

Investigation of the Potential Relationship between Leaf Burn Caused by Thermal Stress and Decreased Groundwater Levels with Dieback and Mortality of *Parrotia persica* Trees in Daland Forest Park

Mohammad Hassan Naseri¹, Shaban Shataee Jouibary^{*2}, Hashem Habashi³

1. Ph.D. Graduate of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mh.naseri@gau.ac.ir
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: shataee@gau.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: habashi@gau.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Full Length Research Paper</p> <p>Article history: Received: 12.24.2024 Revised: 03.08.2025 Accepted: 03.15.2025</p> <p>Keywords: Canopy Dieback, Climate, Daland forest park, Mortality, Stress</p>	<p>Background and Objectives: Recently, global warming, drought stress, and leaf burn in trees have caused dieback and mortality. Understanding this phenomenon and its contributing factors can aid in forest regeneration and sustainable forest management. This study investigates the relationship between leaf burn in <i>Parrotia persica</i> (Persian ironwood) and climatic factors, groundwater level decline, and the effect of leaf burn on the extent of canopy dieback in these trees in Daland Forest Park, Golestan Province.</p> <p>Materials and Methods: At the end of summer 2021, 69 <i>Parrotia persica</i> trees with leaf burn were selected, and their dieback extent was recorded. The dieback was recorded again at the end of summer 2023. To examine the effect of leaf burn on the canopy dieback over two years, a one-way ANOVA test was used. The dieback extent for each tree over the two years was extracted, and its significant relationship with leaf burn in 2021 was analyzed. Additionally, using climatic data from the nearest synoptic station to the study area and groundwater level statistics, trends in the mentioned factors during the period of leaf burn were investigated.</p> <p>Results: The statistical analysis showed that leaf burn in <i>Parrotia persica</i> had a significant relationship with the extent of dieback over two years at a 99% confidence level, with 17.46% of the examined trees dying over the two years. The highest rate of dieback was observed in trees with more than 80% leaf burn. Climatic and groundwater level trends indicated that during periods of stress, the average daily temperature and maximum daily temperature showed an increasing trend, while total summer precipitation and groundwater levels showed a decreasing trend.</p> <p>Conclusion: Overall, the results of this study indicated that <i>Parrotia persica</i> trees are stressed due to climatic factors and their access to groundwater. These stresses can lead to reduced growth and productivity, and if the stress factors persist, the trees will eventually die. Therefore, it is essential to prioritize water resource management and improve tree access to groundwater during dry periods. Additionally, further</p>

research is recommended to investigate effective management strategies that enhance the resilience of these trees and mitigate the negative impacts of climate change.

Cite this article: Naseri, Mohammad Hassan, Shataee Jouibary, Shaban, Habashi, Hashem. 2025. Investigation of the Potential Relationship between Leaf Burn Caused by Thermal Stress and Decreased Groundwater Levels with Dieback and Mortality of *Parrotia persica* Trees in Daland Forest Park. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31 (4), 99-116.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2025.23107.2087

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی ارتباط احتمالی سوختگی برگ ناشی از تنش گرمایی و کاهش سطح تراز آب‌های زیرزمینی با سرخشیدگی و مرگ‌ومیر درختان انجیلی (*Parrotia persica*) پارک جنگلی دلد

محمدحسن ناصری^۱، شعبان شتایی جویباری^{۲*}، هاشم حبشی^۳

۱. دانش‌آموخته دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mh.naseri@gau.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: shataee@gau.ac.ir
۳. دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: habashi@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: اخیراً گرمایش جهانی، بروز تنش خشکی و سوختگی برگ درختان سبب سرخشیدگی و مرگ‌ومیر درختان شده است. شناخت این پدیده و عوامل مؤثر بر آن، به تجدیدحیات و مدیریت جنگل پایدار کمک خواهد کرد. بنابراین در این پژوهش، ارتباط احتمالی سوختگی برگ درختان انجیلی (<i>Parrotia persica</i>) با عوامل اقلیمی و کاهش سطح تراز آب‌های زیرزمینی و اثر سوختگی برگ بر مقدار سرخشیدگی تاج این درختان در پارک جنگلی دلد استان گلستان مطالعه شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴	مواد و روش‌ها: در انتهای تابستان ۱۴۰۰، ۶۹ اصله درخت انجیلی دارای سوختگی برگ انتخاب و مقدار سرخشیدگی آن‌ها ثبت و دوباره در انتهای تابستان ۱۴۰۲، مقدار سرخشیدگی همان درختان ثبت شد. به منظور بررسی اثر سوختگی برگ تاج درختان انجیلی بر مقدار سرخشیدگی آن‌ها طی دو سال، از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. برای این منظور سرخشیدگی ایجادشده طی دو سال برای هر درخت استخراج و ارتباط معنی‌داری آن با سوختگی برگ تاج ایجادشده در سال ۱۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین، با استفاده از اطلاعات اقلیمی مربوط به نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به منطقه مورد مطالعه و آمار وضعیت سطح تراز آب‌های زیرزمینی، به بررسی روند تغییرات عوامل ذکرشده در دوره زمانی مربوط به سوختگی برگ تاج درختان انجیلی پرداخته شد.
واژه‌های کلیدی: اقلیم، پارک جنگلی دلد، تنش، سرخشیدگی، مرگ‌ومیر	یافته‌ها: نتایج بررسی آماری نشان داد که سوختگی برگ درختان انجیلی، در سطح اطمینان ۹۹ درصد، ارتباط معنی‌داری با مقدار سرخشیدگی آن درختان طی دو سال داشته است؛ به طوری که ۱۷/۴۶ درصد از درختان مورد بررسی طی دو سال خشک شده‌اند. هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار

