پژوهش و فناوری محیط‌زیست، ۱۴۰۴،(۱۸)۱۰، ۱۴۰-۱۵۱

پژوهش و فناوری محیط‌زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۳۰۶۰-۲۶۷۶

تأثیر آتش‌سوزی بر تجدیدحیات و تنوع گونه‌های گیاهی در جنگل‌های خورگام رودبار

انصار عسلی طالکوئی[۱]، حسن پوربابایی[۲]✉، مهرداد قدس خواه دریایی[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم زیستی جنگل، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، ایران

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، ایران

۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۶/۲۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۱۲/۰۵

دسترسی آنلاین:
۱۴۰۴/۱۲/۲۶

کلید واژه‌ها:
آتش‌سوزی جنگل، بازسازی جنگل، تجدید حیات درختان، جنگل‌های هیرکانی

چکیده

هدف از این تحقیق تأثیر آتش‌سوزی بر تجدیدحیات و تنوع گونه‌های گیاهی در جنگل‌های خورگام رودبار بود. در برداشت داده‌ها از روش نمونه‌برداری تصادفی منظم با شبکه آماربرداری به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ متر استفاده شد. به منظور جمع‌آوری داده‌ها، ۳۰ قطعه نمونه ۴۰۰ مترمربعی در هر کدام از مناطق آتش‌سوزی و شاهد برداشت شد. در هر قطعه نمونه همه درختان با قطر برابر سینه بیش از ۷/۵ سانتی متر اندازه‌گیری شدند. در مرکز و چهار گوشه هر قطعه نمونه، از میکروپلات‌های ۴ مترمربعی برای بررسی زادآوری و درصد پوشش علفی استفاده شد. سپس تعداد و نوع نهال‌ها در سه طبقه، ارتفاع کمتر از ۱/۳۰ متر، قطر ۲/۵-۰ و قطر ۷/۵-۲/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. در این تحقیق شاخص‌های تنوع شانون-وینر، غنای مارگالف و یکنواختی اسمیت-ویلسون استفاده شدند. برای آنالیز داده‌ها، آزمون‌های آماری آنالیزواریانس، دانکن و t مستقل مقایسه میانگین بکار رفتند. نتایج نشان داد که تعداد در هکتار درختان در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد به ترتیب برابر ۲۳۰/۳۳ و ۲۳۷ اصله در هکتار است. همچنین، یافته‌ها نشان داد اختلاف معنی‌داری بین فراوانی گونه‌های راش و ممرز در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد وجود دارد. در لایه درختی اختلاف معنی‌داری بین منطقه آتش‌سوزی با شاهد با هر سه شاخص‌های تنوع وجود داشت. نتایج لایه زادآوری نشان داد که میانگین فراوانی زادآوری در منطقه شاهد بیشتر از منطقه آتش‌سوزی است و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین دو منطقه وجود دارد. نتایج شاخص‌های تنوع و غنا در این لایه نمایانگر اختلاف معنی‌دار بین این شاخص‌ها نبود.

✉پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Hpourbabaei@gmail.com

Journal of Environmental Research and Technology, 10(18)2025. 140-151

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute **Online ISSN: 2676-3060**

The Effects of Fire on Plant Regeneration and Species Diversity in Khorgam Forest, Rudbar

Ansar Asali Talkooei[1], Hassan Pourbabaei[2]✉, Mehrdad Ghodskhah daryaei[3]

1- MSc., Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Guilan, Iran
2- Professor, Department of Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Guilan, Iran
3- Associate Professor, Department of Forest Pathology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Guilan, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
2025/09/17
Accepted:
2026/02/24
Available online:
2026/03/17

Keywords:
Forest fire,
Forest restoration,
Tree regeneration,
Hyrcanian forests

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of fire on regeneration and plant species diversity in Khorgam forest, Rudbar city. In order to collect data, systematic-random sampling method with 150× 150 m dimension was used. In order to collect data, 30 sample plots of an area 400 m^2 were surveyed. in the control and fire areas. In each sampling plot, all trees with a diameter at breast height (DBH) greater than 7.5 cm were measured. Microplots of 4 m^2 were used at the center and four corners of each plot to investigate regeneration and herbaceous cover percentage. Then, the number and type of saplings were measured in three classes, height less than 1.30 m, 0-2.5 and 2.5-7.5 cm DBH. Shannon-Wiener, Margalef and Smith-Wilson biodiversity indices were used in this research. For data analysis, statistical tests of Variance (ANOVA), Duncan, and independent t-test for comparing means were used. The results showed that the number of trees in the two fire and control areas is 230.33 and 237 trees per hectare, respectively. Also, the findings indicated that there is a significant difference between the abundance of beech and hornbeam species in the two fire and control areas. There was a significant difference in the tree layer between the fire and the control areas for all three diversity indices. The results of tree regeneration showed that the mean of regeneration in the control area is higher than in the fire area, and there is a significant difference between the two areas statistically. The results of diversity and richness indices in this layer did not reveal significant differences between these indices.

✉ Corresponding author E-mail address: Hpourbabaei@gmail.com

مقدمه

جنگل‌ها از مهمترین اکوسیستم‌های سیاره ما هستند که طیف گسترده‌ای از عملکردها و خدمات بوم شناختی را تأمین می‌کنند (Yang *et al.,* 2019). داشتن اطلاعات کافی از جنگل‌ها برای بررسی تعادل بوم شناختی اکوسیستم‌های جنگلی یک عامل تأثیرگذار در برنامه‌ریزی جنگل است. قطع غیرقانونی درختان و بهره‌برداری از منابع جنگلی، فرسایش خاک و بخصوص آتش‌سوزی در جنگل‌ها مشکلات محیط زیستی پیچیده‌ای هستند که تا به امروز ادامه دارند (Rahayu, 2023). تغییرات آب و هوایی باعث بروز پدیده‌های آب و هوایی مانند طوفان و خشکسالی می‌شود و آتش‌سوزی‌های مرتبط با این پدیده‌ها باعث آشفتگی‌های گسترده در اکوسیستم‌ها و مناطق جنگلی می‌شوند (Pant *et al.,* 2019).

