

Research Paper

Estimating and comparing the mortality time of the cambium of beech and hornbeam trees due to fire (case study: Lalys Forest, Nowshahr)

Nasrin Aho-Ghalandari^{1,*}, Hadi Kia-Daliri², Reza Akhavan³ and Asadollah Mataji⁴

1,*- (Corresponding author) Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Guilan University, Rasht, I. R. Iran. (Nasrin_gh64@yahoo.com)

2- Associate Professor, Department of Environment and Forest Sciences, Faculty of natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran. (h_kiadaliri@srbiau.ac.ir)

3- Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (akhavan@rifr-ac.ir)

4- Professor, Department of Environment and Forest Sciences, Faculty of natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran. (amataji@srbiau.ac.ir)

Received: 01 July 2023

Accepted: 14 May 2024

Extended Abstract

Background and Objective: Fires are among the most significant natural disturbances impacting plant ecosystems worldwide. Despite their destructive nature and considerable influence on forest ecosystem dynamics, forest fires are an inherent component of many ecosystems. Over millions of years, the interdependent relationship between fire and vegetation has led to their mutual adaptation, making fire an inevitable and inseparable part of these ecosystems. The bark of trees serves as a protective barrier for young trees and seedlings, shielding internal tissues from fire and preventing damage to all tree tissues below 60°C, which is the critical temperature for cambium death. This study aimed to assess the fire sensitivity of two tree species, beech (*Fagus orientalis Lipsky*) and hornbeam (*Carpinus betulus L.*), by examining bark thickness and determining cambium death times across trees with similar diameter classes.

Material and Methods: The study was conducted in the Lalis Forests of watershed No. 45, located in Mazandaran province, northern Iran. The area covers 2,127 hectares, and the climate is classified as very humid based on the De Martonne method. Random sampling of tree bark was conducted across diameter classes ranging from 5 to 120 cm for both beech and hornbeam species. A total of 192 trees (96 beech and 96 hornbeam) were sampled, with eight trees selected from each diameter class, resulting in 384 bark samples. At breast height, a 10×5 cm section of bark was removed using a knife, and the thickness was measured with a caliper to the nearest millimeter. The bark samples were then exposed to controlled burning at 60°C and 400°C. To compare species vulnerability to fire within the same diameter classes, a paired t-test was used. Bark thickness was entered into the formula $t_c = 2.89 * x^2$ to examine cambium death times.

Results: Significant differences were observed in bark thickness between the two species, with hornbeam exhibiting thinner bark compared to beech in the same diameter classes. A notable difference ($P < 0.05$) was found in the time to ignition between beech and hornbeam bark at the fire environment temperature of 400°C. However, hornbeam bark demonstrated greater heat

resistance. In both smaller and larger diameter classes, hornbeam exhibited higher survival rates than beech, despite beech having thicker bark in all diameter classes. One key factor contributing to the species' fire resistance is the physical and chemical structure of the bark, with light-demanding species typically exhibiting higher fire resistance. At 60°C, the cambium is destroyed, and hornbeam showed higher resistance, with its cambium changing color over a longer period. Beech cambium, despite having thicker bark, was destroyed more slowly than hornbeam cambium. This suggests that species with thicker bark tend to have longer cambium death times. Although the $t_c = 2.89 * x^2$ formula is linear, it does not account for all factors affecting tree resistance (such as the physical and chemical properties of the wood), limiting its accuracy in assessing tree mortality.

Conclusion: Bark thickness plays a crucial role in determining the time it takes for bark to burn and for the cambium to die, and this varies between species. When comparing burning times and cambium mortality within a species, bark thickness is a primary influencing factor. However, when comparing between species, factors such as species type, fire resistance, and the physical and chemical characteristics of the bark become more significant. Therefore, in the event of a fire, to protect the forest and minimize further damage, priority should be given to supporting younger, more vulnerable stands.

Keywords: Bark resistance, Bark thickness, Burning time, Hyrcanian forests.

How to Cite This Article: Ahoo-Ghalandari, N., Kia-Daliri, H., Akhavan, R., and Mataji, A. (2025). Estimating and comparing the mortality time of the cambium of beech and hornbeam trees due to fire (case study: Laly Forest, Nowshahr). Forest Research and Development, 10(4), 545-558. DOI: [10.30466/jfrd.2024.54808.1681](https://doi.org/10.30466/jfrd.2024.54808.1681)



برآورد و مقایسه زمان مرگ کامبیوم درختان راش و ممرز بر اثر آتش‌سوزی (بررسی موردی: جنگل لالیس نوشهر)

نسرین آهوقلندری^{۱*}، هادی کیادلیری^۲، رضا اخوان^۳ و اسداله متاجی^۴

- ۱- دکترای جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، پردیس دانشگاهی دانشگاه گیلان، رشت، ایران. (nasrin_gh64@yahoo.com)
- ۲- دانشیار، گروه محیط زیست و علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. (h_kiadaliri@srbiau.ac.ir)
- ۳- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (akhavan@rifr-ac.ir)
- ۴- استاد، گروه محیط زیست و علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. (amataji@srbiau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴

چکیده

مقدمه و هدف: آتش‌سوزی‌ها یکی از مهم‌ترین آشفتگی‌های طبیعی هستند که بر بوم‌سازگان‌های گیاهی در سراسر جهان اثر می‌گذارند. آتش‌سوزی‌های جنگلی با وجود این که رویدادی هستند که بر پویایی بوم‌سازگان جنگلی تأثیر زیادی دارند، اما بخش جدایی‌ناپذیر بسیاری از بوم‌سازگان‌های جنگلی محسوب می‌شوند. طی میلیون‌ها سال فرایند، رابطه و تعامل متقابل بین آتش‌سوزی و پوشش گیاهی است که سبب شده تا آنها به‌عنوان بخشی اجتناب‌ناپذیر و جدایی‌ناپذیر از بوم‌سازگان‌ها پذیرفته شوند. ضخامت پوست، محافظی برای ساقه‌های درختان جوان و نهال‌ها است که سبب حفاظت بافت‌های درونی در برابر آتش‌سوزی می‌شود و تمامی بافت‌های درختان را در دمای کمتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد که دمای مرگ کامبیوم است محافظت می‌کند. هدف این پژوهش بررسی مقدار حساسیت دو گونه راش و ممرز به آتش‌سوزی با در نظر گرفتن ضخامت پوست و همچنین تعیین زمان مرگ کامبیوم این دو گونه در طبقه‌های قطری مختلف است.