خشکیدگی درختان مربوط به درختانی با سوختگی برگ بیش از ۸۰ درصد بود. روند تغییرات اقلیمی و سطح تراز آب‌های زیرزمینی نشان داد، در زمان‌هایی که درختان انجیلی دچار تنش شده‌اند، متوسط دمای روزانه و متوسط حداکثر دمای روزانه روندی غالباً صعودی و مجموع بارش تابستانه و سطح تراز آب‌های زیرزمینی روندی نزولی داشتند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که درختان انجیلی، تحت تأثیر عوامل اقلیمی و هم‌چنین سطح دسترسی آن‌ها به آب‌های زیرزمینی، دچار تنش شده‌اند. این تنش‌ها می‌توانند به کاهش رشد و باردهی درختان منجر شوند و در صورت تمدید عوامل تنش‌زا، این درختان خشک خواهند شد. بنابراین ضروری است که مدیریت منابع آب و بهبود دسترسی درختان به آب‌های زیرزمینی در دوره‌های خشک مورد توجه قرار گیرد. هم‌چنین، پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های بیش‌تری برای بررسی روش‌های مدیریتی مؤثر در تقویت تاب‌آوری این درختان و کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی انجام گردد.

استناد: ناصری، محمدحسن، شتابی جویباری، شعبان، حبشی، هاشم (۱۴۰۳). بررسی ارتباط احتمالی سوختگی برگ ناشی از تنش گرمایی و کاهش سطح تراز آب‌های زیرزمینی با سرخشکیدگی و مرگ‌ومیر درختان انجیلی (*Parrotia persica*) پارک جنگلی دلند. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۱ (۴)، ۹۹-۱۱۶.

DOI: 10.22069/JWFST.2025.23107.2087



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

مرگ‌ومیر درختان یک فرآیند بوم‌شناختی مهم است که نقش کاربردی در تعیین ساختار، ترکیب و بهره‌وری بوم‌سازگان‌های جنگلی دارد (۱). این فرآیند می‌تواند ناشی از عوامل متعدد تنش‌زای زنده و غیرزنده باشد (۲) که سبب گسترش این پدیده در اکثر بایوم‌های جنگلی دنیا گردیده است (۳). یکی از عوامل تأثیرگذار بر مرگ‌ومیر درختان، شرایط نامساعد آب‌وهوایی است (۴). از میان عوامل اقلیمی، افزایش دما به‌عنوان تهدیدی سه‌گانه بر بقای درختان تأثیر می‌گذارد؛ زیرا این عامل افزایش خشکی جو، تشدید خشکی خاک و تأثیرات مستقیم تنش حرارتی (به‌عنوان عامل اصلی آسیب‌رسان به درختان) می‌شود (۵). به‌طورکلی، نوسانات دما و بارش قادر است تا به‌شدت بر سلامت درختان تأثیر بگذارند. کاهش بارندگی و افزایش دما، با ایجاد شرایط خشک و نامساعد برای رشد درختان، می‌تواند منجر به ضعف فیزیولوژیک و مرگ آن‌ها شود (۶). یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیرگذار بر خشکیدگی و مرگ‌ومیر درختان جنگل، وضعیت آب‌های زیرزمینی است. گلانوئل و همکاران (۲۰۲۳) بیان داشتند که آب‌های زیرزمینی بر توزیع پوشش گیاهی، تنوع و ساختار آن‌ها اثر می‌گذارد (۷). به‌طورکلی در دسترس بودن آب‌های زیرزمینی مبنای عملکرد بوم‌سازگان سالم و هم‌چنین فرآیندهای ضروری در حفظ شرایط بوم‌شناختی و ادامه ارائه خدمات ارزشمند زیست‌بوم محسوب می‌شود (۸، ۹)؛ بنابراین در دسترس نبودن آب‌های زیرزمینی می‌تواند منجر به مرگ‌ومیر درختان و هم‌چنین تغییر در پراکنش و زادآوری گونه‌های گیاهی گردد (۱۰). بنابراین کسب اطلاعات و بررسی‌های مرتبط با مرگ‌ومیر درختان و عوامل تنش‌زای اثرگذار بر آن‌ها، از اهمیت بالایی در راستای حفظ این منابع با ارزش برخوردار است.

