۳۲	۲۷/۲۵	۴۰۰/۵۱	۰/۰۷۰۱	۷۵۰/۵۲
	درصد ضریب تغییرات	–	۷/۸	۳/۲۵	۹/۸	۶/۱۱
فروردین	اثر آتش‌سوزی	۱	۶۳۷/۰۵*	۱۴۷۲۱/۷۷^{ns}	۰/۱۳۳^{ns}	۴۰/۱۱^{ns}
	محل نمونه‌برداری	۱	۸۰۳/۳۴**	۲۴۳۳/۷۷^{ns}	۰/۳۱۱^{ns}	۳۶۹۹۲/۱۱^{ns}
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۵/۷۹^{ns}	۳۲۸۷/۱۱^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۷۳۸۰۲/۷۷^{ns}
	خطا	۳۲	۵۲/۷۸	۵۰۰/۸۱	۰/۳۰۰	۴۵۶/۹۱
	درصد ضریب تغییرات	–	۶/۰۰	۶/۴۳	۵/۳	۸/۴
خرداد	اثر آتش‌سوزی	۱	۱۰۹۱/۳۱^{ns}	۱۵۳۷۶/۰۰^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۱۳۸۰۶/۲۵^{ns}
	محل نمونه‌برداری	۱	۲۸۴/۵۴^{ns}	۲۵۶۷/۱۱^{ns}	۰/۰۶۸^{ns}	۶۳۷۵۶/۲۵^{ns}
	اثر آتش‌سوزی × محل نمونه‌برداری	۱	۱۶۸/۰۹^{ns}	۷۲۸۱/۷۷^{ns}	۰/۰۱۸^{ns}	۱۲۰۲۹۳/۳۶*
	خطا	۳۲	۱۰۰/۵	۵۴۶/۷۰۰	۰/۰۶۵	۹۸۷/۳۲
	درصد ضریب تغییرات	–	۵/۷	۸/۹۱	۷/۴	۹/۹۲

** و *: به‌ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

[Downloaded from dml.sanru.ac.ir on 2026-06-07]

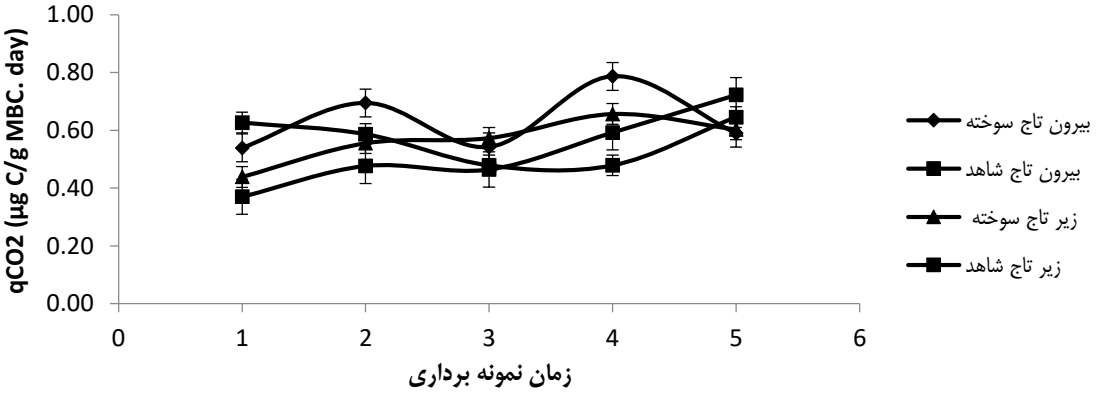


شکل ۶- تغییرات تنفس در حضور سوبسترا در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیرتاج و بیرون تاج درختان)
Figure 6. Changes in substrate-induced respiration at different times after the fire (under the crown and outside the crown)

جدول ۵- تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک
Table 5. The effect of fire on the biological characteristics of the soil