مواد و روش‌ها: منطقه موردبررسی سری ۱۰ جنگل‌های لالیس حوضه آبخیز شماره ۴۵ گلبدن نوشهر در استان مازندران است. مساحت کل این سری ۲۱۲۷ هکتار است که بر اساس روش دومارتن، اقلیم آن خیلی مرطوب است. نمونه‌برداری از پوست درختان به روش تصادفی از طبقه‌های قطری پنج تا ۱۲۰ سانتی‌متر برای دو گونه راش و ممرز انجام گرفت و از هر طبقه هشت درخت نمونه‌برداری شدند. در مجموع از ۲۴ طبقه قطری پنج سانتی‌متری، ۱۹۲ نمونه به‌تفکیک هر گونه و در نهایت ۳۸۴ نمونه برداشت شدند. بدین صورت که بر اساس طبقه‌های قطری قسمتی از پوست درخت در ارتفاع برابر سینه به ابعاد ۱۰×۵ سانتی‌متر

به‌وسیله کاردک پیوند برداشته شد و ضخامت آن به‌وسیله کولیس تا دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس این پوست‌ها در دماهای ۶۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط آزمایشگاهی سوزانده شدند. پس از سوزاندن پوست درختان برای مقایسه آسیب‌پذیری گونه‌ها در طبقه‌های قطری یکسان در برابر آتش‌سوزی از آزمون تی جفتی استفاده شد. ضخامت پوست در رابطه $t_c = 2.89 * x^2$ قرار داده شد و زمان مرگ کامبیوم موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: تفاوت ضخامت پوست دو‌گونه معنی‌دار بود و گونه ممرز در طبقه‌های قطری یکسان ضخامت پوست کمتری نسبت به راش داشت. زمان شروع به سوختن پوست راش و ممرز در طبقه‌های قطری یکسان در دمای آتش‌سوزی در محیط جنگل (۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) تفاوت معنی‌داری در سطح خطای پنج درصد داشتند، و مقاومت پوست ممرز در برابر حرارت بیشتر بود. با این که ضخامت پوست راش در تمامی طبقه‌های قطری بیشتر از گونه ممرز بود، اما در طبقه‌های کم‌قطر و قطور زنده‌مانی گونه ممرز از راش بیشتر بود. یکی از دلایل مقاومت متفاوت گونه‌ها در برابر آتش‌سوزی ساختار فیزیکی و شیمیایی پوست گونه است، به‌طوری که گونه‌های نورپسند از مقاومت بیشتری در برابر آتش برخوردارند. لایه کامبیوم در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌رود که در این بخش مقاومت گونه ممرز بیشتر بود و در مدت زمان طولانی‌تری رنگ کامبیوم آن تغییر کرد. کامبیوم گونه راش که از ضخامت پوست بیشتری برخوردار بود، در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به گونه ممرز از بین رفت. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که هر گونه‌ای که از ضخامت پوست بیشتری برخوردار باشد، زمان مرگ کامبیوم طولانی‌تری دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش رابطه $t_c = 2.89 * x^2$ به‌صورت خطی بود، اما تمامی عامل‌های تأثیرگذار (خواص فیزیکی و شیمیایی چوب) بر مقاومت درخت را در نظر نمی‌گیرد و به‌همین دلیل قابلیت استفاده برای ارزیابی دقیق و بررسی مرگ و میر درختان را ندارد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی ضخامت پوست، عامل مهمی برای مقایسه زمان سوختن و مرگ کامبیوم در یک گونه است که در بین گونه‌های مختلف، متفاوت است. در مواقعی که هدف مقایسه زمان سوختن و مرگ کامبیوم در یک گونه باشد، عامل تأثیرگذار ضخامت پوست است، ولی زمانی که هدف مقایسه بین دو گونه متفاوت باشد، عامل‌های اصلی شامل نوع گونه، مقاومت گونه در برابر آتش‌سوزی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پوست و ضخامت پوست هستند. از این رو زمانی که آتش‌سوزی در منطقه‌ای اتفاق می‌افتد می‌توان برای نجات جنگل و جلوگیری از تخریب بیشتر ابتدا توده‌های جوان و آسیب‌پذیرتر را مورد حمایت قرار داد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های هیرکانی، زمان سوختن، ضخامت پوست، مقاومت پوست.

لایه کامبیوم اطراف آوند آبکش را احاطه می‌کند

که این آوندها مسئولیت هدایت آب و مواد غذایی را به برگ‌ها برای انجام عمل فتوسنتز به‌عهده دارند. دماهای زیاد سبب آسیب‌های جدی و حتی مرگ کامبیوم خواهد شد (Rozas et al., 2011). مرگ کامبیوم برابر با مرگ درخت است. حتی اگر آسیب آتش‌سوزی سبب مرگ کامبیوم درختان نشود، ولی آثار تنش آن در پهنای حلقه‌های رویشی درخت ثبت خواهد شد (Seifert et al., 2017).

پیش‌بینی زمان سوختن هر گونه درختی ابزار مهمی برای بررسی اثرهای آتش‌سوزی بر جنگل و همچنین اختلالی است که به بوم‌سازگان‌ها وارد می‌شود (Pellegrini et al., 2017; Plaza-Álvarez et al., 2017).

مرگ و میر پس از آتش‌سوزی می‌تواند ساختار جامعه گیاهی و ترکیب گونه‌ها را به‌طور چشمگیری تغییر دهد (Cansler et al., 2020) و از همه مهم‌تر پاسخ گونه‌های گیاهی به این آشفته‌گی‌ها است که در حقیقت رفتار بوم‌سازگان‌ها را پیش‌بینی خواهد کرد (Pellegrini et al., 2017). بین ضخامت پوست و زمان مرگ کامبیوم رابطه مستقیمی برقرار است (Ryan, 1982). امروزه پدیده آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگلی به‌عنوان یکی از بلاهای طبیعی بخش وسیعی از جنگل‌های جهان را مورد تهدید قرار داده است. با توجه به اثرهای مخرب آتش‌سوزی بر جنگل، انجام پژوهشی که با استفاده از روش‌های نوین بتوانند آتش‌سوزی را پیش‌بینی کنند، بسیار ارزشمند است. با توجه به اهمیت وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها، تاکنون پژوهش‌های مختلفی در این زمینه در مناطق جنگلی جهان انجام شده است (Parnian et al., 2021).

