19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September
نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور
مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran
۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

تغییرات جمعیت قارچ‌های مایکوریزایی خاک پس از آتش‌سوزی در جنگل‌های زاگرس

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

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲-دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. * پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله (beheshtiali97@gmail.com)
۳- استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

چکیده

قارچ‌های مایکوریزا نقش اساسی در ارتقاء رشد و مقاومت گیاهان جنگلی از طریق همزیستی با ریشه‌ها دارند و به حفظ پایداری اکوسیستم‌های خاکی کمک می‌کنند. این پژوهش به بررسی تأثیر آتش‌سوزی‌های فصلی بر جامعه قارچ‌های مایکوریزا در جنگل‌های زاگرس منطقه لرینی کرمانشاه پرداخت. نمونه‌برداری‌های خاک از مناطق سوخته و شاهد در پنج مرحله زمانی انجام و شاخص‌های بوم‌شناختی مانند غنا، چیرگی، تنوع و یکنواختی قارچ‌ها محاسبه شدند. نتایج نشان داد که آتش‌سوزی باعث افزایش معنی‌دار غنا و تنوع قارچ‌های مایکوریزا در فصل بهار و مناطق سوخته شده است، اما تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص یکنواختی نداشت. تغییرات شاخص‌های قارچی به عوامل محیطی چون دما، رطوبت و ترکیب شیمیایی خاک مرتبط بوده و آتش‌سوزی باعث بازآرایی جامعه قارچی و تسلط گونه‌های مقاوم و فرصت‌طلب گردید. یافته‌ها بر اهمیت بررسی همزمان اثرات فصلی و مکانی آتش‌سوزی برای درک بهتر تغییرات اکولوژیکی قارچ‌های مایکوریزا تأکید دارند و نشان می‌دهند که مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس باید به نقش قارچ‌های مایکوریزا و تأثیرات آتش‌سوزی توجه ویژه‌ای داشته باشد.

واژگان کلیدی: آتش‌سوزی، شاخص‌های بوم‌شناختی، جنگل‌های زاگرس، قارچ مایکوریزا، تنوع زیستی.

مقدمه

قارچ‌های مایکوریزا از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های همزیست با گیاه در خاک هستند که موجب افزایش جذب آب و عناصر غذایی، رشد بهتر و مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی مانند شوری، خشکی و بیماری‌ها می‌شوند (Harrison, 2005). این قارچ‌ها در پایداری و بهره‌وری اکوسیستم، به‌ویژه در مراحل پیشرفته توالی گیاهی، نقش کلیدی دارند و در انتقال کربن به زیرزمین و بهبود دسترسی گیاه به فسفر مؤثرند (Harrison, 2005; Olsson et al., 2017). آتش‌سوزی با تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، می‌تواند جامعه قارچی و عملکرد مایکوریزا را تحت تأثیر قرار دهد. عواملی مانند شدت، مدت و دفعات آتش‌سوزی بر میزان این اثرگذاری مؤثرند (Rillig et al., 2002). در برخی مطالعات، آتش‌سوزی‌های مکرر موجب کاهش زیست‌توده میکروبی و اخلال در چرخه مواد غذایی شده‌اند (Guénon & Gros, 2013; Smith et al., 2008). همچنین، آتش‌سوزی سطحی می‌تواند باعث کاهش چشمگیر (تا ۸ برابر) زیست‌توده قارچ‌های اکتومایکوریزا شود (Guénon & Gros, 2013).

در یک مطالعه، پنج تیمار شامل دو نمونه شاهد (بدون آتش‌سوزی) و سه نمونه تحت آتش‌سوزی با شدت‌های کم، متوسط و زیاد مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تنها در تیمار با شدت بالای آتش‌سوزی، pH و فسفر خاک افزایش و نیتروژن کل و نسبت C:N کاهش یافتند. همچنین، این تیمار بیشترین تنوع باکتریایی و کمترین تنوع قارچی را نشان داد. کربن آلی و تنفس میکروبی نیز در تیمارهای با شدت متوسط و زیاد، نسبت به تیمارهای شاهد کاهش معناداری داشتند (پوررضا و همکاران، ۱۳۹۷).