جنگل‌های هیرکانی، به عنوان یکی از قدیمی‌ترین اکوسیستم‌های معتدله جهان و میراث جهانی یونسکو، دارای تنوع زیستی غنی و منحصربه‌فردی هستند که بیش از ۱۵۰ گونه درختی و درختچه‌ای و هزاران گونه گیاهی و جانوری را در بر می‌گیرد و نقش کلیدی در حفظ خدمات اکوسیستمی مانند تنظیم آب و هوا و حفاظت خاک ایفا می‌کنند (Sohrabi, 2025). رخداد آتش‌سوزی در این جنگل‌ها، به ویژه در فصل پاییز، رو به افزایش است و تحت تأثیر خشکسالی، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، سالانه بیش از ۵۰۰۰ هکتار را تخریب می‌کند، این امر جنگل‌های هیرکانی را به عنوان مناطق پرخطر شناسایی کرده است (Zolghadri et al., 2025؛Karami & Tavakoli, 2024). از اثرات منفی آتش‌سوزی می‌توان به از دست رفتن پوشش گیاهی، کاهش تنوع گونه‌های بومی و تهدید زیستگاه‌های جانوری مانند پلنگ ایرانی و خرس قهوه‌ای اشاره کرد، در حالی که اثرات مثبت آن شامل پاکسازی بستر جنگل، کنترل آفات و تسهیل بازسازی برخی گونه‌های مقاوم از طریق تولید بذر است (Kalfas et al., 2024). در مجموع، مدیریت پایدار آتش‌سوزی‌ها برای حفظ تعادل تنوع زیستی این اکوسیستم حیاتی ضروری است.

آتش‌سوزی در جنگل موجب از بین رفتن چوب، رستنی‌های کف جنگل، زادآوری‌ها، فرسایش شدید خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای، برهم زدن ساختار جنگل و اتلاف مواد غذایی موجود در بخش‌های از اکوسیستم ناشی از سوختن لایه گیاهی و لاشبرگ می‌شود (Beygi Heidarlou *et al.,* 2015). آتش‌سوزی در بسیاری از اکوسیستم‌های جهان مهم است و پراکنش، فراوانی و ساختار جوامع گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Koutsias *et al.*, 2012;). در کنار مزیت‌های بوم شناختی در بسیاری از موقعیت‌ها، آتش‌سوزی‌های شدید می‌تواند زندگی و دارایی‌های انسان را تهدید کند (Blanchi *et al.*, 2014).

تاکنون پژوهش‌های زیادی درباره آتش سوزی بخصوص در شمال ایران انجام شده است. عادل (۱۳۹۱) تنوع گیاهی (شاخص شانون-وینر)، غنای گونه‌ای (شاخص مارگالف) و یکنواختی (شاخص اسمیت-ویلسون) در یک توده راش در رودبار ۳۷ سال پس از آتش سوزی بررسی کردند. نتایج نشان داد میانگین درصد پوشش، همراه با تنوع، غنا و یکنواختی، در مناطق سوخته در مقایسه با مناطق شاهد به طور قابل توجهی افزایش یافت. این نشان می‌دهد که تنوع زیستی این جنگل‌ها می‌تواند ظرف ۳۷ سال پس از آتش‌سوزی احیا شود. قاسمی شال (۱۳۹۲) در جنگل‌های شاندرمن با بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر روی خصوصیات کمی و کیفی درختان جنگلی و تجدیدحیات پرداختند. نتایج نشان داد آتش‌سوزی سبب کاهش تاج‌پوشش درختان و افزایش نور به کف جنگل و سبب ایجاد رقابت در جنگل شده است.

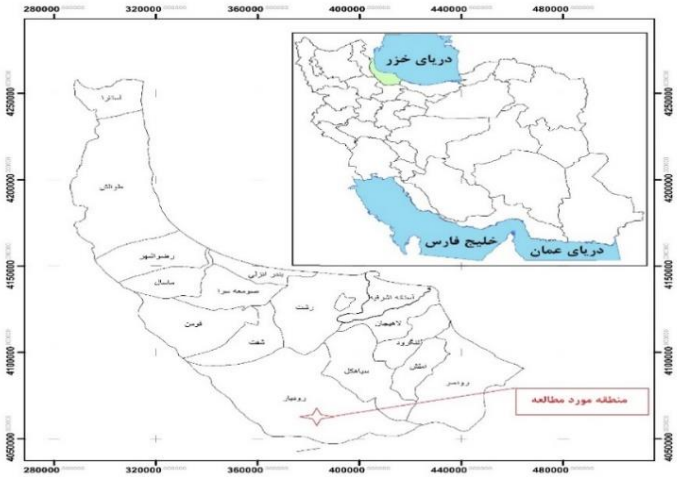
باهری (۱۳۹۴) اثرات طولانی مدت آتش‌سوزی بر پوشش‌گیاهی، تجدیدحیات و تنوع گونه‌های گیاهی در جنگل‌های لساکوتی را ۱۸ سال پس از وقوع آتش‌سوزی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد آتش‌سوزی باعث تغییر ساختار از ناهمسال به همسال نامنظم شد. نعمتی و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر آتش‌سوزی را بر ساختار و زادآوری طبیعی درختان در جنگل‌های شاندرمن گیلان بررسی کردند. نتایج نشان داد تراکم، قطر برابرسینه، سطح مقطع گونه‌های درختی و تراکم گونه‌های درختچه‌ای پس از آتش‌سوزی کاهش یافت. حاجت پور و همکاران (۱۴۰۱) تأثیر آتش‌سوزی بر ساختار و ترکیب پوشش گیاهی جنگل‌های شاندرمن در استان گیلان بررسی کردند. نتایج نشان داد که تعداد گونه‌ها در منطقه شاهد (۴۲ گونه) نسبت به منطقه آتش‌سوزی‌دیده (۲۲ گونه) بیشتر است. فراوانی گونه‌های خانواده‌های Rosaceae و Poaceae در هر دو منطقه بالاتر از سایر تیره‌ها بود. تحلیل‌های آماری نظیر DCA نیز تفاوت قابل‌توجهی در ترکیب گونه‌ای دو منطقه را تأیید کرد. نتایج تحقیق Han و همکاران (۲۰۱۵) بر روی

بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر تجدید حیات طبیعی در جنگل‌های جنوب غربی چین نشان داد که تراکم زادآوری پس از آتش‌سوزی افزایش چشم‌گیری داشته است، ولی ترکیب گونه‌ای قبل و بعد از آتش‌سوزی تفاوت معنی‌داری نداشتند. Ray و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر تنوع و زادآوری گونه‌های درختی در ذخیره‌گاه جنگلی Panna Tiger را پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تنوع گونه‌های درختی در آتش‌سوزی با شدت متوسط بیشتر از شاهد بود، اما مقدار تنوع با افزایش شدت آتش‌سوزی کاهش یافت. Bargali و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر تنوع گونه‌ای و زادآوری درختان در جنگل‌های Uttarakhand کشور هند پرداختند. نتایج نشان داد که تنوع گونه‌های درختی در مناطق با فرکانس آتش‌سوزی پایین در مقایسه با مناطق بدون کلاس فرکانس آتش‌سوزی بیشتر بود. از طرف دیگر، بررسی اثرات آتش‌سوزی طبیعی به ندرت صورت می‌گیرد، زیرا مطالعه وقایع آن سخت است (Van Mantgem *et al*., 2001). بنابراین، داشتن اطلاعات در مورد اثرات آتش‌سوزی طبیعی باعث افزایش درک ما از نقش آتش‌سوزی در جنگل‌ها خواهد داشت و به تصمیمات مدیریتی کمک می‌کند (Laughlin *et al*., 2004).

هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر تجدید حیات طبیعی و تنوع گونه‌های گیاهی در جنگل‌های هیرکانی منطقه خورگام رودبار در استان گیلان با رویکرد مقایسه‌ای بین منطقه آتش سوزی شده و شاهد بود. برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً به یک یا دو لایه گیاهی (درختی یا زادآوری) پرداخته‌اند، در این پژوهش لایه‌های درختی، زادآوری و علفی را در یک رویشگاه جنگلی درشهرستان رودبار بررسی شد. انتظار می‌رود آتش‌سوزی با کاهش تراکم و فراوانی گونه‌های حساس، تغییر معنی‌دار در شاخص‌های تنوع و یکنواختی، کاهش تجدیدحیات طبیعی و تغییر ترکیب گونه‌ای به سمت گونه‌های مقاوم‌تر یا مهاجم، تعادل بوم شناختی این اکوسیستم را به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار دهد. نتایج این مطالعه می‌تواند مبنای مدیریتی خاص این منطقه از جنگل‌های هیرکانی در برابر آتش‌سوزی‌های فزاینده باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه واقع در دهستان خورگام و در شهرستان رودبار است. از نظر مختصات جغرافیایی در محدوده بین ´´۱۸ ´۴۲ °۴۹ تا ´´ ۴۸´۲۳ °۴۹ طول جغرافیایی و ´´۳۳ ´۴۴ °۳۶ تا ´´۱۱ ´۴۶ °۳۶ عرض جغرافیایی قرار دارد (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه برابر ۵۸۰/۲۳ میلی‌متر است. متوسط درجه حرارت در گرم‌ترین ماه سال بین ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن در سردترین ماه سال بین ۵- تا ۱۵- درجه سانتی‌گراد است. جنگل مورد مطالعه شامل گونه‌های راش، ممرز، انجیلی و ... است و این منطقه در جنوب غربی روستای چهار محل و ۳ کیلومتر از این روستا فاصله دارد. ارتفاع از سطح دریا ۱۵۰۰ متر و شیب متوسط منطقه ۳۰ درصد و جهت عمومی منطقه شمالی بود (طرح جنگلداری انگورچاله، ۱۳۸۵).



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (طرح جنگلداری انگورچاله، ۱۳۸۵).

روش تحقیق و جمع آوری داده‌ها

مساحت مناطق آتش‌سوزی‌شده و شاهد به ترتیب ۳۰ و ۳۵ هکتار بود. به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها، از روش نمونه‌برداری تصادفی-منظم استفاده شد. با استفاده از شبکه‌آماربرداری به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ متر، تعداد ۳۰ قطعه نمونه ۴۰۰ مترمربعی (به ابعاد ۲۰×۲۰ متر) در هر کدام از مناطق آتش‌سوزی (۱۰ سال قبل با آتش سوزی مواجه شد) و شاهد (فاقد آتش سوزی) و در کل ۶۰ قطعه نمونه پیاده شد. در هر قطعه نمونه، مشخصات درختان به تفکیک گونه برداشت شد. در مرکز و چهارگوشه هر قطعه نمونه میکروپلات‌هایی با مساحت ۴ مترمربع (۲×۲) برای بررسی زادآوری و پوشش علفی استفاده شد (حاجت‌پور و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین، تعداد و نوع نهال‌ها در سه طبقه ارتفاعی کمتر از ۱/۳۰ متر، قطر کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر و قطر بین ۲/۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند (نعمتی و همکاران، ۱۳۹۸). در این تحقیق از شاخص‌های تنوع شانون-وینر، یکنواختی اسمیت ویلسون و شاخص غنای مارگالف (جدول ۱) استفاده شد (Magurran, 2021).

جدول (۱) شاخص‌های تنوع، یکنواختی و غنا

شاخص‌ها	فرمول	تعریف قسمت‌های مختلف هر شاخص
شاخص تنوع شانون-وینر	$H' = -\sum_{i=1}^{S}(P_i)(\log_2 P_i)$	H: شاخص تنوع شانون وینر P_i: فراوانی نسبی گونه i ام S: تعداد کل گونه‌ها
شاخص یکنواختی اسمیت ویلسون	$E_{var} = 1 - \left(\frac{2}{\pi}\right)\left[\arctan\left\{\frac{\sum\left(\log_e(n_i) - \sum\left({}^{(n_j)}/_{S}\right)^2\right)}{S}\right\}\right]$	E_{var}: برابر مقدار شاخص arctangent: زاویه مرکزی در رادیان‌ها (زاویه مرکزی قوس دایره) n_i: تعداد افراد گونه i ام در نمونه n_j: تعداد افراد گونه j ام در نمونه S: تعداد گونه‌ها در تمام نمونه‌ها
شاخص غنای گونه ای مارگالف	$R_1 = \frac{S-1}{Ln\,N}$	R_1: شاخص غنای مارگالف S: تعداد کل گونه‌ها N: تعداد کل افراد در نمونه

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرمال بودن داده‌های کمی با آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. برای مقایسه آماری مشخصه‌های اندازه‌گیری شده بین دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد آزمون‌های آماری آنالیزواریانس، دانکن و t مستقل بکار رفتند. شاخص‌های تنوع گونه ای با نرم افزار PAST 3.20 محاسبه شدند و تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 22 انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 ترسیم شدند.