مدل رایج رایان-آمن برای پیش‌بینی دقیق مرگ و میر پس از آتش‌سوزی با استفاده از دو معیار طراحی

آتش‌سوزی‌ها یکی از مهم‌ترین آشفته‌گی‌های طبیعی هستند که بر بوم‌سازگان‌های گیاهی در سراسر جهان اثر می‌گذارند. آتش‌سوزی‌های جنگلی با وجود این که رویدادی هستند که بر پویایی بوم‌سازگان جنگلی تأثیر قابل توجهی دارند، بخش جدایی‌ناپذیر بسیاری از بوم‌سازگان‌های جنگلی محسوب می‌شوند. طی میلیون‌ها سال فرایند، رابطه و تعامل متقابل بین آتش‌سوزی و پوشش گیاهی است که سبب شده تا آنها به‌عنوان بخشی اجتناب‌ناپذیر و جدایی‌ناپذیر از بوم‌سازگان‌ها پذیرفته شوند (Kabaoglu et al., 2023). در سال ۲۰۱۹ حدود ۲۰ میلیون آتش‌سوزی در سراسر جهان اتفاق افتاده است (Saunders et al., 2023).

مقدار تأثیرپذیری درختان از آتش‌سوزی به شار گرمای واردشده از قسمت‌های مختلف درختان و گیاهان بستگی دارد. اثرهای آتش‌سوزی بر روی درختان را می‌توان به دو دسته طبقه‌بندی کرد: اثرهای درجه اول و اثرهای درجه دوم. اثرهای درجه اول شامل انتقال دما به بافت‌ها است و آسیب‌هایی که در این مرحله ایجاد می‌شود به‌خودی‌خود کشنده نیستند، اما بستری مناسب را برای اثرهای درجه دوم ایجاد می‌کند که شامل محدودیت‌ها در انتقال کربن و آب در داخل درخت و یا افزایش حساسیت به حمله حشرات و عفونت‌های قارچی است (Bär et al., 2019).

ضخامت پوست محافظی برای ساقه‌های درختان جوان و نهال‌ها است که سبب حفاظت بافت‌های درونی در برابر آتش‌سوزی می‌شود (Lawes et al., 2011; Pausas, 2017) و تمامی بافت‌های درختان را در دمای کمتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد که دمای مرگ کامبیوم است محافظت می‌کند (Bauer et al., 2010; Rosell, 2014) (and Olson, 2014).

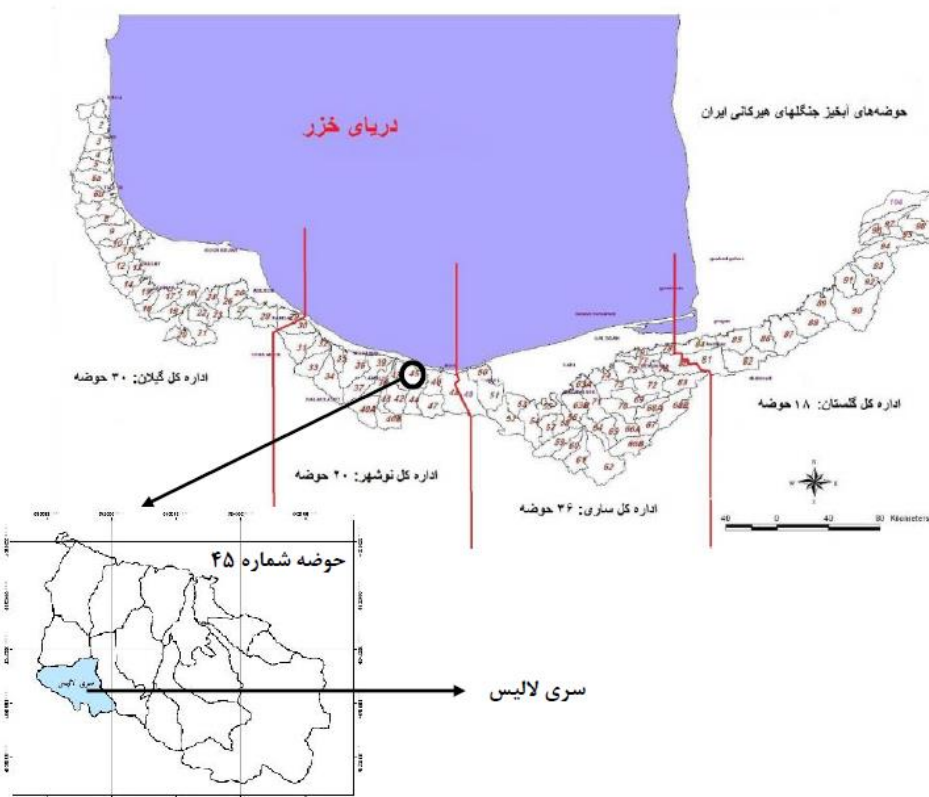
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

برای این پژوهش جنگل‌های سری ۱۰ لالیس حوضه آبخیز شماره ۴۵ گلبدن نوشهر در استان مازندران در نظر گرفته شد (شکل ۱). مساحت کل این سری ۲۱۲۷ هکتار و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر است. همچنین بر اساس روش دومارتن اقلیم منطقه خیلی مرطوب است. مقدار متوسط بارندگی سالیانه سری برابر ۷۳۱ میلی‌متر است که با توجه شرایط رویشگاه و ارتفاع از سطح دریا و جهت، این مقدار تا ۱۰۰۰ میلی‌متر نیز نوسان دارد. انواع تیپ‌های جنگلی موجود در این سری، شامل راش خالص، راش آمیخته، راش-ممرز، ممرز-راش و تیپ لور است (Anonymous, 2006).

شده است؛ سوختگی تاج و مقاومت در برابر آتش‌سوزی (ضخامت پوست) که امکان پیش‌بینی سه سال بعد از آتش‌سوزی را دارد (Barker et al., 2022). نتایج پژوهش‌های جدید نشان داده است که سنجش از دور و شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند ابزارهای مفیدی برای مدیریت آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع باشند (Polat et al., 2019).

در ایران پژوهش‌های زیادی در مورد آتش‌سوزی و مدلسازی‌های آن انجام شده، ولی هدف این پژوهش بررسی مقدار حساسیت دو گونه راش و ممرز به آتش‌سوزی با در نظر گرفتن ضخامت پوست و همچنین تعیین و مقایسه زمان مرگ کامبیوم این دو گونه در طبقه‌های قطری یکسان است.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد بررسی