پژوهش‌هایی در رابطه با تأثیر عوامل مختلف اقلیمی و آب در دسترس بر مقدار خشکیدگی درختان در دنیا انجام شده است. در این راستا، نساجی زواره و همکاران (۲۰۱۶) با تلفیق داده‌های اقلیمی و سنجش‌ازدور، به پایش وضعیت خشکیدگی درختان بلوط ایرانی (*Quercus persica*) در ایلام پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تغییرات ریشی درختان طی دوران خشک‌سالی دستخوش تغییرات زیادی شده و پارامترهای اقلیمی بارش با مقدار سبزیگی درختان دارای روابط مستقیم است. هم‌چنین بیان داشتند که تراکم درختان منطقه مورد مطالعه آن‌ها در این دوره با کاهش چشمگیری روبه‌رو بوده است که گویای مرگ‌ومیر درختان است (۱۱). ملاخلیلی و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی رابطه میان فاصله از منابع آب با خشکیدگی و آفت‌زدگی درختان بادامک (*Amygdalus scoparia* Spach.) در منطقه حفاظت‌شده باغ شادی یزد بیان نمودند که میان خشکیدگی درختان و فاصله از منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه آن‌ها رابطه معنی‌دار برقرار است؛ به‌طوری‌که با فاصله از منابع آبی، فراوانی درختان سرخشکیده نرخ افزایشی داشته است (۱۲). افروزیان و صلاحی (۲۰۱۰) نیز به بررسی برخی از عوامل مؤثر بر خشکیدگی درختان کهور ایرانی (*Prosopis cineraria* (L.) Druce.) و چش جنوب (*Acacia nilotica* (L.) Delile.) در جنوب بلوچستان پرداختند و بیان داشتند که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر خشکیدگی درختان مورد پژوهش آن‌ها، مقدار بارش است (۱۳). درگاهیان و همکاران (۲۰۲۲) سیکل طولانی کم‌بارشی نسبت به بارش بلندمدت در کنار سایر عوامل مؤثر بر زوال درختان بلوط جنگل‌های زاگرس (*Quercus brantii*) را به‌عنوان کلیدی‌ترین عامل بر مرگ‌ومیر درختان دانستند (۱۴). مک داوول و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی مقاومت جنگل‌های

مرگ‌ومیر و آسیب‌پذیری این گونه در تابستان‌های گرم‌تر افزایش می‌یابد (۴). با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، عوامل محیطی و اقلیمی تأثیرات قابل توجهی بر مرگ‌ومیر و سرخشکیدگی درختان در جنگل‌های مختلف داشته و نیاز است تا با برنامه‌ریزی‌های کاربردی، اثرات این عوامل را تا حد امکان کاهش داد.

معمولاً درختان بسته به نوع تنش، علائمی را از خود نشان می‌دهند (۱۸) که سوختگی برگ تاج و خزان زودرس برگ‌های درختان یکی از این علائم است (۱۹). به‌طور کلی، افزایش تنش می‌تواند منجر به تجزیه رنگ‌دانه‌ها، جداسازی دستگاه فتوسنتزی و فروپاشی دیواره سلولی گردد و در نهایت باعث سوختگی برگ‌ها شود (۲۰). پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه بررسی تأثیر این واکنش‌ها در برابر تنش‌های موجود و تأثیر آن بر مقدار خشکیدگی درختان به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده مرگ‌ومیر درختان انجام نشده است. تنها در پژوهشی، کابالول و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تأثیر بلایت سرشاخه دیپلودیا^۱ ناشی از قارچ *Diplodia sapinea* بر خشکیدگی سرشاخه‌های تاج درختان و مرگ‌ومیر چهار گونه از درختان کاج (*Pinus sylvestris*، *P. nigra*، *P. pinea* و *P. halepensis*) در جنگل‌های Pyrenees واقع در شمال شرقی اسپانیا طی دو سال پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که آسیب‌های وارده به تاج درختان یکی از بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های مرگ‌ومیر است (۲۱). با این حال، بررسی این که آیا این علائم بیانگر مرگ‌ومیر و یا سرخشکیدگی درختان در آینده خواهد شد، هنوز برای پژوهش‌گران عرصه‌های جنگلی سؤال‌برانگیز است؛ بنابراین آگاهی از علل ایجاد تنش‌ها و نشانه‌هایی که منجر به مرگ‌ومیر درختان

سوزنی‌برگ (*Pinus edulis-Juniperus*) در برابر خشک‌سالی، پژوهشی را در منطقه New Mexico و در شرایط آزمایشی انجام دادند و بیان داشتند که وجود پناهگاه‌های آبی یا هیدرولیک سبب افزایش مقاومت درختان در برابر خشک‌سالی می‌شود (۱۵). کانینگهام و همکاران (۲۰۱۱)، کاهش تراکم جنگل‌ها را نتیجه کاهش سطح آب‌های زیرزمینی دانستند و بیان داشتند که تغییرات موجود در وضعیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم زیست‌محیطی محسوب شود (۱۶). پیلاس و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات آب‌های زیرزمینی را به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل در کاهش بهره‌وری جنگل‌های بلوط کرواسی (*Quercus robur L.*) دانستند و بیان داشتند که پایش آب‌های زیرزمینی می‌تواند برای شناسایی و کاهش اثرات خشک‌سالی فصلی به‌منظور بهبود عملکرد مدیریتی جنگل مورد استفاده قرار گیرد (۱۷). هاسه و هلویگ (۲۰۲۲) اثرات تنش گرما و خشکی بر وضعیت سلامت شش گونه درختی پهن‌برگ شامل افرا (*A. platanoides*، *Acer campestre* و *A. negundo*، *A. pseudoplatanus*، *Fraxinus*، *A. monspessulanum*)، زبان‌گنجشک (*Fraxinus*)، *F. angustifolia*، *F. ornus*، *excelsior*)، چنار لندن (*Platanus ×hispanica*)، شاه‌بلوط هندی (*Aesculus hippocastanum*)، نم‌دار (*T. platyphyllos*، *Tilia cordata*) و بلوط (*Q. frainetto* و *Quercus robur*) را در منطقه شهری Leipzig آلمان بررسی کردند و بیان کردند که تغییرات اقلیمی تأثیرات منفی شدیدی بر سلامت درختان دارد (۱۸). آندروس و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از حلقه‌های رویشی سالانه *Thuja plicata* به بررسی تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی بر رشد و مرگ‌ومیر درختان در شمال غربی اقیانوس آرام پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که احتمال