یافته‌های پژوهش

ترکیب گونه‌های درختی

نتایج ترکیب گونه‌های درختی در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد نشان داد که در مجموع تعداد ۳ گونه درختی راش، ممرز و بلندمازو در هر دو عرصه حضور دارند. گونه راش بیشترین فراوانی گونه‌های درختی در هر دو منطقه را نشان داد. تعداد در هکتار درختان در منطقه آتش‌سوزی برابر ۲۳۰/۳۳ اصله در هکتار و در منطقه شاهد برابر ۲۳۷ اصله در هکتار بود که نتایج آن در جدول ۲ و شکل ۲ ارائه شده است.

جدول (۲) تعداد در هکتار گونه‌های درختی در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد

	منطقه شاهد		منطقه آتش‌سوزی	
	تعداد در هکتار	درصد	تعداد در هکتار	درصد
راش	۲۰۴	۸۶/۰۷	۱۸۸/۳۳	۸۱/۷۶
بلندمازو	۱۹	۸/۰۲	۱۰/۶۷	۴/۶۳
ممرز	۱۴	۵/۹۱	۳۱/۳۳	۱۳/۶۰
کل	۲۳۷	-	۲۳۰/۳۳	-

شکل (۲) تعداد در هکتار گونه‌های درختی در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد

نتایج آزمون مقایسه میانگین فراوانی گونه‌های نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین فراوانی گونه‌های راش و ممرز در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد وجود دارد، در حالی که اختلاف معنی‌داری بین فراوانی گونه بلندمازو در دو منطقه به دست نیامد (جدول ۳).

جدول (۳) نتایج آزمون t مستقل میانگین فراوانی گونه‌های درختی در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد

گونه	t	درجه آزادی	معنی‌داری
راش	۲/۰۱۵	۵۸	۰/۰۴۹*
بلند مازو	۱/۵۹۸	۵۸	۰/۱۱۵ ns
ممرز	۳/۸۶۸	۵۸	۰/۰۰۰*

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد و ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد

شاخص‌های تنوع در لایه درختی

بررسی شاخص تنوع شانون-وینر در لایه درختی نشان داد که میانگین این شاخص در منطقه آتش‌سوزی برابر ۰/۳۶۸ و در منطقه شاهد برابر ۰/۵۳۲ بود. همچنین، بررسی شاخص یکنواختی اسمیت- ویلسون نشان داد که میانگین این شاخص در منطقه آتش‌سوزی (۰/۷۸۲) بیشتر از منطقه شاهد (۰/۷۰۱) است. میانگین شاخص غنای مارگالف در منطقه آتش‌سوزی برابر ۰/۲۸۷ و در منطقه شاهد برابر ۰/۴۷۸ است. نتایج آزمون مقایسه میانگین هر سه شاخص در لایه درختی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص‌ها در منطقه آتش‌سوزی با منطقه شاهد وجود دارد (جدول ۴).

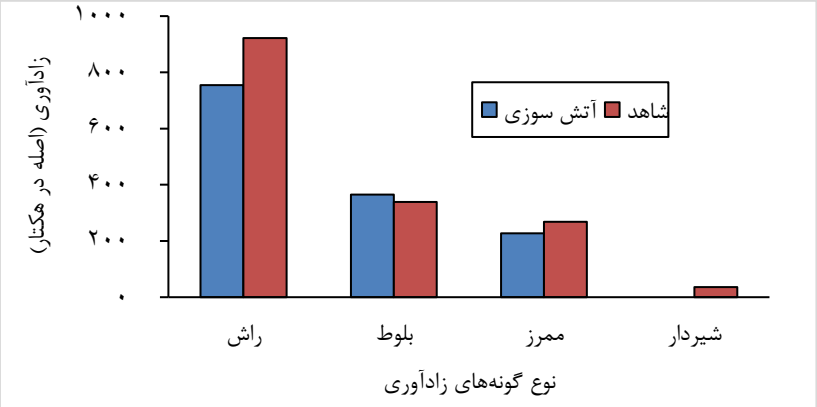
جدول (۴) شاخص‌های تنوع، یکنواختی و غنا در منطقه شاهد و آتش سوزی شده در لایه درختی با آزمون t مستقل

شاخص‌ها	میانگین ± انحراف معیار منطقه شاهد	میانگین ± انحراف معیار منطقه آتش‌سوزی شده	t	درجه آزادی	سطح معنی داری
تنوع شانون وینر	۰/۵۳۲ ± ۰/۱۳۰	۰/۳۶۸ ± ۰/۱۷۳	۴/۱۳	۵۸	۰/۰۰۰*
یکنواختی اسمیت-ویلسون	۰/۷۰۱ ± ۰/۰۹۷	۰/۷۸۲ ± ۰/۱۱۹	۲/۸۶	۵۸	۰/۰۰۶*
غنای مارگالف	۰/۴۷۸ ± ۰/۱۶۱	۰/۲۸۷ ± ۰/۰۹۸	۵/۵۱	۵۸	۰/۰۰۰*

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد، ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد

زادآوری درختان در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد

بررسی زادآوری گونه‌های درختی در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد به تفکیک گونه نشان داد که در منطقه شاهد چهار گونه راش، بلند مازو، ممرز و شیردار و در منطقه آتش‌سوزی سه گونه راش، بلندمازو و ممرز دارای زادآوری هستند. همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین فراوانی زادآوری درختان در هر دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد مربوط به گونه راش است. نتایج زادآوری درختان به تفکیک گونه در هر دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل (۳) ترکیب گونه‌های زادآوری در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد

بررسی فراوانی زادآوری گونه‌های درختی در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد به تفکیک طبقات قطری نشان داد که در منطقه شاهد، فراوانی زادآوری درختان با افزایش طبقه قطری افزایش یافته است، در حالی که در منطقه آتش‌سوزی، فراوانی زادآوری درختان با افزایش طبقه قطری کاهش یافته است. زادآوری گونه‌های درختی در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد به تفکیک طبقات قطری در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول (۵) میانگین و اشتباه معیار زادآوری درختان در هکتار دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد

منطقه	طبقات قطری ارتفاع کمتر از ۱/۳۰ متر	۲-۰/۵ سانتی‌متر	۲/۷-۵/۵ سانتی‌متر	کل
آتش‌سوزی	۶۳۳/۳۳ ۴۰±/۲۵	۳۹۰/۰۰ ۳۹±/۶۳	۲۹۳/۳۳ ۳۶±/۸۰	۱۳۴۶/۶۶ ۴۱±/۴۴
شاهد	۳۸۶/۶۶ ۲۷±/۰۰	۵۸۳/۳۳ ۲۷±/۵۷	۵۹۳/۳۳ ۲۱±/۴۰	۱۵۶۳/۳۳ ۳۸±/۲۰

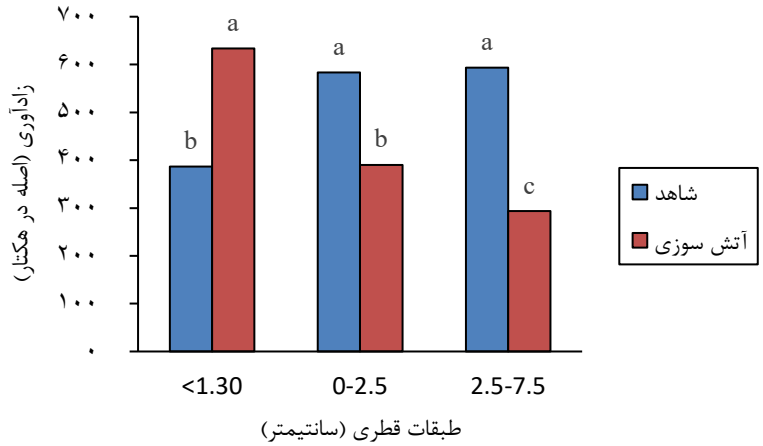
نتایج آزمون آنالیز واریانس فراوانی زادآوری درختان تحت تأثیر منطقه و طبقات قطری در جدول ۶ و شکل ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که هم بین مناطق (آتش‌سوزی و شاهد) و هم بین طبقات مختلف قطری (ارتفاع کمتر از ۱/۳۰ متر، ۲/۵-

۰ و ۷/۵-۲/۵ سانتی‌متر)، اختلاف معنی‌داری بین فراوانی زادآوری گونه‌های درختی وجود دارد. به ه علاوه، نتایج تأثیر توأم طبقات قطری و منطقه بر فراوانی زادآوری گونه‌های درختی معنی‌دار بوده است.

جدول (۶) نتایج آزمون آنالیز واریانس فراوانی زادآوری درختان براساس منطقه و طبقات قطری

منابع تغییرات	مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
منطقه	۲۳۴۷۲۲/۲۲	۱	۲۳۴۷۲۲/۲۲	۷/۲۲	۰/۰۰۸*
طبقه قطری	۲۲۹۳۳۳/۳۳	۲	۱۱۴۶۶۶/۶۶	۳/۵۳	۰/۰۳۱*
منطقه×طبقه قطری	۲۷۹۵۱۱۱/۱۱	۲	۱۳۹۷۵۵۵/۵۵	۴۳/۰۳	۰/۰۰۰*
خطا	۵۶۵۰۳۳۳/۳۳	۱۷۴	۳۲۴۷۳/۱۸		
کل	۵۱۲۵۰۰۰۰/۰۰	۱۸۰			

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد



شکل (۴) میانگین زادآوری درختان بر اساس طبقات قطری و منطقه

شاخص‌های تنوع گونه ای در لایه زادآوری

بررسی شاخص تنوع شانون-وینر در لایه زادآوری نشان داد که میانگین این شاخص در منطقه آتش‌سوزی برابر ۰/۴۹۴ و در منطقه شاهد برابر ۱/۰۴۹ است. میانگین شاخص غنای مارگالف در منطقه آتش‌سوزی برابر ۰/۳۷۰ و در منطقه شاهد برابر ۰/۷۳۱ به دست آمد. میانگین شاخص یکنواختی اسمیت-ویلسون در منطقه آتش‌سوزی (۰/۹۲۷) کمتر از منطقه شاهد (۰/۹۵۳) بود. همچنین، نتایج آزمون مقایسه میانگین شاخص تنوع شانون-وینر و غنای مارگالف در لایه زادآوری نشان داد اختلاف معنی‌داری بین منطقه آتش‌سوزی با منطقه شاهد وجود دارد. اما، شاخص یکنواختی اسمیت-ویلسون اختلاف معنی‌داری بین دو منطقه در لایه زادآوری نشان نداد (جدول ۷).

جدول (۷) شاخص‌های تنوع، یکنواختی و غنا در مناطق شاهد و آتش سوزی شده در لایه زادآوری

شاخص‌ها	میانگین ± انحراف معیار	میانگین ± انحراف معیار	t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
	منطقه شاهد	منطقه آتش سوزی شده			
تنوع شانون وینر	۱/۰۴۹ ± ۰/۰۴۲	۰/۴۹۴ ± ۰/۲۵۶	۱۱/۷۱	۵۸	۰/۰۰۰*
یکنواختی اسمیت-ویلسون	۰/۹۵۳ ± ۰/۰۳۸	۰/۹۲۷ ± ۰/۱۰۹	۱/۲۲	۵۸	۰/۲۲۵ ns
غنای مارگالف	۰/۷۳۱ ± ۰/۰۳۷	۰/۳۷۰ ± ۰/۱۷۳	۱۱/۱۵	۵۸	۰/۰۰۰*

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد، ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد

شاخص‌های تنوع در لایه علفی

بررسی شاخص تنوع شانون-وینر در لایه علفی نشان داد که میانگین این شاخص در منطقه آتش‌سوزی برابر ۱/۹۱۲ و در منطقه شاهد برابر ۱/۸۹۲ است (جدول ۱۱). بررسی شاخص یکنواختی اسمیت-ویلسون در لایه علفی نشان داد که میانگین این شاخص در منطقه آتش‌سوزی (۰/۸۵۰) بیشتر از منطقه شاهد (۰/۸۲۰) است. بررسی شاخص غنای مارگالف در لایه علفی نشان داد که میانگین این شاخص در منطقه آتش‌سوزی (۱/۹۹۳) بیشتر از منطقه شاهد (۱/۸۹۵) است. همچنین، نتایج آزمون مقایسه میانگین هر سه شاخص در لایه علفی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین هر سه شاخص در منطقه آتش‌سوزی با منطقه شاهد وجود ندارد (جدول ۸).