زمان نمونه‌برداری	اثر آتش‌سوزی	تنفس پایه mg.kg/12 h	SIR mg/kg	qCO_2 µg C/g MBC. day	MBC mg/kg
مهر	سوخته	۱۱۶/۷۵^{a}	۴۹۶/۳۳^{a}	۰/۴۵۴^{a}	۴۰۷/۷۸^{a}
	نسوخته	۹۸/۴۴^{b}	۵۰۴/۰۰^{a}	۰/۵۳۲^{a}	۱۸۵/۷۸^{b}
آذر	سوخته	۹۰/۱۶^{a}	۶۱۸/۸۹^{a}	۰/۵۸۵^{a}	۳۴۶/۱۷^{a}
	نسوخته	۸۵/۷۳^{a}	۶۸۷/۱۱^{a}	۰/۵۷۱^{a}	۲۸۱/۳۹^{a}
بهمن	سوخته	۸۷/۵۲^{a}	۴۳۵/۰۶^{a}	۰/۵۰۳^{a}	۳۱۸/۷۸^{a}
	نسوخته	۸۲/۸۵^{a}	۴۴۱/۱۱^{a}	۰/۵۵۹^{a}	۲۶۴/۲۸^{a}
فروردین	سوخته	۱۱۲/۰۰^{a}	۷۱۴/۲۲^{a}	۰/۶۸۹^{a}	۳۲۱/۱۱^{a}
	نسوخته	۱۰۳/۵۹^{b}	۶۷۳/۷۸^{a}	۰/۵۶۷^{a}	۳۱۹/۰۰^{b}
خرداد	سوخته	۱۳۱/۷۵^{a}	۶۶۴/۴۴^{a}	۰/۶۵۶^{a}	۳۰۸/۴۴^{a}
	نسوخته	۱۲۰/۷۳^{a}	۷۰۵/۷۸^{a}	۰/۶۲۴^{a}	۲۶۹/۲۸^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال درصد ندارند.



شکل ۷- تغییرات کسر متابولیک در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیرتاج و بیرون تاج درختان)
Figure 7. Changes in the metabolic quotient at different times after the fire (under the crown and outside the crown)

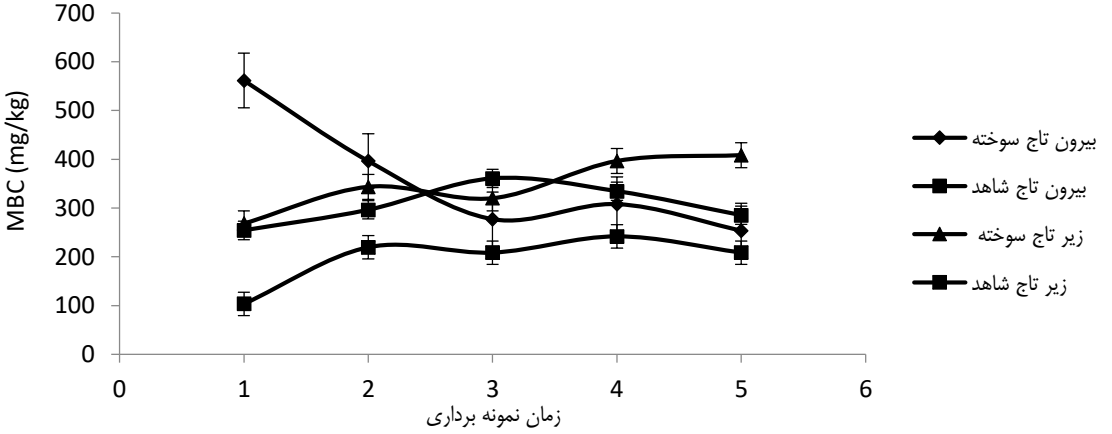
[Downloaded from drnl.sanru.ac.ir on 2026-06-07]

جدول ۶- تأثیر محل نمونه‌برداری بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک
Table 6. The effect of the sampling location on the biological characteristics of the soil