Hart و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که آتش‌سوزی در کوتاه‌مدت منجر به نابودی بخشی از میکروارگانیسم‌ها و تغییر در ساختار جامعه میکروبی می‌شود، اما در بلندمدت، تغییر در ترکیب پوشش گیاهی به تغییرات ثانویه در ساختار جامعه میکروبی می‌انجامد (Hart et al., 2005).

Hebel و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که در خاک‌های به‌شدت سوخته در ایالت اورگان، میزان عناصر غذایی، قارچ‌های آربوسکولار، تنوع میکروبی و رشد گیاهان به‌طور معناداری کاهش یافته و در مقابل، گونه‌های گیاهی غیربومی گسترش بیشتری یافتند (Hebel et al., 2009).

بر اساس یافته‌های Bárcenas-Moreno و همکاران (۲۰۱۱)، فعالیت‌های میکروبی خاک در سال اول پس از آتش‌سوزی افزایش می‌یابد، اما در ادامه و تا حدود ۳۲ ماه پس از آن، کاهش یافته و به سطح تیمار شاهد یا پایین‌تر از آن می‌رسد. همچنین قارچ‌ها نسبت به باکتری‌ها حساس‌تر بوده و زمان بیشتری برای بازیابی نیاز دارند (Bárcenas-Moreno et al., 2011). با توجه به مطالعات صورت گرفته، رابطه بین قارچ مایکوریزا و گیاهان جنگلی و همچنین اثرات مستقیم و غیرمستقیم آتش‌سوزی بر پوشش گیاهی و اکوسیستم‌های طبیعی قابل درک است. کاربرد ریز جانداران در احیاء و تجدید اراضی خصوصاً جنگل‌های زاگرس که در معرض آتش‌سوزی‌های فراوانی قرار دارند و گونه‌های گیاهی در آن‌ها در معرض خطر انقراض هستند، آگاهی از وضعیت فراوانی قارچ‌های مایکوریزا و شناسایی قارچ‌های همزیست با گونه‌های درختی بومی منطقه برای داشتن مدیریت پایدار از اهمیت بسیاری برخوردار است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات فصلی آتش‌سوزی بر همزیستی قارچ‌های مایکوریزا و گیاهان جنگلی در جنگل‌های زاگرس انجام شد تا از طریق شناخت دقیق تغییرات در ریزوسفر، راهکارهایی برای احیای گونه‌های گیاهی بومی و بازسازی اکوسیستم‌های تخریب‌شده ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های زاگرس در منطقه لرینی از شهرستان گهواره (استان کرمانشاه) با مختصات جغرافیایی طول جغرافیایی ″۳۵′۱۰°۳۴ و عرض جغرافیایی ″۲۸′۳۴°۴۶ و ارتفاع میانگین ۱۴۶۸ متر بود. نمونه‌برداری خاک از دو منطقه سوخته و شاهد در قالب سه ترانسکت در هر منطقه، با فواصل ۲۰ متر در هر ردیف و ۵۰ متر بین ردیف‌ها، از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. نمونه‌ها از زیر تاج درخت و خارج از آن برداشت گردید و در پنج مرحله (مهر، آذر، بهمن، فروردین، خرداد) به‌صورت منظم و دو ماه یک‌بار جمع‌آوری شد.

از هر نمونه خاک، ۲۰۰ گرم برداشته شد و اسپورهای قارچ‌های مایکوریزا به روش کلیرنوموس و همکاران (۱۹۹۳) جداسازی گردید (Klironomos et al., 1993). نمونه‌ها از الک‌هایی با قطر منافذ ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومتر عبور داده شدند و با آب

مقطر شسته شدند. محتویات الک ۴۰۰ میکرومتری مجدداً شست‌وشو و سوسپانسیون حاصل به فالکن منتقل و در ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس به رسوب ۱۰ سی‌سی محلول ساکارز ۶۰ درصد اضافه و در ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول رویی حاوی اسپورها روی کاغذ صافی جمع‌آوری و اسپورها زیر میکروسکوپ جداسازی شدند. برای بررسی تنوع و ساختار جمعیت قارچ‌های مایکوریزا، شاخص‌های بوم‌شناختی، غنای گونه‌ای (Margalef, 1958)، شاخص چیرگی (Magurran, 2013)، شاخص تنوع شانون–وینر (Ortiz-Burgos, 2016) و شاخص یکنواختی (Magurran, 2013; Pielou, 1966) محاسبه شدند.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های به‌دست‌آمده از مراحل مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح خطای ۵ درصد صورت گرفت. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص غنای قارچ‌های مایکوریزا