جدول (۸) شاخص‌های تنوع، یکنواختی و غنا در منطقه شاهد و آتش سوزی شده در لایه علفی

شاخص‌ها	میانگین ± انحراف معیار منطقه شاهد	میانگین ± انحراف معیار منطقه آتش سوزی شده	t	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
تنوع شانون وینر	۱/۸۹۲ ± ۰/۱۵۶	۱/۹۱۲ ± ۰/۱۱۳	۰/۵۰۴	۵۸	۰/۶۱۶ ns
یکنواختی اسمیت-ویلسون	۰/۸۲۰ ± ۰/۰۸۲	۰/۸۵۰ ± ۰/۰۶۹	۱/۴۰۸	۵۸	۰/۱۶۴ ns
غنای مارگالف	۱/۸۹۲ ± ۰/۴۱۲	۱/۹۹۳ ± ۰/۳۱۴	۱/۰۷۶	۵۸	۰/۲۸۷ ns

* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد، ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد

بحث و نتیجه‌گیری

هر ساله سطح زیادی از پوشش گیاهی موجود بر روی کره زمین طعمه آتش‌سوزی می‌شود. آتش‌سوزی در جنگل موجب از بین رفتن چوب، رستنی‌های کف جنگل، زادآوری‌ها، فرسایش شدید خاک، انتشار گازهای گلخانه‌ای، برهم زدن ساختار جنگل و اتلاف مواد غذایی موجود در بخش‌های اکوسیستم ناشی از سوختن لایه گیاهی و لاشبرگ است. آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع نه فقط از دیدگاه محیط زیست، بلکه از نقطه نظر اقتصادی، اجتماعی و امنیتی یکی از اصلی‌ترین موضوعات و نگرانی‌ها در بسیاری از نقاط جهان است (Pourtaghi *et al*., 2015). از سوی دیگر، با توجه به اینکه این پدیده در مقیاس‌های مختلف مکانی و بوم‌شناختی رخ می‌دهد، گردآوری داده‌های دقیق برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص توده‌های جنگلی اهمیت ویژه‌ای دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در هر دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد، گونه‌های راش، بلندمازو و ممرز بیشترین فراوانی گونه‌های درختی منطقه را تشکیل می‌دهند. بانج شفیعی و همکاران (۱۳۸۶) با بررسی اثر آتش‌سوزی بر ساختار جنگل سری چیلر خیرودکنار (حوزه ۴۵ گلبند نوشهر) گزارش کردند که گونه‌های راش، ممرز و توسکا در منطقه آتش‌سوزی‌شده و گونه‌های راش، ممرز، توسکا و بلندمازو در منطقه آتش‌سوزی‌نشده بیش از ۹۰ درصد گونه‌های درختی را تشکیل می‌دهند که همسو با نتایج پژوهش حاضر است.

نتایج بررسی پراکنش قطری درختان نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تعداد در طبقات قطری درختان بین دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد وجود ندارد. همچنین، بررسی ساختار جنگل در هر دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد به صورت ناهمسال (کاهنده) بود. در این راستا نعمتی و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی ساختار جنگل‌های شاندرمن گیلان تحت تأثیر آتش‌سوزی نشان دادند که ساختار جنگل در هر دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد به صورت ناهمسال است و ترکیب و الگوی چیرگی در لایه درختی تغییر نکرده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در پژوهشی دیگر Adel و همکاران (2013) با بررسی ساختار جنگل‌های رودبار گیلان تحت تأثیر آتش‌سوزی بیان کردند که ساختار جنگل پس از آتش‌سوزی تغییر نکرده است و در هر دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد ساختار جنگل ناهمسال است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

نتایج زادآوری درختان به تفکیک گونه‌های درختی نشان داد که در هر دو توده مورد بررسی (آتش‌سوزی و شاهد)، بیشترین فراوانی زادآوری مربوط به گونه راش بوده، به طوری که فراوانی زادآوری گونه راش در منطقه شاهد بیشتر از منطقه آتش‌سوزی بود. با توجه به اینکه تعداد در هکتار درختان در منطقه شاهد بیشتر از منطقه آتش‌سوزی بود، این انتظار وجود داشت که فراوانی

زادآوری درختان راش در منطقه شاهد بیشتر از منطقه آتش‌سوزی باشد. زیرا، درختان راش سایه پسند بوده و برای رشد نیاز به درختان پایه مادری به منظور ایجاد سایه است. به طور کلی، نتایج نشان داد که فراوانی زادآوری در منطقه آتش‌سوزی (۱۳۴۶/۶۶ اصله در هکتار) کمتر از منطقه شاهد (۱۵۶۳/۳۳ اصله در هکتار) است و از لحاظ آماری نیز اختلاف معنی‌داری بین فراوانی زادآوری بین دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد وجود دارد. در پژوهشی که توسط Adamek و همکاران (2016) در جنگل‌های شمال غربی کشور چک انجام گرفت نتایج نشان داد که زادآوری به طور چشمگیری پس از آتش‌سوزی افزایش یافته است که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارد. همچنین، در پژوهش‌های دیگری که در جنگل‌های ویکتوریا در جنوب شرقی استرالیا (Bennett *et al.* 2016) و در جنگل‌های کلرادو آمریکا (Kaczynski and Cooper, 2015) انجام شدند نیز نتایج نشان داد که آتش‌سوزی سبب افزایش تراکم زادآوی شده است که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارند. از دلایل تفاوت نتایج می‌توان با ماهیت گونه‌های تشکیل دهنده توده‌های جنگلی اشاره کرد. یکی از دلایلی که سبب افزایش زادآوری در منطقه آتش‌سوزی می‌شود، افزایش نور رسیده به جنگل به علت کاهش درصد تاج پوشش است. اما از آنجایی که گونه اصلی تشکیل دهنده منطقه (گونه راش) سایه‌پسند هستند، نور دریافتی کمک زیادی را به استقرار زادآوری درختان راش نمی‌کند و این سبب شده است تا فراوانی زادآوری در منطقه شاهد بیشتر باشد.