زمان نمونه‌برداری	محل نمونه‌برداری	تنفس پایه	SIR	qCO_2	MBC
		mg.kg/12 h	mg/kg	µg C/g MBC.day	mg/kg
مهر	زیر تاج	۱۰۸/۰۵^{a}	۵۲۵/۲۲^{a}	۰/۴۹۸^{a}	۱۷۸/۷۲^{b}
	بیرون تاج	۱۰۷/۱۳^{a}	۴۴۸/۱۱^{b}	۰/۴۸۸^{a}	۴۱۴/۸۳^{a}
آذر	زیر تاج	۸۵/۴۰^{a}	۷۰۰/۶۷^{a}	۰/۵۳۱^{a}	۲۵۷/۷۲^{a}
	بیرون تاج	۹۰/۴۸^{a}	۶۰۵/۳۳^{b}	۰/۶۲۵^{a}	۳۶۹/۸۳^{a}
بهمن	زیر تاج	۸۱/۹۴^{a}	۴۵۵/۸۹^{a}	۰/۵۰۵^{a}	۲۸۴/۵۶^{a}
	بیرون تاج	۸۸/۴۳^{a}	۴۲۰/۲۸^{a}	۰/۵۵۷^{a}	۲۹۸/۵۰^{a}
فروردین	زیر تاج	۱۰۳/۰۷^{b}	۶۸۵/۷۸^{a}	۰/۵۳۵^{a}	۲۸۸/۰۰^{a}
	بیرون تاج	۱۱۲/۵۲^{a}	۷۰۲/۲۲^{a}	۰/۷۲۱^{a}	۳۵۲/۱۱^{a}
خرداد	زیر تاج	۱۲۳/۴۳^{a}	۶۹۳/۵۶^{a}	۰/۶۸۳^{a}	۲۴۶/۷۸^{a}
	بیرون تاج	۱۲۹/۰۵^{a}	۶۷۶/۶۷^{a}	۰/۵۹۶^{a}	۳۳۰/۹۴^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال درصد ندارند.

طبق نتایج آنالیز واریانس کربن زیست‌توده میکروبی مشاهده شد که در مرحله اول نمونه‌برداری اثر ساده آتش‌سوزی و محل در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است و در مرحله پنجم نمونه‌برداری اثر متقابل آتش‌سوزی و محل در سطح ۵ درصد از لحاظ آماری معنی‌دار شده است (جدول ۴). شکل ۸ نشان دهنده تغییرات کربن زیست‌توده میکروبی در زمان‌های مختلف در دو کاربری زیر تاج و خارج از تاج در اثر آتش‌سوزی می‌باشد همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است کم‌ترین و بیش‌ترین میزان کربن زیست‌توده میکروبی در مرحله اول نمونه‌برداری به ترتیب در کاربری خارج از تاج سوخته و زیرتاج نسوخته مشاهده شده است (جدول ۶). پژوهش‌های هرناندز و همکاران (۱۶) که نتایج آن‌ها نشان داد کربن زیست‌توده میکروبی در خاک‌های سوخته شده ۵۰ تا ۷۹ درصد کاهش نسبت به خاک‌های سوخته نشده داشته است مغایرت دارد و آن‌ها دلیل این کاهش را اثر منفی دمای حاصل از آتش می‌دانند.



شکل ۸- تغییرات کربن زیست‌توده میکروبی در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیر تاج و بیرون تاج درختان)
Figure 8. Changes in microbial biomass carbon at different times after the fire (under the crown and outside the crown)

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد آتش‌سوزی که در منطقه مورد مطالعه (زیر تاج و بیرون تاج) رخداده سطحی بوده و موجب ایجاد تغییرات اندکی در فاکتورهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در تمام ماه‌های نمونه‌برداری شد. تنفس پایه و میزان فسفر خاک از فاکتورهای تحت تأثیر آتش‌سوزی بودند. احتمالاً آتش‌سوزی‌های شدید توانایی ایجاد تغییرات گسترده در ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک را دارد. پیشنهاد می‌شود که این پارامترها پس از آتش سوزی‌های گسترده و عمیق در منطقه زاگرس (زیر تاج و بیرون از تاج درخت) بررسی گردند تا تأثیر آتش به‌وضوح بر میزان این پارامترهای مورد مطالعه مشخص شود. تأثیر زمان نمونه‌برداری در این آزمایش مورد بررسی قرار نگرفت ولی نتایج نشان می‌دهند که زمان نمونه‌برداری در ماه‌های مختلف تأثیر چندانی بر نتایج نداشته است.

[Downloaded from dml.sanru.ac.ir on 2026-06-07]