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر ساده آتش‌سوزی و محل در برخی مراحل نمونه‌برداری (فروردین و خرداد) بر شاخص غنای قارچ‌های مایکوریزا معنی‌دار بود، اما اثر متقابل آن‌ها در هیچ مرحله‌ای معنادار نشد. بر اساس آزمون دانکن، در فروردین و خرداد، اختلاف معنی‌داری بین مناطق سوخته و شاهد از نظر غنای قارچ دیده شد. افزایش غنای قارچ در فصل بهار، به‌ویژه در خاک خارج از تاج درختان، مشاهده شد که احتمالاً به تنوع بیشتر پوشش گیاهی و افزایش رابطه همزیستی بر می‌گردد. افزایش دما و تجزیه مواد آلی نیز می‌تواند باعث رشد هیف‌های قارچی و در نتیجه افزایش غنا شود (شکل ۱).

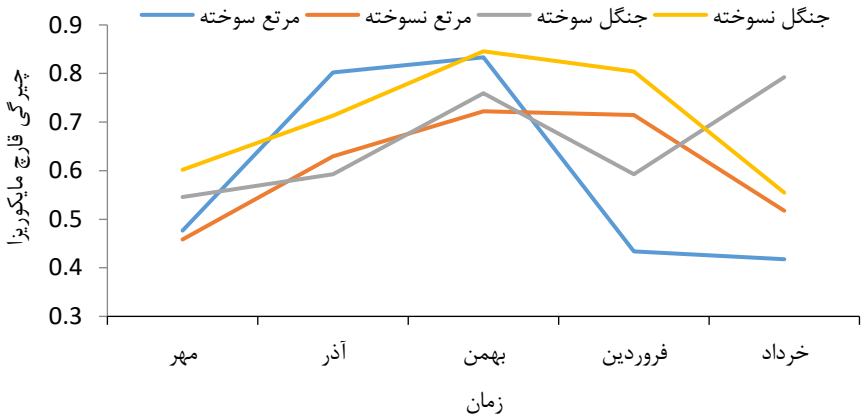
در فصل‌های سرد (مهر تا اسفند)، به دلیل کاهش رشد گیاه، همزیستی مایکوریزایی نیز کاهش یافته که می‌تواند دلیل عدم تفاوت معنی‌دار در برخی مراحل باشد. در برخی مطالعات (Docherty et al., 2012; Longo et al., 2014) گزارش شده که آتش‌سوزی می‌تواند غنا و تنوع اسپورهای مایکوریزا را کاهش دهد. در مقابل، برخی محققان دیگر به افزایش احتمالی همزیستی به دلیل آزاد شدن ناگهانی مواد مغذی اشاره کرده‌اند (Raison et al., 2009; Taudière et al., 2017). داو و هارت (۲۰۱۷) نیز کاهش ۲۸ تا ۴۱ درصدی غنا را پس از آتش‌سوزی ثبت کردند (Nicholas C. Dove & Stephen C. Hart, 2017).

عوامل محیطی مانند بافت خاک، فصل و گونه‌های گیاهی همزیست نیز نقش مهمی در میزان غنای مایکوریزا دارند. به‌طور مثال، خاک‌های سبک به دلیل هوادهی بیشتر، اسپور بیشتری را پشتیبانی می‌کنند (Janowski & Leski, 2022). مطالعاتی دیگر نیز نشان داده‌اند که نوع گونه گیاهی همزیست و شدت آسیب گیاه در آتش‌سوزی، غنای قارچ مایکوریزا را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Chimal-Sánchez et al., 2020; Nicholas C Dove & Stephen C Hart, 2017).