1- Diplodia

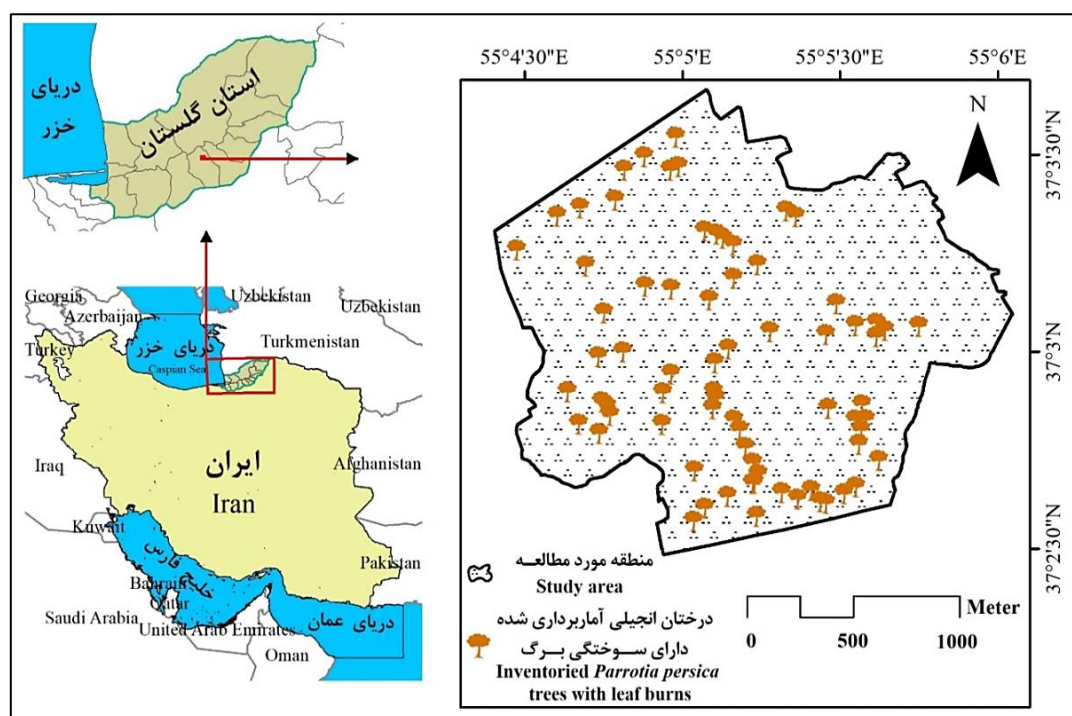
۱۴۰۰ بر مقدار خشکیدگی آن‌ها در سال ۱۴۰۲ در پارک جنگلی دلند واقع در استان گلستان مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، با تهیه برخی از آمارهای اقلیمی مانند بارش، دما، رطوبت نسبی هوا و سطح تراز آب‌های زیرزمینی در تابستان‌های اخیر، سعی شد ارتباط میان وضعیت پارامترهای اقلیمی و محیطی فوق با سوختگی برگ تاج درختان انجیلی نیز مطالعه شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: پارک جنگلی دلند در استان گلستان با مساحت ۵۷۹ هکتار در محدوده جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵ درجه و ۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه عرض شمالی، در ارتفاع ۶۶ تا ۱۰۲ متری از سطح آب‌های آزاد واقع شده است (۲۴). در این پژوهش، بخش اصلی پارک با مساحت ۳۳۰ هکتار مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۱). متوسط بارش سالانه در این منطقه ۶۶۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد است. در بررسی فلور این پارک، ۱۱ گونه درختی، ۳ گونه درختچه‌ای و ۱۸ گونه علفی شناسایی شده‌اند. این منطقه دارای ۱۰ تیپ جنگلی است که تیپ انجیلی - آزاد - بلوط با ۳۸/۳۲ درصد و تیپ آزاد - انجیلی - ممرز با ۱/۳۱ درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین سطح پوشش منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (۲۵).

می‌شوند، از اهمیت زیادی برخوردار است. این اطلاعات نه تنها برای مدیران منابع طبیعی ضروری است، بلکه می‌تواند به پیش‌بینی روندهای آینده در زیست‌بوم‌های جنگلی نیز کمک نماید.