Figure 1. Map of study area

روش پژوهش

نمونه‌برداری از پوست درختان به روش تصادفی و از طبقه‌های قطری پنج تا ۱۲۰ سانتی‌متر برای دو گونه راش و ممرز انجام شد و از هر طبقه قطری هشت درخت اندازه‌گیری شدند (Espinosa et al., 2020). در مجموع از ۲۴ طبقه قطری پنج سانتی‌متری، ۱۹۲ نمونه به تفکیک از هر گونه و در مجموع ۳۸۴ نمونه برداشت شدند. سپس به صورت تصادفی از ۱۹۲ نمونه هر گونه تعداد ۹۶ نمونه برای دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد (دمای آتش‌سوزی در محیط جنگل) و تعداد ۹۶ نمونه دیگر برای دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد (دمای مرگ کامبیوم) جداسازی شدند. روش برداشت نمونه‌ها به این صورت بود که پس از بررسی کلی سری ۱۰ لالیس و شناسایی درختان، با استفاده از دستگاه کالیپر قطر درختان اندازه‌گیری شد و سپس براساس طبقه‌های قطری قسمتی از پوست درخت در ارتفاع برابر سینه به وسیله کاردک پیوند به صورت یک مستطیل به ابعاد ۵×۱۰ سانتی‌متر جداسازی شد. پس از جداسازی از چسب باغبانی برای ترمیم محل نمونه استفاده شد. پوست هر درخت به صورت جداگانه با کد مشخص در کیسه وکیوم قرار داده شد و برای حمل نمونه‌ها از یخدان حاوی یخ استفاده شد. سپس ضخامت تمامی پوست‌ها به وسیله کولیس تا دقت میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

پس از آن برای تعیین زمان سوختن پوست درختان در دمای آتش‌سوزی در جنگل، ۹۶ نمونه پوست از هرگونه در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد درون منقلی حاوی زغال و لاشبرگ سوزانده و زمان سوختن به وسیله کرونومتر ثبت شد. همچنین ۹۶ نمونه از پوست درختان هر گونه برای تعیین زمان مرگ کامبیوم در ۶۰ درجه سانتی‌گراد است (Madrigal et al., 2009) در فاصله ۱۰ سانتی‌متری شمع قرار داده شد و زمانی که

کامبیوم شروع به قهوه‌ای شدن کرد زمان آن به وسیله کرونومتر یادداشت شد.

برای تعیین زمان تقریبی مرگ کامبیوم از رابطه (۱) $tc = 2.90 \times x^2$ استفاده شد (Ryan et al., 1988) که با توجه به شرایط رویشگاهی شمال کشور و قرار دادن دمای آتش‌سوزی در جنگل‌های ایران در رابطه ۱، رابطه ۲ به صورت $tc = 2.89 \times x^2$ محاسبه شد. در این رابطه x ضخامت پوست، tc زمان مرگ کامبیوم و $2/89$ ضریب رابطه است که براساس شرایط هر رویشگاه تعیین می‌شود. به این صورت که با محاسبه زمان و ضخامت پوست و قرار دادن آن در رابطه (۱) ضریب تقریبی رابطه (۲) به دست آمد. برای سهولت در انجام محاسبات میانگین کل متغیرها (ضخامت پوست، زمان سوختن پوست در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، زمان مرگ کامبیوم در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان مرگ تقریبی) از رابطه ۲ استفاده شد. پس از آن برای مقایسه زمان سوختن دو گونه راش و ممرز در دماهای ۶۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در طبقه‌های قطری یکسان از آزمون تی جفتی در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در مرحله بعد براساس طبقه‌بندی پنج‌تایی (Rowe 1983) که به شرح زیر است نوع گونه‌های منطقه تعیین شد:

- ۱- Avoiders گونه‌هایی هستند بدون سازگاری با آتش‌سوزی و مقاوم به سایه.
- ۲- Endurers گونه‌هایی هستند که معمولاً در آتش‌سوزی از بالا خشک می‌شوند.
- ۳- Evaders گونه‌هایی هستند که در آتش‌سوزی از بین می‌روند، اما دارای تیمار ذخیره بذری بوده و می‌توانند در رویشگاه باقی بمانند.
- ۴- Invaders گونه‌هایی تندرشد هستند که در اواسط توالی حضور پیدا کرده‌اند.

۵- Resisters گونه‌هایی هستند که از آتش‌سوزی نجات یافته و دست‌نخورده باقی مانده‌اند.

با توجه به نتایج جدول ۱ میانگین ضخامت پوست گونه راش به صورت معنی‌داری بیشتر از ممرز است.

نتایج

نتایج تعیین آسیب‌پذیری دو گونه راش و ممرز در طبقه‌های قطری یکسان در برابر آتش‌سوزی در جدول‌های ۱ تا ۳ و شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۲ زمان شروع به سوختن پوست راش و ممرز در طبقه‌های قطری یکسان در دمای آتش‌سوزی در محیط جنگل (۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) در سطح خطای پنج درصد تفاوت معنی‌داری دارند، ولی این تفاوت در سطح خطای یک درصد معنی‌دار نیست.

جدول ۱- مقایسه میانگین ضخامت پوست دو گونه راش و ممرز با استفاده از آزمون تی جفتی

Table 1. Comparison of mean bark thickness between beech and hornbeam species using a paired t-test

گونه	میانگین (سانتی‌متر)	تعداد	انحراف معیار	میانگین خطای استاندارد	معنی‌داری
Species	Mean (cm)	Number	Standard Deviation	Mean standard error	Sig.
ممرز <i>Carpinus betulus</i>	0.65	24	0.33	0.068	0.000**
راش <i>Fagus orientalis</i>	0.84	24	0.39	0.080	

** : Significant at the 1% error level.

** : معنی‌دار در سطح خطای یک درصد.

جدول ۲- مقایسه زمان سوختن پوست دو گونه راش و ممرز در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در طبقه‌های قطری یکسان با استفاده از آزمون تی جفتی

Table 2. Comparison of bark burning time between beech and hornbeam species at 400°C in equal diameter classes using a paired t-test