شکل ۱. تغییرات فراوانی (غنا) قارچ مایکوریزا در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیر تاج و بیرون تاج درختان)

شاخص چیرگی قارچ‌های مایکوریزا

نتایج نشان دادند که در فروردین، چیرگی قارچ در خاک خارج از محدوده تاج درخت نسبت به خاک زیر تاج کمتر بوده است. در خرداد، تفاوت‌های معنی‌داری بین منطقه سوخته و شاهد و همچنین بین زیر تاج و خارج از تاج از نظر میزان چیرگی مشاهده شد. نمودارها نشان دادند که بیشترین میزان چیرگی قارچ‌های مایکوریزا در مرحله سوم نمونه‌برداری ثبت شده است. این یافته‌ها نشان‌دهنده اثرات زمانی و مکانی آتش‌سوزی بر جوامع قارچی خاک هستند (شکل ۲).

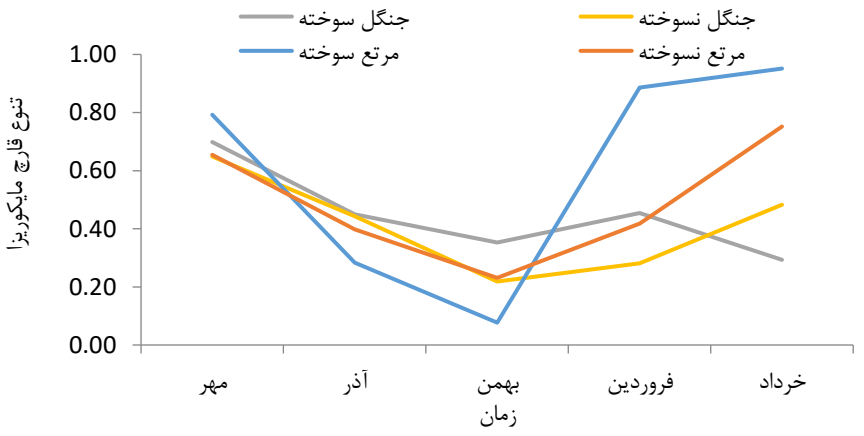


شکل ۲. تغییرات شاخص چیرگی قارچ مایکوریزا در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیر تاج و بیرون تاج درختان)

آتش‌سوزی از طریق تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، می‌تواند بر ساختار و ترکیب جمعیت قارچی اثرگذار باشد (Mikita-Barbato et al., 2015).

شاخص تنوع قارچ‌های مایکوریزا

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که شاخص تنوع قارچ‌های مایکوریزا در فروردین تحت تأثیر معنی‌دار محل (در سطح ۱٪) و آتش‌سوزی (در سطح ۵٪) قرار داشت و در خرداد اثر آتش‌سوزی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. طبق آزمون دانکن، تنوع قارچی در مناطق سوخته بیشتر از شاهد و در زیر تاج درخت کمتر از خارج از تاج مشاهده شد. بااین‌حال، در خرداد ماه تفاوت معنی‌داری بین مناطق سوخته و شاهد از نظر اثر آتش‌سوزی ثبت نشد (شکل ۳). نتایج نشان دادند که تنوع قارچ‌های مایکوریزا با کاهش دما کاهش یافته و در بهمن‌ماه (مرحله سوم) به کمترین سطح خود رسیده است. این کاهش تنوع با پایان فصل رویش گیاه و کاهش تعامل مایکوریزایی مرتبط است. پس از پایان دوره سرما، تنوع افزایش یافت، اما همچنان کمتر از مرحله اول نمونه‌برداری (مهرماه) باقی ماند. این نتایج نقش مهم دما، فصل و آتش‌سوزی را در تغییرات تنوع قارچ‌های مایکوریزا تأیید می‌کنند (شکل ۳).