در سال‌های اخیر، سرخشکیدگی در جنگل‌های هیرکانی با شدت قابل توجهی در حال گسترش است (۲۲) و سبب شده تا گونه‌های موجود در این بوم‌سازگان با خطرات جدی مواجه شوند. از میان گونه‌های درختی بومی ایران، انجیلی (*Parrotia persica*) گونه‌ای است که به تازگی مرگ‌ومیر آن رو به افزایش است (۲۳). یکی از مناطق جنگلی ایران در جنگل‌های هیرکانی که درختان انجیلی به صورت آمیخته با دیگر گونه‌های جنگلی رویش دارند، پارک جنگلی دلند در استان گلستان است که با حفظ تنوع زیستی، تثبیت خاک، تولید اکسیژن، جذب دی‌اکسید کربن، تفرج و آرامش، حفاظت از منابع آبی و تأثیرات مثبت بر سلامت انسان‌ها، نقش مهمی در محیط‌زیست ایفا می‌کند. در این منطقه، علاوه بر سرخشکیدگی خشکیدگی درختان انجیلی، درختان زیادی از این گونه نیز دچار سوختگی برگ تاج شده‌اند که تصور می‌شود این درختان در آینده نزدیک دچار سرخشکیدگی و درنهایت این پدیده باعث خشکیدگی کامل و مرگ این درختان شود (۲۳). با بررسی‌های کتابخانه‌ای در داخل کشور، مشخص شد که پژوهش‌هایی در زمینه بررسی تأثیر و ارتباط سوختگی برگ تاج درختان انجیلی بر مقدار خشکیدگی آن‌ها به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده سرخشکیدگی و خشکیدگی این درختان انجام نشده است؛ بنابراین، در این پژوهش ارتباط سوختگی برگ درختان انجیلی در سال



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و توزیع مکانی درختان انجیلی آماربرداری شده دارای سوختگی برگ تاج در تابستان‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲.

Figure 1. Location of the study area and spatial distribution of inventoried *Parrotia persica* trees with canopy cover leaf burns in the summers of 2021 and 2023.

گردید. این کار با تفسیر بصری انجام شد و پس از تقسیم تاج درختان به چهار قسمت و برداشت درصد‌های مربوط به هر چارک، میانگین مربوط به مقادیر سوختگی و خشکیدگی برگ تمام تاج هر درخت انجیلی محاسبه گردید. در شهریور ۱۴۰۲، دوباره همین درختان آماربرداری شده و درصد‌های خشکیدگی آن‌ها ثبت شد. در شکل ۲ نمونه‌هایی از وضعیت سوختگی برگ تاج و خشکیدگی درختان در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ قابل مشاهده است.

جمع‌آوری اطلاعات: از طریق پایش میدانی، موقعیت مکانی ۶۳ اصله درخت انجیلی با درصد‌های مختلف سوختگی برگ تاج در شهریور ۱۴۰۰ با استفاده از دستگاه DGPS دو فرکانسه و به صورت RTK^۱ انتخاب و درصد خشکیدگی آن‌ها ثبت شد. در واقع، در ابتدا پنج طبقه از سوختگی برگ تاج درختان انجیلی (۰-۲۰ درصد، ۲۰-۴۰ درصد، ۴۰-۶۰ درصد، ۶۰-۸۰ درصد و ۸۰-۱۰۰ درصد) در نظر گرفته شد. سپس تعداد متناسبی از درختان انجیلی در هر طبقه برداشت و مقدار خشکیدگی آن‌ها نیز آماربرداری

1- Real-time kinematic



شکل ۲- نمونه‌هایی از وضعیت تغییرات تاج و سرخشکیدگی درختان انجیلی دچار سوختگی برگ در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲.
Figure 2. The samples of the status of changes in canopy and dieback of *Parrotia persica* trees with leaf burn in 2021 and 2023.

بررسی و مقایسه فراوانی خشکیدگی درختان انجیلی دارای سوختگی برگ تاج در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲: بر اساس اطلاعات آماربرداری شده در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲، مقدار خشکیدگی درختان برداشت شده انجیلی با هم مقایسه شد. برای این منظور، درختان انجیلی بر اساس مقدار درصد خشکیدگی آن‌ها در سال ۱۴۰۰، به چهار طبقه سالم (۰-۱۰ درصد خشکیدگی)، خشکیدگی کم (۱۰-۵۰ درصد خشکیدگی)، خشکیدگی زیاد (۵۰-۹۰ درصد خشکیدگی) و کاملاً خشکیده (بیش از ۹۰ درصد خشکیدگی) طبقه‌بندی شدند (۲۶). سپس با توجه به مقدار خشکیدگی همان درختان در دو سال بعد، انتقال درختان در سال ۱۴۰۲ از یک طبقه خشکیدگی به سایر طبقات بر اساس درصد محاسبه و نمودار انتقال آن رسم گردید.