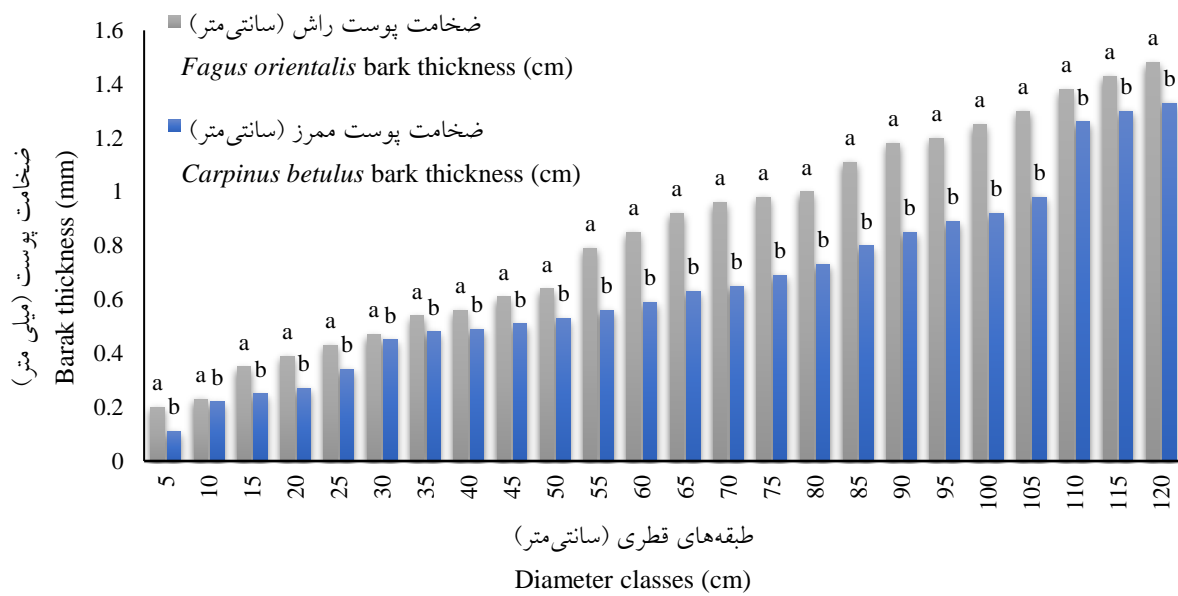
گونه	میانگین (سانتی‌متر)	تعداد	انحراف معیار	میانگین خطای استاندارد	معنی‌داری
Species	Mean (cm)	Number	Standard Deviation	Mean Standard Error	Sig.
ممرز <i>Carpinus betulus</i>	82.87	24	35.72	7.29	0.01*
راش <i>Fagus orientalis</i>	78.20	24	41.40	8.45	

*: Significant at the 5% error level.

*: معنی‌دار در سطح خطای ۵ درصد.

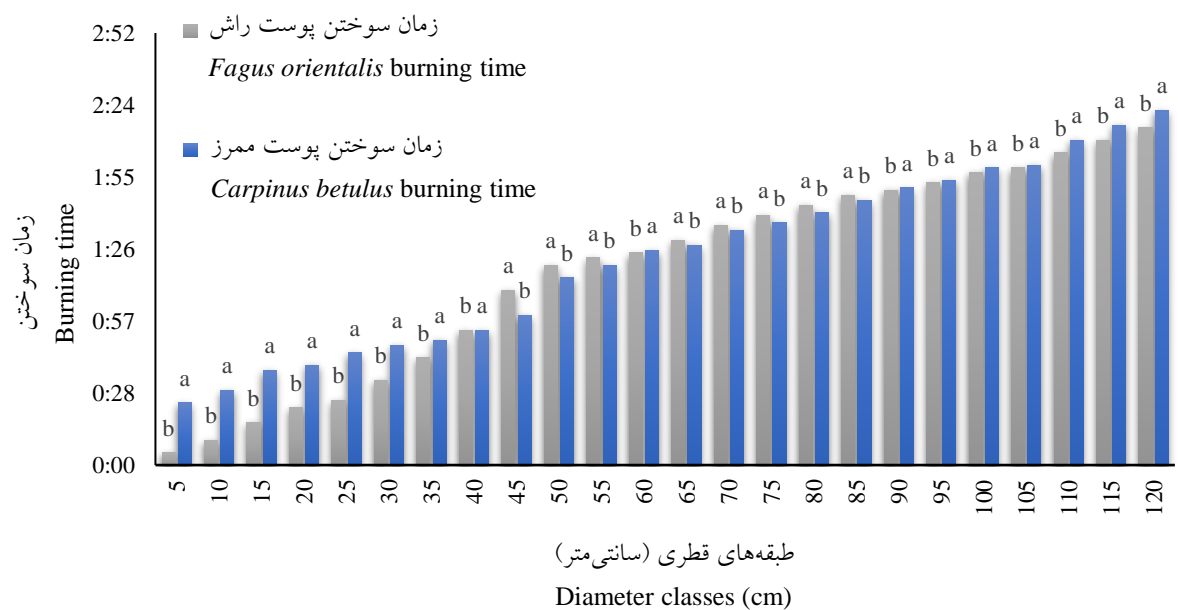
با اینکه ممرز ضخامت پوست کمتری نسبت به راش دارد، اما زمان سوختن پوست آن در طبقه‌های قطری کم‌قطر و قطور از گونه راش بیشتر است (شکل ۳).

در شکل ۲، تفاوت ضخامت پوست بین دو گونه کاملاً مشخص است، به طوری که گونه ممرز در طبقه‌های قطری یکسان ضخامت پوست کمتری نسبت به راش دارد.



شکل ۲- نمودار مقایسه ضخامت پوست دو گونه راش و ممرز در طبقه‌های قطری یکسان

Figure 2. Comparison chart of bark thickness between beech and hornbeam species in equal diameter classes

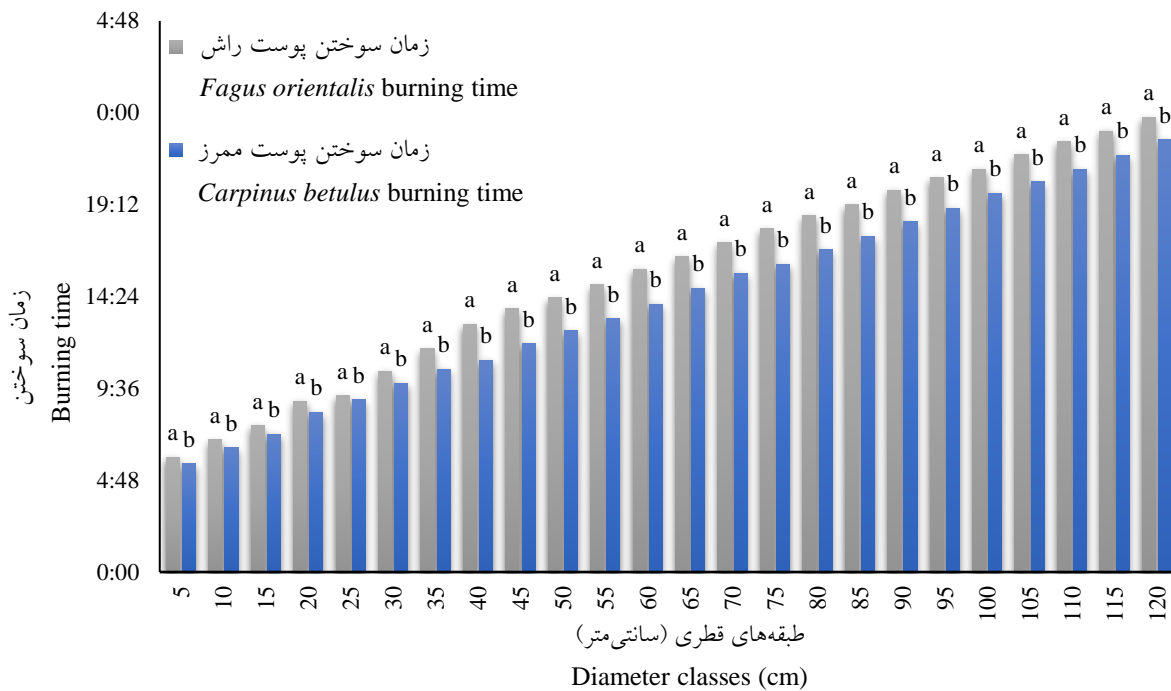


شکل ۳- نمودار مقایسه زمان سوختن در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد دو گونه راش و ممرز در طبقه‌های قطری یکسان

Figure 3. Comparison chart of burning time at 400°C between beech and hornbeam species in equal diameter classes

پوست گونه راش با وجود ضخامت بیشتر در مدت زمان کمتری از بین رفته است.