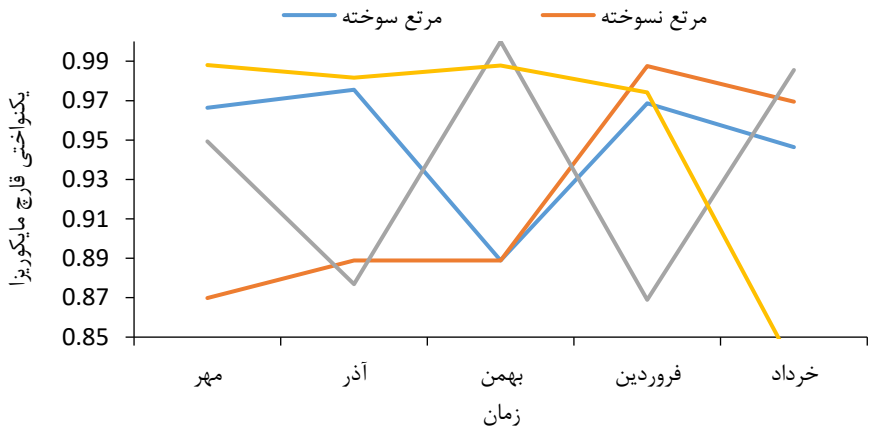


شکل ۳. تغییرات شاخص تنوع قارچ مایکوریزا در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیر تاج و بیرون تاج درختان)

در این مطالعه، کاهش تنوع قارچ‌ها در فصل سرد (بهمن) نیز مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم دما و توقف رشد گیاهان میزبان بر ارتباط مایکوریزایی است. یافته‌های مشابه نیز گزارش شده است که نشان می‌دهند فعالیت مایکوریزایی در دماهای پایین کاهش یافته و تنوع قارچی در این شرایط افت می‌کند (Kilpeläinen et al., 2020). همچنین، افزایش تنوع در مناطق سوخته نسبت به شاهد در برخی مراحل، ممکن است به دلیل تسلط گونه‌های قارچی فرصت‌طلب و تحمل‌پذیر به شرایط سخت پس از آتش‌سوزی باشد (Cairney & Bastias, 2007). برخی گونه‌های قارچ مایکوریزا توانایی سازگاری سریع با تغییرات شدید محیطی را دارند و می‌توانند به‌سرعت کلنی‌سازی کنند (Cairney & Bastias, 2007). در مجموع، این نتایج نشان می‌دهد که آتش‌سوزی نه تنها اثر تخریبی دارد، بلکه می‌تواند باعث بازآرایی جامعه قارچی شده و برخی از گونه‌های مقاوم را بر سایرین غالب کند (Fox et al., 2022). تأثیر متقابل شرایط فصلی و مکانی نیز تأیید می‌کند که بررسی همزمان این عوامل برای درک دقیق‌تر تغییرات اکولوژیکی قارچ‌های مایکوریزا ضروری است.

شاخص یکنواختی قارچ‌های مایکوریزا

نتایج بررسی شاخص یکنواختی قارچ‌های مایکوریزا در مناطق سوخته و شاهد نشان داد که اثر آتش‌سوزی و محل نمونه‌برداری در هیچ‌یک از مراحل به‌طور معنی‌داری بر یکنواختی تأثیر نداشت. با این حال، بررسی روند تغییرات نشان داد که در زیر تاج درختان شاهد، شاخص یکنواختی تا فروردین‌ماه ثابت بود و سپس کاهش یافت. در تیمار سوخته، یکنواختی زیر تاج در آذر و فروردین کاهش یافت ولی در سایر مراحل افزایش داشت. در خارج از تاج، ابتدا شاخص در تیمار سوخته بیشتر بود و در ادامه در هر دو تیمار روند افزایشی مشابهی مشاهده شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که هرچند تغییرات مشهود است، اما آتش‌سوزی تأثیر آماری معنی‌داری بر یکنواختی قارچ‌های مایکوریزا نداشته است (شکل ۴).