بررسی پوشش علفی نشان داد که میانگین همه شاخص‌های تنوع زیستی در منطقه آتش‌سوزی نسبت به منطقه شاهد بیشتر بوده است و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین دو منطقه به دست نیامد. افزایش مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی در لایه علفی و در منطقه آتش‌سوزی می‌تواند به دلیل کاهش تاج پوشش طبقه فوقانی جنگل و افزایش میزان نور از یک طرف و از سوی دیگر در نتیجه کاهش لاشبرگ و ایجاد فضای باز (Chaneton & Facelli, 1991) باشد. Moreira و همکاران(2003) با بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر پوشش علفی در جنگل‌های کاج دریایی کشور پرتغال بیان کردند که گونه‌های علفی در اولین سال‌های بعد از آتش‌سوزی در منطقه سوخته شده مستقر می‌شوند که چنین افزایشی معمولاً در سه سال اول بعد از آتش‌سوزی رخ می‌دهد و پس از گذشت پنج سال از وقوع آتش‌سوزی، ساختار پوشش گیاهان زیراشکوب در منطقه آتش‌سوزی با منطقه شاهد یکسان می‌شود که با نتایج پژوهش بانج شفیعی و همکاران (۱۳۸۶) در جنگل‌های شمال ایران مطابقت ندارد که می‌تواند آن را ناشی از شرایط اقلیمی متفاوت مناطق فوق دانست که نقش عمده‌ای را در این خصوص ایفاد می‌کند، به طوری که رفیعی و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود بیان کردند که تأثیر مکان رویشگاه روی ترکیب و تنوع پوشش گیاهی نسبت به سایر عوامل بیشتر است. در پژوهشی دیگر، Adel و همکاران (2013) در پژوهشی که در جنگل‌های رودبار استان گیلان انجام دادند بیان کردند که همه شاخص‌های تنوع زیستی مورد مطالعه (تنوع، غنا و یکنواختی) در منطقه آتش‌سوزی افزایش یافته است که همسو با نتایج پژوهش حاضر است.

در مقایسه با سایر زیستگاه‌های مشابه هیرکانی مانند جنگل‌های شاندرمن و لساکوتی (که اغلب دارای ۳-۵ گونه درختی غالب مانند راش، ممرز و بلندمازو بودند)، منطقه خورگام رودبار تنوع درختی پایین‌تری نشان داد (شاخص شانون ۰/۲۳۵ در شاهد و ۰/۸۶۳در منطقه آتش سوزی شده)، در حالی که تنوع علفی (با شاخص شانون حدود ۱/۲ تا ۱/۳) مشابه مناطق شمالی هیرکانی است که تا ۵۰ گونه علفی نیز گزارش شده است. این مقایسه حاکی از پایداری متوسط اکوسیستم است، زیرا آتش‌سوزی تنوع زادآوری را کاهش داده، که می‌تواند منجر به ناپایداری بلندمدت شود مگر با مدیریت حفاظتی منطقه، مشابه دیگر جنگل‌های هیرکانی که تحت تاثیرآتش و حفظ پوشش گیاهی هستند تا تعادل بوم‌شناختی حفظ شود.

منابع

بانج شفیعی، عباس؛ اکبری نیا، مسلم؛ جلال، سید غلامعلی؛ عزیزی، پیروز؛ حسینی، سید محسن (۱۳۸۶). تأثیر آتش‌سوزی بر ساختار جنگل، مطالعه موردی سری ۴ چلیر (حوزه ۴۵ گنبد نوشهر)، *پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، ۲۰ (۷۶)، ۱۰۵-۱۱۲.

باهری، حسن؛ قدس خواه، مهرداد؛ پوربابایی، حسن (۱۳۹۴). تأثیر بلندمدت آتش¬سوزی بر روی پوشش گیاهی و تجدیدحیات راش در جنگل‌های کوهستانی، مطالعه موردی: لساکوتی تنکابن. پایان نامه کارشناسی ارشد جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه گیلان.

حاجت پور شکاری، نسرین؛ پوربابایی، حسن؛ قدس خواه دریایی، مهرداد؛ اسدی، حامد (۱۴۰۱). اثرات آتش سوزی بر روی پوشش گیاهی در جنگل‌های شاندرمن، *پژوهش و فناوری محیط زیست*، ۷(۱۲)، ۳۳-۴۴.

رفیعی، فهیمه؛ اجتهادی، حمید؛ جنگجو، محمد (۱۳۹۳). بررسی تنوع گیاهی در زمان‌های مختلف پس از آتش سوزی در یک مرتع نیمه خشک. *مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)*، ۲۷(۵)، ۸۵۴-۸۶۴.

طرح جنگلداری انگورچاله (۱۳۸۵). اداره کل منابع طبیعی استان گیلان، ۲۵۰ صفحه.

قاسمی شال، وحید؛ قدس خواه؛ مهرداد، ترکمن؛ جواد (۱۳۹۲). تأثیر آتش‌سوزی بر روی خصوصیات کمّی و کیفی درختان جنگلی و تجدید حیات آن‌ها (مطالعه موردی در منطقه ماسال- شاندرمن). پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه گیلان.

کریمی، سعیده؛ پوربابایی، حسن (۱۳۹۵). تأثیر آتش‌سوزی بر ساختار و تجدید حیات گونه‌های چوبی در اکوسیستم‌های جنگلی زاگرس میانی (مطالعه مورد یک تنگه بزارخانه کرمانشاه). *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع*، ۱۴(۲)، ۱۳۵-۱۲۲.

نظرپورفرد، کوروش؛ پوربابایی، حسن؛ صالحی، علی؛ پیله‌ور، بابک (۱۳۹۹). تأثیرات آتش‌سوزی در دوره‌های مختلف زمانی بر ترکیب و تنوع بانک بذر خاک در جنگل‌های بلوط لرستان. *مجله جنگل ایران*، ۱۲(۱)، ۶۱ -۷۳.

نعمتی، بهرام؛ قدس خواه دریایی، مهرداد؛ عادل، محمد نقی (۱۳۹۸). تأثیر آتش‌سوزی بر ساختار و زادآوری طبیعی جنگل در جنگل‌های شاندرمن، استان گیلان. *مجله پژوهش و توسعه جنگل*، ۵ (۲)، ۱۸۱-۱۹۴.