منابع

1. Alcañiz, M., L. Outeiro, M. Francos, J. Farguell and X. Úbeda. 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.
2. Almendros, G., F.J. Gonzalez-Vila and F. Martin. 1990. Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances. Soil Science, 149: 158-168.
3. Azul, A., M. Victor Ramos and F. Sales. 2010. Early effects of fire on herbaceous vegetation and mycorrhizal symbiosis in high altitude grasslands of Natural Park of Estrela Mountain (PNSE). Symbiosis, 52: 113-123.
4. Bárcenas-Moreno, G., F. García-Orenes, J. Mataix-Solera, G. Mataix-Beneyto and E. Baath. 2011. Soil microbial recolonization after a fire in a Mediterranean forest. Biology and Fertility of Soils, 47: 261-272.
5. Bento-Gonçalves, A., A. Vieira, X. Úbeda and D. Martin. 2012. Fire and soils: key concepts and recent advances. Geoderma, 191: 3-13.
6. Blank, R.R and D.C. Zamudio. 1998. The influence of wildfire on aqueous extractable soil solutes in forested and wet meadow ecosystems along the eastern front of the Sierra-Nevada range, California. International Journal of Wild land Fire, 8: 79-85.
7. Carballas, M., MJ. Acea, A. Cabaneiro, C. Trasar-Cepeda, M.C. Villar, M. Díaz Raviña and T. Carballas. 1993. Organic matter, nitrogen, phosphorus and microbial population evolution in forest humiferous acid soils after wildfires.
8. Cawson, J.G., P. Nyman, H.G. Smith, P.N. Lane and G.J. Sheridan. 2016. How soil temperatures during prescribed burning affect soil water repellency, infiltration and erosion. Geoderma, 278: 12-22.
9. Christenen, B.T. and A.E. Johnston. 1997. Soil organic matter and soil quality lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted. p. 157159, In: Gregorich E.G. and M.R. Catrer (eds.), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health, Elsevier, Amsterdam.
10. DeBano, L.F. 1990. Effects of Fire on the Soil Resource in Arizona. In Effects of Fire Management of Southwestern Natural Resources: Proceedings of the Symposium, November 15-17, 1988, Tucson, AZ (Vol. 191, p. 65). US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
11. DellaSala, D.A. and C.T. Hanson. 2015. Large infrequent fires are essential to forest dynamics and biodiversity in dry forests of western North America. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.
12. Estefan, G., R. Sommer and J. Ryan. 2013. Methods of soil, plant, and water analysis. A manual for the West Asia and North Africa region. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. 243 pp.
13. Fernández-García, V., J. Miesel, M.J. Baeza, E. Marcos and L. Calvo. 2019. Wildfire effects on soil properties in fire-prone pine ecosystems: Indicators of burn severity legacy over the medium term after fire. Applied Soil Ecology, 135:147-156.
14. Hatten, J., D. Zabowski, G. Scherer and E. Dolan. 2005. A comparison of soil properties after contemporary wildfire and fire suppression. Forest Ecology and Management, 220: 227-241.
15. Hemmatboland, E., M. Akbarinia and A. Banej Shafiei. 2010. The effect of fire on some soil chemical properties of oak forests in Marivan region. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18 (2): 218-205 (In Persian).
16. Hernandez, T., C. Garcıa and I. Reinhardt. 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. Biology and Fertility of Soils, 25: 109-116.
17. Holden, S.R., G. Abraham and K.T. Kathleen. 2013. Changes in Soil Fungal Communities, Extracellular Enzyme Activities, and Litter Decomposition across a Fire Chronosequence in Alaskan Boreal Forests. Ecosystems, 16: 34-46.
18. Jiménez-González, M.A., J.M. De la Rosa, N.T. Jiménez-Morillo, G. Almendros, J.A. González-Pérez and H. Knicker. 2016. Post-fire recovery of soil organic matter in a Cambisol from typical Mediterranean forest in Southwestern Spain. Science of the Total Environment, 572: 1414-1421.
19. Li, J., J. Pei, J. Liu, J. Wu, B. Li, C. Fang and M. Nie, 2021. Spatiotemporal variability of fire effects on soil carbon and nitrogen: A global meta-analysis. Global Change Biology, 27 (17): 4196-4206.
20. Longo, S., N. Eduardo, B.T. Goto, R.L. Berbara and C. Urcelay. 2014. Effects of burning on arbuscular mycorrhizal fungi in the Mountain Chaco Forest. Forest Ecology and Management, 315: 86-94.
21. Mabuhay, J.A., N. Nakagoshi and Y. Isagi. 2006. Soil microbial biomass, abundance, and diversity in a Japanese red pine forest: first year after fire. The Japanese Forest Society and Springer-Verlag Tokyo, 11: 165-173.
22. Mataix-Solera, J., A. Cerdà, V. Arcenegui, A. Jordánand L. M. Zavala. 2011. Fire effects on soil aggregation: a review. Earth-Science Reviews, 109(1-2): 44-60.