با توجه به شکل ۴ زمان مرگ لایه کامبیوم گونه ممرز نسبت به گونه راش طولانی‌تر بوده و کامبیوم



شکل ۴- نمودار مقایسه زمان سوختن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد دو گونه ممرز و راش در طبقه‌های قطری یکسان

Figure 4. Comparison chart of burning time at 60°C between hornbeam and beech species in equal diameter classes

یکسان تفاوت معنی‌داری در سطح خطای یک درصد وجود دارد.

با توجه به جدول ۳، زمان مرگ کامبیوم پوست ممرز در مقایسه با راش طولانی‌تر بوده و بین زمان سوختن کامبیوم پوست این دو گونه در طبقه‌های قطری

جدول ۳- مقایسه میانگین زمان مرگ کامبیوم دو گونه راش و ممرز در طبقه‌های قطری یکسان با آزمون تی جفتی

Table 3. Comparison of mean cambium death time between beech and hornbeam species in equal diameter classes using a paired t-test

معنی‌داری Sig.	میانگین خطای استاندارد Mean Standard Error	انحراف معیار Standard Deviation	تعداد Number	میانگین (ثانیه) Mean (s)	گونه Species
0.000**	66.71	326.81	24	936.87	ممرز <i>Carpinus betulus</i>
	62.55	306.46	24	859.29	راش <i>Fagus orientalis</i>

** : Significant at the 1% error level.

** : معنی‌دار در سطح خطای یک درصد.

را نشان می‌دهد. با توجه به مدل‌های آماری و مبتنی بر فرآیند آتش‌سوزی در کشور و با تخمین‌های منتشرشده قبلی، عدم قطعیت زیادی در مورد مکان و تعداد آتش‌سوزی‌ها در آینده وجود خواهد داشت. احتمال

بحث

تعاملات پرهزینه بین انسان‌ها و آتش‌سوزی‌های جنگل در سراسر کشور، نیاز به درک روابط بین آنها به‌ویژه در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی و گسترش جوامع انسانی

حدود ۴۰۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد است، در آزمایشگاه برای سوزاندن پوست دو گونه راش و ممرز از دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. نتایج نشان داد که در طبقه‌های کم‌قطر و قطور زنده‌مانی گونه ممرز از راش بیشتر بود (شکل ۳). با وجود این که ضخامت پوست گونه راش در تمامی کلاسه‌های قطری بیشتر از گونه ممرز بود (شکل ۲)، ولی با این حال پوست راش در مدت زمان کمتری از بین رفت. یکی از دلایل آن می‌تواند مقاومت گونه‌ها در برابر آتش‌سوزی و ساختار فیزیکی و شیمیایی پوست گونه‌های مختلف باشد که براساس تقسیم‌بندی گونه‌ها، گونه‌های نورپسند از مقاومت بیشتری در برابر آتش‌سوزی برخوردار هستند. در طبقه‌های قطری یکسان، زمان سوختن پوست دو گونه راش و ممرز دارای تفاوت معنی‌داری بود (جدول ۲). نتایج Bauer et al. (2010) برای هفت گونه درختی و همچنین نتیجه بررسی‌های Peterson (1985) و Hengst et al. (1993) نشان داد که با کاهش تراکم پوست، مقاومت در برابر آتش افزایش می‌یابد. همچنین Javanmiri pour et al. (2011) در پژوهش خود دریافتند که تأثیر آتش‌سوزی بر گونه‌های مختلف درختان یکسان نیست. ایشان آسیب‌های آتش‌سوزی در طبقه‌های قطری کم را به مراتب بیشتر از قطرهای زیاد دانستند. Amin Amlashi et al. (2016) نیز در پژوهش خود نشان دادند که گونه راش در میان تمامی گونه‌های موردبررسی با توجه به مقدار زادآوری بیشتر نسبت به پلت، از حساس‌ترین گونه‌ها به آتش است. خسارت زیاد درختان راش به همراه دوره بذردهی طولانی‌مدت و سرشت سایه‌پسندی آن در روشنه‌های بازی که در نتیجه آتش‌سوزی شکل گرفته بود سبب شد تا بستر مناسبی برای زادآوری و رقابت این گونه با گونه‌های دیگر که اغلب نورپسند یا نیمه‌سایه‌پسند بودند فراهم

زنده ماندن درخت هنگامی که در معرض آتش‌سوزی سطحی قرار می‌گیرد بسته به توانایی آن در محافظت از کامبیوم در برابر دمای بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد بسیار متفاوت است. بنابراین پوست و تمام بافت‌های خارج از کامبیوم، به‌عنوان عایق عمل می‌کند. نتایج پژوهش پیش رو نشان داد که براساس طبقه‌بندی (Rowe 1983)، ویژگی‌های گونه راش به گروه یک مربوط می‌شود و گونه ممرز ویژگی‌های گروه سه را دارد.

Amin Amlashi et al. (2016) در بخشی از پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که یکی از اختلاف‌های مهم زادآوری جنسی پس از آتش‌سوزی مربوط به پنهان شدن و در امان ماندن بذرها از شعله‌های مستقیم آتش است. بدین معنی که بذرها کوچک ممرز و آزاد در مقایسه با بذرها درشت بلندمازو، پلت، انجیلی و راش راحت‌تر می‌توانند در شکاف‌های زمین جای بگیرند و از آتش‌سوزی در امان بمانند. همچنین Nemati et al. (2018) در پژوهشی که در منطقه شاندرمن گیلان انجام دادند، دریافتند که پس از آتش‌سوزی فراوانی گونه‌های درختچه‌ای به‌صورت معنی‌داری کاهش یافته است. در واقع گونه‌های درختچه‌ای پس از آتش‌سوزی با وجود کاهش تعداد درختان و ایجاد فضا نتوانستند حضور موفقی داشته و خود را بازسازی کنند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۱) با افزایش قطر، ضخامت پوست افزایش می‌یابد. بررسی Hengst et al. (1993) بر روی ۱۶ گونه درختی نیز نشان داد که با افزایش قطر بر مقدار ضخامت پوست افزوده می‌شود. با توجه به نتایج جدول ۱ میانگین ضخامت پوست گونه راش به‌صورت معنی‌داری بیشتر از گونه ممرز است؛ به‌عبارت دیگر در طبقه‌های قطری یکسان ضخامت پوست با توجه به نوع گونه متفاوت است.