تهیه اطلاعات آماری اقلیمی و آب‌های زیرزمینی: برای بررسی وضعیت عوامل اقلیمی و ارتباط آن با

محاسبات و تحلیل آماری: به منظور بررسی معنی‌داری اثر سوختگی برگ تاج درختان انجیلی در سال ۱۴۰۰ بر مقدار خشکیدگی آن‌ها در سال ۱۴۰۲، از آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه^۱ و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در نرم‌افزار RStudio استفاده شد. برای این منظور، مقدار سوختگی برگ تاج درختان انجیلی به پنج طبقه (۰-۲۰ درصد، ۲۰-۴۰ درصد، ۴۰-۶۰ درصد، ۶۰-۸۰ درصد و ۸۰-۱۰۰ درصد) دسته‌بندی شد. سپس، مقدار خشکیدگی‌های درختان آماربرداری شده در سال ۱۴۰۲ از خشکیدگی‌های برداشت شده مربوط همان درختان در سال ۱۴۰۰ کسر و نرمال بودن آن‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمرنوف مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با استفاده از آزمون آماری معنی‌داری تجزیه واریانس یک‌طرفه، اثر سوختگی برگ تاج درختان انجیلی بر مقدار خشکیدگی آن‌ها بررسی شد.

1- One Way ANOVA

(۱۳ سال) و ترسیم منحنی روند تغییرات تراز آب زیرزمینی از سال ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۰ (۱۲ ساله) استفاده شد.

نتایج و بحث

بررسی اثر سوختگی برگ تاج درختان انجیلی بر مقدار خشکیدگی آن‌ها: با توجه به نتایج، سوختگی برگ تاج درختان انجیلی در سال ۱۴۰۰ اثر معنی‌داری بر مقدار خشکیدگی آن‌ها در سال ۱۴۰۲ در سطح اطمینان ۹۹ درصد داشت (جدول ۱). شکل ۳-الف، مقدار خشکیدگی تمام درختان موجود در هر طبقه سوختگی را به همراه نمودار جعبه‌ای آن‌ها نشان می‌دهد. نتایج بررسی مقایسه میانگین‌های بین طبقات سوختگی برگ تاج درختان با آزمون آماری توکی نشان داد که میان میانگین‌های مقدار خشکیدگی درختان انجیلی در طبقات ۱۰۰-۸۰ درصد با طبقات ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ درصد اختلاف معنی‌دار داشت (شکل ۳-ب).

سوختگی و خشکیدگی تاج درختان انجیلی، از اطلاعات آماری مربوط به نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به منطقه مورد مطالعه استفاده شد. با توجه به ایستگاه‌های موجود در اطراف پارک جنگلی دلد، ایستگاه سینوپتیک شهرستان علی‌آباد کتول انتخاب و اطلاعات مربوطه از سازمان هواشناسی ایران تهیه شد. همچنین، اطلاعات مربوط به تراز آب‌های زیرزمینی از ایستگاه پیزومتريک جنگل دلد تهیه شد. با توجه به اطلاعاتی که از کاربران و همچنین افراد بومی منطقه به عمل آمد، حدوداً از سال ۱۳۹۸ سوختگی برگ درختان انجیلی در منطقه مورد مطالعه شروع شده است؛ بنابراین، از اطلاعات اقلیمی و سطح تراز آب‌های زیرزمینی مربوط به ۱۰ سال پیش از شروع تنش تا آخرین اطلاعات در دسترس آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، از اطلاعات فوق برای ترسیم منحنی‌های مربوط به روند مجموع بارش، میانگین رطوبت نسبی هوا، میانگین دمای روزانه و میانگین حداکثر دمای روزانه مربوط به سه ماه دوم سال (تابستان) برای دوره‌های زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۱

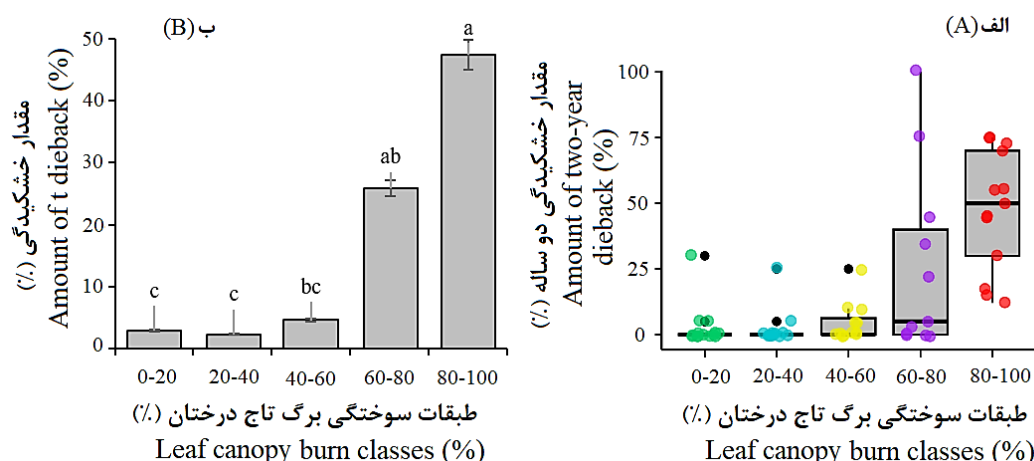
جدول ۱- نتایج مربوط به بررسی معنی‌داری اثر سوختگی برگ تاج درختان انجیلی بر مقدار خشکیدگی آن‌ها با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه.

Table 1. Results of analysis of the significant effect of leaf burn of the canopy cover of *Parrotia persica* trees on their dieback rate using one-way ANOVA analysis.