[Downloaded from dml.sanru.ac.ir on 2026-06-07]

23. Munoz-Rojas, M., T.E. Erickson, D. Martini and K.W. Dixon. 2016. Soil physicochemical and microbiological indicators of short, medium and long term post-fire recovery in semi-arid ecosystems. Ecological Indicators, 63: 14-22.
24. Nannipieri, P. and K. Alef. 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Netherlands: Elsevier Science.
25. Neary, D.G., C.C. Klopatek., L.F. DeBano and F. folliott, P.F. 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. Forest Ecology and Management, 122 (1-2): 51-71.
26. Ngole-Jeme, V.M. 2019. Fire-induced changes in soil and implications on soil sorption capacity and remediation methods. Applied Sciences, 9(17): 3447.
27. Plaza-Álvarez, P.A., M.E. Lucas-Borja, J. Sagra, D. Moya, T. Fontúrbel and J. De las Heras. 2017. Soil respiration changes after prescribed fires in Spanish black pine (*Pinus nigra Arn. ssp. salzmannii*) monospecific and mixed forest stands. Forests, 8 (7): 248-268.
28. Pourreza, M., S.M. Hosseini, A.A. Safari Sinegani, M. Matinizadeh 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.
29. Rillig, M.C., S.F. Wright, M.R. Shaw and C.B. Field. 2002. Artificial climate warming positively affects arbuscular mycorrhizae but decreases soil aggregate water stability in an annual grassland. Oikos, 97: 52-58.
30. Sadeghifar, M., A. Beheshti Ale agha and M. Pourreza. 2017. The recovery of soil physical and chemical indices in years after fire in Zagros oak woodlands in Kermanshah Province. Journal of Water and Soil Conservation, 24 (2): 289-302. (In Persian)
31. Ulery, A.L., R.C. Graham, B.R. Goforth and K.R. Hubbert. 2017. Fire effects on cation exchange capacity of California forest and woodland soils. Geoderma, 286: 125-130.
32. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37 (1): 29-38.

[Downloaded from drnl.sanru.ac.ir on 2026-06-07]

Changes in Chemical and Biological Characteristics of Soil after Fire in Zagros Forests

Mitra Karimi Nasab[1], Ali Beheshti Ale Agha[2] and Morteza Pourreza[3]

1- Master's student, Department of Soil Science Engineering, Razi University
2- Associate Professor, Department of Soil Science Engineering, Razi University, (Corresponding author: beheshtiali97@gmail.com)
3- Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Razi University
Received: 13 July, 2022 Accepted: 19 October, 2022

Extanded Abstract

Introduction and Objective: Fire is an ecological factor in the forest, during which most of the growing plants are damaged. By burning the vegetation on the soil surface, fire can cause negative or even positive effects on the physical, chemical, biological, and vegetation properties of the soil. Due to the fact that so far many studies have been done on the effect of natural fires on the characteristics of soil and vegetation, but researches on the impact of fire at different times of the growing season and the effect of those characteristics on soil and vegetation in Iran and other parts of the world are few. There are minimal resources in this field, so this research can provide appropriate information about the condition of the soil after the fire, as well as the ability to restore and restore valuable plant species and preserve the Zagros forests at the discretion of researchers. In this research, the effect of fire in the three seasons of spring, autumn, and winter on the chemical and biological characteristics of soil was investigated.

Material and Methods: The studied area was a part of Zagros forests in Kermanshah province. In this research, a control area was also considered in addition to the burned forests. For this purpose, the desired points (9 points for under the crown and 9 points for outside the crown in both control and burned areas) were determined by measuring with a meter on the transects (6 transects) and regularly and with time intervals. Specified (once every 2 months), they were sampled. The distance of the samples from each other in each row was 20 m and the distance between the rows was 50 m so that 3 rows were identified in the burned area and 3 rows in the control area. Soil properties were measured by conventional laboratory methods.

Results: The results of the investigations show that the fire that occurred in the studied area (under the canopy and outside the canopy of trees in the Zagros region) was superficial and was capable of causing small changes in the chemical and biological factors of the soil. Only soil respiration rate and absorbable phosphorus were affected in this surface fire. The amount of phosphorus in the soil increased and then decreased to its initial level in the first month of sampling.

Conclusion: Considering that the fire in the study area was superficial and caused slight changes in soil characteristics in all sampling months. Probably, severe fires have the ability to cause extensive changes in the chemical, physical and biological characteristics of the soil, and the sampling time in different months did not have much effect on the results.

Keywords: Burn, Forest, Microbial Respiration, Organic Carbon, Zagros

[Downloaded from drnl.sanru.ac.ir on 2026-06-07]