با توجه به دمای آتش‌سوزی در محیط جنگل که

با توجه به جدول ۳ زمان شروع مرگ کامبیوم دو گونه راش و ممرز در طبقه‌های قطری یکسان دارای تفاوت معنی‌داری است. براساس شکل ۴ که مقایسه زمان مرگ کامبیوم دو گونه است، مقاومت گونه ممرز بیشتر بوده و در مدت زمان طولانی‌تری رنگ کامبیوم آن تغییر کرده است. پوست یک صفت حفاظتی مهم برای گونه‌های گیاهی چوبی است و ضخامت پوست تنها یکی از مجموعه صفات محافظتی است. دیگر صفات محافظتی پوست در برابر دما عبارتند از: رطوبت، زبری سطح و نفوذ حرارتی (Madrigel et al., 2023). براساس نتایجی که در این پژوهش به دست آمد، زمان مرگ کامبیوم در هرگونه بسته به ضخامت پوست و نوع مقاومت آن گونه متغیر است. در این پژوهش برای محاسبه زمان مرگ کامبیوم در دمای آتش‌سوزی جنگل (۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) از رابطه (۲) استفاده شد. در این رابطه کامبیوم گونه راش که از ضخامت پوست بیشتری برخوردار است، در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به گونه ممرز از بین رفت. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که در این رابطه هرگونه‌ای که از ضخامت پوست بیشتری برخوردار باشد، زمان مرگ کامبیوم طولانی‌تری دارد. با توجه به نتایج به دست آمده این رابطه به صورت خطی است، ولی تمامی عوامل تأثیرگذار (خواص فیزیکی و شیمیایی چوب) بر مقاومت درخت را در نظر نمی‌گیرد و به همین دلیل قابلیت استفاده برای ارزیابی دقیق و بررسی مرگ و میر درختان را ندارد. نتایج حاصل از آزمون‌های آماری در جدول ۳ نشان داد که بین زمان مرگ کامبیوم دو گونه راش و ممرز تفاوت معنی‌داری وجود دارد. با توجه به نتیجه به دست آمده در این بررسی و نتایج Seifert et al. (2017) بر روی کاج رادیاتا (*P. radiata*) که تنها ساقه درختان زغالی شده مورد بررسی قرار گرفته بود، مشخص است که گرمای ناشی از آتش‌سوزی جنگل‌ها

نشده و حضور آن در آینده جنگل کم‌رنگ شود. Hengst et al. (1993) در ادامه پژوهش‌هایشان دریافتند که تفاوت در خواص فیزیکی و شیمیایی پوست درختان است که توانایی محافظت از کامبیوم در دماهای زیاد را تعیین می‌کند. در پژوهشی که Nicoli et al. (2023) بر روی گونه کاج (*Pinus pinaster*) انجام دادند دریافتند که شرایط اقلیمی به‌ویژه دوره‌های خشکسالی می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی درختان تأثیرگذار بود و سبب کاهش کیفیت چوب شود که در نهایت در زمان آتش‌سوزی مقاومت درخت کاهش پیدا کرده و پس از آتش‌سوزی نیز توانایی بازسازی دوباره خود را از دست می‌دهد. همچنین Esmaili sharifi et al. (2018) در پژوهشی که در منطقه نکاء انجام دادند دریافتند که پستی و بلندی‌های زمین با اثرگذاری مستقیم بر مقدار رطوبت و وزش باد شدت آتش‌سوزی‌ها را تغییر می‌دهند.

کامبیوم در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌رود. Peterson (1985) دریافتند که در آتش‌سوزی‌های وسیع آسیب‌هایی به کامبیوم درخت که در زیر پوست قرار دارد وارد می‌شود که سبب اثرهای جبران‌ناپذیری در درختان خواهد شد؛ مانند اختلال در عملکرد فتوسنتز و انتقال کربن از طریق آوندهای آبکش که ناشی از آسیب به سلول‌های کامبیومی است که در نهایت سبب مرگ درخت می‌شود. Partelli-Feltrin et al. (2020) در پژوهشی که بر روی کامبیوم چندین گونه از سوزنی‌برگان انجام دادند، درختانی را که در آتش‌سوزی دچار سوختگی و خشکیدگی شدند را از طریق آزمایش خراش مورد بررسی مجدد قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که در این گونه‌ها کامبیوم از بین رفته قهوه‌ای رنگ است، ولی رنگ کامبیوم گونه‌هایی که خارج از محیط آتش‌سوزی بررسی شده‌اند همچنان سبز است.

اصلی شامل نوع گونه، مقاومت گونه در برابر آتش-سوزی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پوست و ضخامت پوست است که برای درک ضخامت پوست لازم است اجزای مختلف رژیم آتش‌سوزی همراه با برخی از صفات گیاهی را در نظر گرفت. از این رو، زمانی که آتش‌سوزی در منطقه‌ای اتفاق می‌افتد می‌توان برای نجات جنگل و جلوگیری از تخریب بیشتر ابتدا توده‌های جوان و آسیب‌پذیرتر را مورد حمایت قرار داد.

می‌تواند به فراتر از لایه پوست نفوذ کرده و به کامبیوم درخت نیز آسیب برساند و یا کاملاً آن را نابود کند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در مواقعی که هدف مقایسه زمان سوختن و مرگ کامبیوم در داخل یک گونه باشد، عامل تأثیرگذار ضخامت پوست است، ولی زمانی که هدف مقایسه بین دو گونه متفاوت باشد، عوامل