شکل ۴. تغییرات شاخص یکنواختی قارچ مایکوریزا در زمان‌های مختلف پس از آتش‌سوزی (در زیر تاج و بیرون تاج درختان)

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که آتش‌سوزی تأثیرات قابل‌توجهی بر شاخص‌های اکولوژیکی جامعه قارچ‌های مایکوریزا در جنگل‌های زاگرس دارد. درحالی‌که در برخی شاخص‌ها مانند غنا و تنوع، تغییرات معنی‌داری به‌ویژه در فصل بهار و در مناطق سوخته مشاهده شد، شاخص یکنواختی تحت تأثیر آماری قرار نگرفت. آتش‌سوزی با تغییر در شرایط محیطی مانند دما، رطوبت، ترکیب پوشش گیاهی و خواص شیمیایی خاک، به بازآرایی جوامع قارچی منجر شده و برخی گونه‌های مقاوم و فرصت‌طلب را غالب ساخته است. این نتایج بیانگر آن است که آتش‌سوزی علاوه بر اثرات مخرب، می‌تواند موجب شکل‌گیری ساختارهای جدید در جامعه قارچی خاک شود و بررسی همزمان عوامل فصلی و مکانی برای درک دقیق‌تر این تغییرات ضروری است.

فهرست منابع

Bárcenas-Moreno, G., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Mataix-Beneyto, J., & Bååth, E. (2011). Soil microbial recolonisation after a fire in a Mediterranean forest. Biology and Fertility of soils, 47, 261-272.

Cairney, J. W., & Bastias, B. A. (2007). Influences of fire on forest soil fungal communities. Canadian Journal of Forest Research, 37(2), 207-215. https://doi.org/https://doi.org/10.1139/x06-190

Chimal-Sánchez, E., Senés-Guerrero, C ,.Varela, L., Montaño, N. M., García-Sánchez, R., Pacheco, A., Montaño-Arias, S. A., & Camargo-Ricalde, S. L. (2020). Septoglomus mexicanum, a new species of arbuscular mycorrhizal fungi from semiarid regions in Mexico. Mycologia, 112(1), 121-132. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00275514.2019.1671147

Docherty, K. M., Balser, T. C., Bohannan, B. J., & Gutknecht, J. L. (2012). Soil microbial responses to fire and interacting global change factors in a California annual grassland. Biogeochemistry, 109 .۸۳-٦۳ , https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10533-011-9654-3

Dove, N. C., & Hart, S. C. (2017). Fire Reduces Fungal Species Richness and In Situ Mycorrhizal Colonization: A Meta-Analysis. Fire Ecology, 13(2), 37-65. https://doi.org/https://doi.org/١٠,٤٩٩٦/fireecology.130237746

Dove, N. C., & Hart, S. C. (2017). Fire reduces fungal species richness and in situ mycorrhizal colonization: a meta-analysis. Fire Ecology, 13, 37-65. https://doi.org/https://doi.org/10.4996/fireecology.130237746

Fox, S ,.Sikes, B. A., Brown, S. P., Cripps, C. L., Glassman, S. I., Hughes, K., Semenova-Nelsen, T., & Jumpponen, A. (2022). Fire as a driver of fungal diversity, A synthesis of current knowledge. Mycologia, 114(2), 215-241. https://doi.org/https://doi.org/10.108٠٠٢٧٥٥١٤,٢٠٢١,٢٠٢٤٤٢٢/٠

Guénon, R., & Gros, R. (2013). Frequent-wildfires with shortened time-since-fire affect soil microbial functional stability to drying and rewetting events. Soil Biology and Biochemistry, 57, 663-674. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.07.006

Harrison, M. J. (2005). Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Annual Review of Microbiology, 59(1), 19-42. https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.micro.58.030603.123749

Hart, S. C., DeLuca, T. H., Newman, G. S., MacKenzie, M. D., & Boyle, S. I. (2005). Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils. Forest Ecology and Management, 220(1-3), 166-184. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.012

Hebel, C. L., Smith, J. E., & Cromack Jr, K. (2009). Invasive plant species and soil microbial response to wildfire burn severity in the Cascade Range of Oregon. Applied Soil Ecology, 42(2), 150-159. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.004

Janowski, D., & Leski, T. (2022). Factors in the distribution of mycorrhizal and soil fungi. Diversity, 14(12), 1122. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/d14121122

Kilpeläinen, J., Aphalo, P. J., & Lehto, T. (2020). Temperature affected the formation of arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas in Populus angustifolia seedlings more than a mild drought. Soil Biology and Biochemistry, 146, 107798. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107798