Sig.	F	میانگین مربعات Mean Squares	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی Degrees of Freedom	
0.00**	14.43	5090.5	20362	4	بین طبقات سوختگی Between Classes of Burn
		352.62	20452	58	درون طبقات سوختگی Within Classes of Burn
			40814	62	کل Total

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

** Significance at the 99% Confidence Level



شکل ۳- نمودار مربوط به توزیع مقدار خشکیدگی دو ساله درختان انجیلی دچار سوختگی برگ در هر طبقه و هم چنین مقدار خشکیدگی دو ساله هر درخت در طبقات (الف) و نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به تأثیر سوختگی برگ تاج درختان انجیلی بر مقدار خشکیدگی آن‌ها در سال ۱۴۰۲ (ب).

Figure 3. Diagram of the distribution of the amount of two-year dieback of *Parrotia persica* trees with leaf burns in each class as well as the amount of two-year dieback of each tree in the classes (A) and the results of comparing the averages related to the effect of leaf burns on the canopy cover of *Parrotia persica* trees on their dieback in 2023 (B).

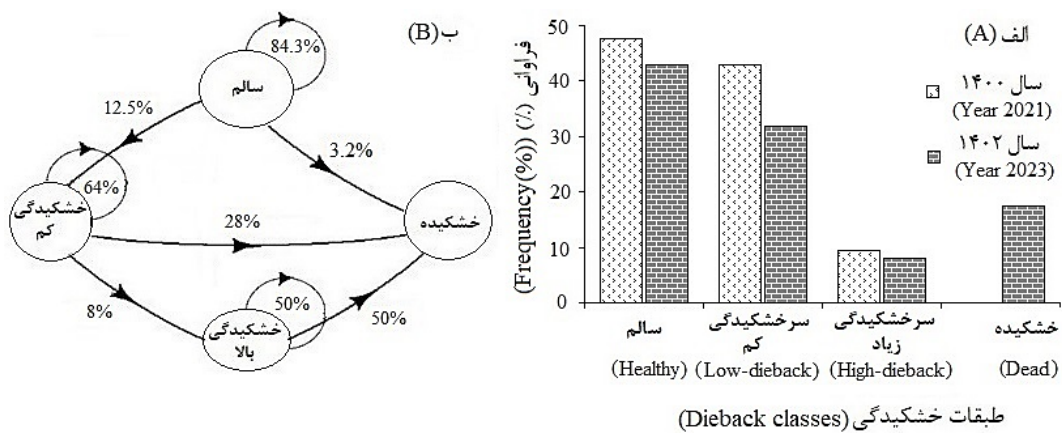
(۲۸). با ادامه و افزایش این تنش‌ها، خطر خشک شدن کامل درختان به وجود می‌آید. این موضوع نه تنها بر سلامت خود درختان تأثیر می‌گذارد، بلکه می‌تواند عواقب جدی برای بوم‌سازگان‌های جنگلی و تنوع زیستی نیز به همراه داشته باشد (۲۹)؛ بنابراین، بروز واکنش‌های درختان در برابر تنش‌های مختلف می‌تواند هشدار از طرف درختان مبنی بر به خطر افتادن بقای آن‌ها باشد و باید جدی تلقی شود. شناسایی و تحلیل این علائم می‌تواند کمک کند تا اقدامات لازم برای حفاظت از این منابع ارزشمند و بوم‌سازگان‌هایی که آن‌ها را پشتیبانی می‌کنند، انجام شود.

بررسی و مقایسه مقدار خشکیدگی درختان انجیلی در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲: شکل ۴- الف فراوانی درختان انجیلی دچار سوختگی برگ را در طبقات مربوط به درصدهای مختلف خشکیدگی در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ نشان می‌دهد. در سال ۱۴۰۰، درختان انجیلی دچار سوختگی برگ موجود در طبقات

با توجه به نتایج، سوختگی برگ تاج درختان انجیلی ارتباط معنی‌داری بر مقدار خشکیدگی آن‌ها طی دو سال داشت. این یافته‌ها نشان‌دهنده این است که درختان انجیلی، به‌عنوان یکی از عناصر کلیدی بوم‌سازگان‌های جنگلی، به‌شدت تحت‌تأثیر عوامل محیطی و تنش‌های مختلف قرار دارند. به‌طورکلی، درختان به‌عنوان موجودات زنده در بوم‌سازگان‌های مختلف جنگلی، با چالش‌های متعددی روبرو هستند. این تنش‌ها می‌توانند شامل تغییرات اقلیمی، آلودگی‌ها، کمبود آب و بیماری‌ها باشند (۲۷). هریک از این عوامل می‌تواند موجب بروز واکنش‌هایی از طرف درختان به‌منظور حفظ بقای گونه و سازگاری آن‌ها با شرایط شود. این واکنش‌ها معمولاً با کاهش تعداد برگ‌ها آغاز شده و در نهایت می‌تواند منجر به از دست دادن تدریجی شاخه‌ها شود. این فرآیند به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی عمل می‌کند که به درختان اجازه می‌دهد تا انرژی خود را صرف حفظ بخش‌های حیاتی‌تر کرده و از آسیب‌های بیش‌تر جلوگیری کند

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در سال ۱۴۰۲، ۳/۲ درصد از درختان انجیلی موجود در طبقه درختان سالم، ۲۸ درصد از درختان موجود در طبقه درختان با خشکیدگی کم و ۵۰ درصد از درختان دارای خشکیدگی زیاد به طبقه مربوط به درختان خشکیده افزوده شده‌اند که در مجموع سبب شده است تا فراوانی درختان خشکیده انجیلی طی دو سال، از صفر درصد به ۱۷/۴۶ درصد تغییر کند.