References

- Anonymous, Booklet of Forestry Plan, Series 10 Lalis, Watershed No. 45, Golband (third revision), General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Mazandaran Province. Nowshahr, **2006**.
- Amin Amlashi, M.; Jafari, M.; Ghodskhah, M.; Salehi, M.; Alidost, M., A preliminary study of fire-resistant trees in Guilan province (case study of Nokhalbar forest, 18th district of Nashehrud). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2016**, 24 (3), 463-473. (In Persian)
- Esmaili sharifi, M.; Jalilvand, H.; Amozadeh, M.; Ashraf jafari, A.; Moslemi seyed mahaleh, S.M., The effect of ecological factors on fires in Hyrcanian forests. *Forest Research and Development* **2018**, 4 (1), 113-129. (In Persian)
- Bauer, G.; Speck, T.; Blömer, J.; Bertling, J.; Speck, O., Insulation capability of the bark of trees with different fire adaptation. *Journal of Materials Science* **2010**, 45, 5950-5959.
- Barker, J.S.; Gray, A.N.; Fried, J.S. The effects of crown scorch on post-fire delayed mortality are modified by drought exposure in California (USA). *Journal of Fire* **2022**, 5 (1), 21, 1-17.
- Bär, A.; Michaeltz, S.T.; Mayr, S. Fire effects on tree physiology. *New Phytologist* **2019**, 223, 1728-1741.
- Cansler, C.A.; Hood, S.M.; Varner, J.M.; van Mantgem, P.J.; Agne, M.C.; Andrus, R.A.; Ayres, M.P.; Ayres, B.D.; Bakker, J.D.; Battaglia, M., The Fire and Tree Mortality Database, for empirical modeling of individual tree mortality after fire. *Journal of Scientific Data* **2020**, 7, 194, 1-14.
- Espinosa, J.; Rodríguez de Rivera, O.; Madrigal, J.; Guijarro, M.; Hernando, C., Predicting potential cambium damage and fire resistance in *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*. *Forest Ecology and Management* **2020**, 474 (21), 118372.
- Hengst, G.E.; Dawson, J.O., Bark thermal properties of selected central hardwood species. In: Gillespie, Andrew R.; Parker, George R.; Pope, Phillip E.; Rink, George: eds. Proceedings of the 9th Central Hardwood Forest Conference; Gen. Tech. Rep. NC-161. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station: **1993**; pp 55-75.
- Javanmiri pour, M.; Etemad, V.; Soofi Marive, H.; Mahmoudi, E.M., The effects of fire on the quality and quantity of forest trees (A case study: Oak forest of Islamabad Gharb region). Proceedings of the First International Conference on Fire in the Natural Resources. Gorgan, **2011**.
- Kabaoğlu, A.; Kulaç, Ş.; Baysal, İ.; Özbayram, A.; Akbulut, S.; Öztürk, N., Some physiological and biochemical changes in oak trees after fire. *CERNE* **2023**, 29.
- Lawes, M. J.; Adie, H.; Russell-Smith, J.; Murphy, B.; Midgley, J. J., How do small savanna trees avoid stem mortality by fire? The roles of stem diameter, height and bark thickness. *Ecosphere* **2011**, 2 (4), 1-13.
- Madrigal, J.; Hernando, C.; Guijarro, M.; Diez, C.; Marino, E.; De Castro, A., Evaluation of forest fuel flammability and combustion properties with an adapted mass loss calorimeter device. *Journal of Fire Sciences* **2009**, 27 (4), 323-342.
- Nemati, B; Ghodskhah, M.; Adel, M.N., The effect of fire on the structure and natural regeneration of the forest in Shanderman forests, Guilan province. *Journal of Forest*

- Research and Development* **2018**, 5(2), 181-194. (In Persian)
- Niccoli, F.; Pacheco Solana, A.; De Micco, V.; Battipaglia, G., Fire affects wood formation dynamics and ecophysiology of *Pinus pinaster* Aiton growing in a dry area. *Dendrochronologi* **2023**, 77(80):126044.
- Parnian, M.; Asadi-Oskui, E.; Rahnam, M., Investigating fire monitoring and forecasting methods in the vegetation areas of Iran and the world. *Journal of Climatology Research* **2021**, 47, 103-122.
- Partelli-Feltrin, R.; Johnson, D.M.; Sparks, A.M.; Adams, H.D.; Kolden, C.A.; Nelson, A.S.; Smith, A.M.S., Drought increases vulnerability of *Pinus ponderosa* saplings to fire-induced mortality. *Journal of Fire* **2020**, 3 (4), 56, 1-14.
- Pausas, J.G., Bark thickness and fire regime: another twist. *New Phytologist* **2017**, 213, 13-15.
- Pellegrini, A.F.; Andereg, W.R.; Paine, C. T.; Hoffmann, W.A.; Kartzinel, T.; Rabin, S.S.; Sheil, D.; Franco, A.C.; Pacala, S.W., Convergence of bark investment according to fire and climate structures ecosystem vulnerability to future change. *Ecology letters* **2017**, 20 (3), 307-316.
- Peterson, D.L., Crown scorch volume and scorch height: estimates of postfire tree condition. *Canadian Journal of Forest Research* **1985**, 15 (3), 596-598.
- Plaza-Álvarez, P.A.; Lucas-Borja, M.E.; Sagra, J.; Moya, D.; Fontúrbel, T.; De las Heras, J., Soil respiration changes after prescribed fires in Spanish black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) monospecific and mixed forest stands. *Forests* **2017**, 8 (7), 248, 1-11.
- Polat, S.; Ghasemi Aghbash, F.; Mahdavi, A., Fire risk zoning in the forests of Ilam district. *Journal of Forest Research and Development* **2019**, 6 (1), 135-152. (In Persian)
- Rosell, J.A.; Olson, M. E., The evolution of bark mechanics and storage across habitats in a clade of tropical trees. *American Journal of Botany* **2014**, 101 (5), 764-777.
- Rowe, J.S., Concepts of fire effects on plant individuals and species: 135-154. In: DeBano, R.W. and MacLean, D.A. (Eds.). *The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems* (Scope 18). John Wiley and Sons, New York: 1983; p 322p.
- Rozas, V.; Gonzalo, P.D.L.; Ignacio, G.G.; Jose, R.A., Contrasting effects of wildfire and climate on radial growth of *Pinus canariensis* on windward and leeward slopes on Tenerife, Canary Islands. *Trees* **2011**, 25, 895-905.
- Ryan, K.C, In Evaluating potential tree mortality from prescribed burning, In Baumgartner, D.M., Site preparation and fuels management on steep terrain: Proceedings of a symposium. Spokane, WA. Washington State University, Cooperative Extension, Pullman, WA., **1982**; pp 167-179.
- Ryan, K.C.; Peterson, D.L.; Reinhardt, E.D., Modeling long-term fire-caused mortality of Douglas-fir. *Forest science* **1988**, 34 (1), 190-199.
- Saunders, M.R.; Mann, D.P.; Stanis, S.; Wiedenbeck, J.K.; Dey, D.C.; Schuler, T.M., Prescribed Fire Causes Wounding and Minor Tree Quality Degradation in Oak Forests. *Forests* **2023**, 14, 227, 1-17.
- Seifert, T.; Meincken, M.; Odhiambo, B.O., The effect of surface fire on tree ring growth of *Pinus radiata* trees. *Annals of forest science* **2017**, 74, 1-11.