Klironomos, J. N ,.Moutoglis, P., Kendrick, B., & Widden, P. (1993). A comparison of spatial heterogeneity of vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi in two maple-forest soils. Canadian Journal of Botany, 71(11), 1472-1480. https://doi.org/https://doi.org/10.1139/b93-178

Longo, S., Nouhra, E., Goto, B. T., Berbara, R. L., & Urcelay, C. (2014). Effects of fire on arbuscular mycorrhizal fungi in the Mountain Chaco Forest. Forest Ecology and Management, 315, 86-94. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.027

Magurran, A. E. (2013). Ecological Diversity and Its Measurement. Springer Netherlands. https://books.google.com/books?id=X7b7CAAAQBAJ

Margalef, R. (1958). Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In Perspectives in Marine Biology (pp. 648). University of California Press, Berkeley.

Mikita-Barbato, R. A., Kelly, J. J., & Tate, R. L. (2015). Wildfire effects on the properties and microbial community structure of organic horizon soils in the New Jersey Pinelands. Soil Biology and Biochemistry, 86, 67-76. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.03.021

Olsson, S., Bonfante, P., & Pawlowska, T. E. (2017). Ecology and evolution of fungal-bacterial interactions. In The Fungal Community Its Organization and Role in the Ecosystem, Fourth Edition (pp. 563-584). CRC Press Taylor & Francis Group. https://doi.org/10.1201/9781315119496-40

Ortiz-Burgos, S. (2016). Shannon-Weaver Diversity Index. In M. J. Kennish (Ed.), Encyclopedia of Estuaries (pp. 572-573). Springer Netherlands. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_233

Pielou, E. C. (1966). Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse. The American Naturalist, 100(914), 463-465. https://doi.org/https://doi.org/10.1086/282439

Raison, R. J., Khanna, P. K., Jacobsen, K. L., Romanya, J., & Serrasolses, I. (2009). Effects of fire on forest nutrient cycles. In Fire effects on soils and restoration strategies (pp. 225-256). CRC Press.

Rillig, M. C., Wright, S. F., Shaw, M. R., & Field, C. B. (2002). Artificial climate warming positively affects arbuscular mycorrhizae but decreases soil aggregate water stability in an annual grassland. Oikos, 97(1), 52-58. https://doi.org/https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970105.x

Smith, N. R ,.Kishchuk, B. E., & Mohn, W. W. (2008). Effects of wildfire and harvest disturbances on forest soil bacterial communities. Applied and Environmental Microbiology, 74(1), 216-224. https://doi.org/https://doi.org/10.1128/AEM.01355-07

Taudière, A., Richard, F., & Carcaillet, C. (2017). Review on fire effects on ectomycorrhizal symbiosis, an unachieved work for a scalding topic. Forest Ecology and Management, 391, 446-457. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.043

Changes in Arbuscular Mycorrhizal Fungi Populations in Soil after Fire in Zagros Forests

Mitra Karimi Nasab[1], Ali Beheshti Ale Agha*[2], Morteza Pourreza[3]
1- Master's student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.
2- Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran, (*Corresponding author: beheshtiali97@gmail.com)
3- Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

Abstract
Mycorrhizal fungi play a crucial role in enhancing the growth and resistance of forest plants through symbiosis with their roots, contributing to the stability of soil ecosystems. This study investigated the effects of seasonal fires on the community of mycorrhizal fungi in the Zagros forests of the Lerini region in Kermanshah. Soil samples were collected from burned and control areas at five different time points, and ecological indices, including richness, dominance, diversity, and evenness of fungi, were calculated. The results showed that fire caused a significant increase in richness and diversity of mycorrhizal fungi in the spring season and in burned areas. Still, they had no significant effect on the evenness index. Changes in fungal indices were related to environmental factors, including temperature, moisture, and soil chemical composition. Fire led to the reorganization of the fungal community with the dominance of resistant and opportunistic species. The findings emphasize the importance of considering simultaneously the seasonal and spatial effects of fire to understand ecological changes in mycorrhizal fungi better, and suggest that sustainable management of Zagros forests should pay special attention to the role of mycorrhizal fungi and the impacts of fire.

.**Keywords:** Fire, Ecological indices, Mycorrhizal fungi, Biodiversity, Zagros forests