Adamek, M., Hadincová, V., & Wild, J. (2016). Long-term effect of wildfires on temperate Pinus sylvestris forests: Vegetation dynamics and ecosystem resilience. Forest Ecology and Management, 380, 285-295.

Adel, M. N., Pourbabaei, H., Omidi, A., & Dey, D. C. (2013). Forest structure and woody plant species composition after a wildfire in beech forests in the north of Iran. Journal of Forestry Research, 24(2), 255-262.

Adel, M. N., Pourbabaei, H., Omidi, A., & Pothier, D. (2012). Long-term effect of fire on herbaceous species diversity in oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests in northern Iran. Forestry Studies in China, 14(4), 260-267.

Bargali, H., Bhatt, D., Sundriyal, R. C., Uniyal, V. P., Pandey, A., & Ranjan, R. (2023). Effect of forest fire on tree diversity and regeneration in the forests of Uttarakhand, Western Himalaya, India. Frontiers in Forests and Global Change, 6, 1198143.

Bennett, L. T., Bruce, M. J., MacHunter, J., Kohout, M., Tanase, M. A., & Aponte, C. (2016). Mortality and recruitment of fire-tolerant eucalypts as influenced by wildfire severity and recent prescribed fire. Forest Ecology and Management, 380, 107-117.

Blanchi, R., Leonard, J., Haynes, K., Opie, K., James, M., & de Oliveira, F. D. (2014). Environmental circumstances surrounding bushfire fatalities in Australia 1901–2011. Environmental Science & Policy, 37, 192-203.

Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. science, 320(5882), 1444-1449.

Brooks, M. L., D'antonio, C. M., Richardson, D. M., Grace, J. B., Keeley, J. E., DiTomaso, J. M., ... & Pyke, D. (2004). Effects of invasive alien plants on fire regimes. BioScience, 54(7), 677-688.

Chaneton, E. J., & Facelli, J. M. (1991). Disturbance effects on plant community diversity: spatial scales and dominance hierarchies. Vegetatio, 93(2), 143-155.

Han, J., Shen, Z., Ying, L., Li, G., & Chen, A. (2015). Early post-fire regeneration of a fire-prone subtropical mixed Yunnan pine forest in Southwest China: Effects of pre-fire vegetation, fire severity and topographic factors. Forest Ecology and Management, 356, 31-40.

Kaczynski, K. M., & Cooper, D. J. (2015). Post-fire response of riparian vegetation in a heavily browsed environment. Forest Ecology and Management, 338, 14-19.

Kalfas, D., Kalogiannidis, S., Chatzitheodoridis, F., & Margaritis, N. (2024). The other side of fire in a changing environment: Evidence from a Mediterranean country. Fire, 7(2), 36.

Karami, P., & Tavakoli, S. (2025). Non-parametric spatiotemporal trends in fire: An approach to identify fire regimes variations and predict seasonal effects of fire in Iran. PloS one, 20(4), e0319993.

Koutsias, N., Arianoutsou, M., Kallimanis, A. S., Mallinis, G., Halley, J. M., & Dimopoulos, P. (2012). Where did the fires burn in Peloponnisos, Greece the summer of 2007? Evidence for a synergy of fuel and weather. Agricultural and Forest Meteorology, 156, 41-53.

Laughlin, D. C., Bakker, J. D., Stoddard, M. T., Daniels, M. L., Springer, J. D., Gildar, C. N., ... & Covington, W. W. (2004). Toward reference conditions: wildfire effects on flora in an old-growth ponderosa pine forest. Forest Ecology and Management, 199(1), 137-152.

Magurran, A. E. (2021). Measuring biological diversity. Current Biology, 31(19), R1174-R1177.

Mantgem, P. V., Schwartz, M., & Keifer, M. (2001). Monitoring fire effects for managed burns and wildfires: coming to terms with pseudoreplication.

Moreira, F., Delgado, A., Ferreira, S., Borralho, R., Oliveira, N., Inácio, M., ... & Rego, F. (2003). Effects of prescribed fire on vegetation structure and breeding birds in young Pinus pinaster stands of northern Portugal. Forest Ecology and Management, 184(1-3), 225-237.

Pant, S., & Cha, E. J. (2019). Potential changes in hurricane risk profile across the United States coastal regions under climate change scenarios. Structural Safety, 80, 56-65.

Pourtaghi, Z. S., Pourghasemi, H. R., & Rossi, M. (2015). Forest fire susceptibility mapping in the Minudasht forests, Golestan province, Iran. Environmental Earth Sciences, 73(4), 1515-1533.

Rahayu, M. (2023). Symbiocene as an Effort to Build Ecological Balance in Danny Boyle's The Beach (2000). Teknosastik: Jurnal Bahasa dan Sastra, 21(1), 61-70.

Ray, T., Malasiya, D., Rajpoot, R., Verma, S., Dar, J. A., Dayanandan, A., ... & Khan, M. L. (2021). Impact of forest fire frequency on tree diversity and species regeneration in tropical dry deciduous forest of Panna Tiger Reserve, Madhya Pradesh, India. Journal of Sustainable Forestry, 40(8), 831-845.

Shafiei, A., Beygi Heidarlu, H., & Erfanian, M. (2015). Evaluating the fuzzy weighted linear combination method in forest fire risk mapping (Case study: Sardasht Forests, West Azerbaijan Province, Iran). Journal of wood and forest science and technology, 22(3), 29-52.

Sohrabi, H. (2025). Does UNESCO designation enhance forest protection? Evidence from the Hyrcanian national forest inventory. Trees, Forests and People, 100956.

Yang Yang, Y. Y., Zhang XiTing, Z. X., Xiao Lu, X. L., Yang YanBo, Y. Y., Wang Ke, W. K., Du HongJu, D. H., ... & Wang WenJie, W. W. (2019). Effect of forest-fire rehabilitation time on plant diversity in Daxing'an Mountains, Northeastern China.

Zolghadri, S., Ghodskhah Daryaei, M., Nasirahmadi, K., & Ghajar, E. (2025). Uncovering the hidden patterns of fire risks: A cluster analysis approach (K-Medoids and FCM) for Hyrcanian Forest in Iran. Caspian Journal of Environmental Sciences, 23(2), 481-493.