درختان سالم (بدون سرخشکیدگی) و درختان با خشکیدگی کم، بیش‌ترین فراوانی را داشتند؛ اما با گذشت دو سال از فراوانی آن‌ها کاسته و به فراوانی درختان موجود در طبقات با خشکیدگی زیاد و درختان خشکیده افزوده شده است. شکل ۴- ب جزئیات مربوط به تغییرات وضعیت درختان انجیلی موجود در طبقات سالم، خشکیدگی کم، خشکیدگی زیاد و کاملاً خشکیده را طی دو سال نشان می‌دهد.



شکل ۴- الف: نمودار مربوط به درصد فراوانی درختان انجیلی دارای سوختگی برگ در طبقات مختلف خشکیدگی در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲. ب: منحنی انتقال مربوط به تغییر فراوانی درختان موجود در طبقه‌های مختلف خشکیدگی در سال ۱۴۰۰ به طبقات خشکیدگی دیگر در سال ۱۴۰۲.

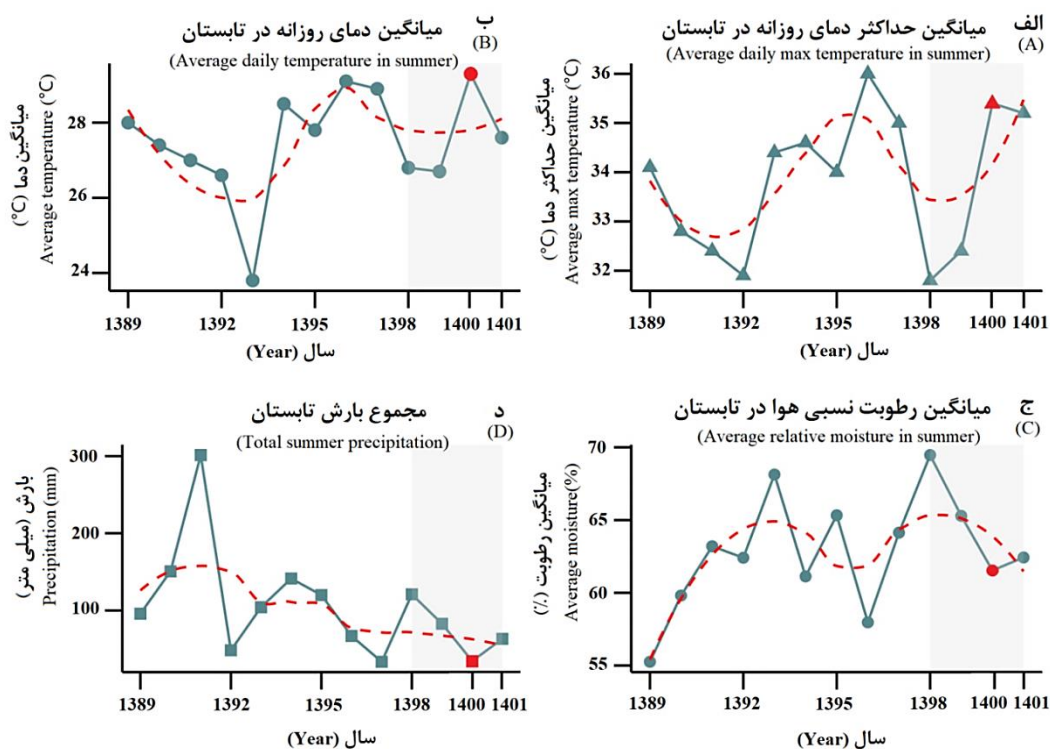
Figure 4. A: Graph of the percentage of frequency of *Parrotia persica* trees with leaf burns in different dieback classes in 2021 and 2023. B: Transition curve of the change in the frequency of trees in different dieback classes in 2021 to other dieback classes in 2023.

درختان انجیلی در منطقه اتفاق افتاده است. همان‌گونه که در شکل ۵- د، مجموع بارش تابستانه نشان می‌دهد، در دوره شروع این پدیده تا سال ۱۴۰۰، مقدار بارش مقادیر کم و روند نزولی داشته است. مقدار رطوبت نسبی هوا در تابستان (شکل ۵- ج) نیز از این دوره به بعد روندی کاهشی را نشان می‌دهد، درحالی‌که مقدار متوسط دمای روزانه (شکل ۵- ب) و میانگین حداکثر دما در تابستان (شکل ۵- الف) پس از اندکی کاهش در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، روند صعودی داشته است. به‌طورکلی، عوامل مختلفی

مجموع بارش، میانگین رطوبت نسبی هوا، دمای روزانه و حداکثر دمای روزانه: تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که مقدار بارش تابستانه در سال‌های اخیر الگوی نزولی دارد (شکل ۵- د)، اما سایر اشکال الگوی منظمی را نشان نمی‌دهند، به‌طوری‌که در برخی از دوره‌ها روند نزولی و در برخی دیگر از دوره‌ها روند صعودی است. با توجه به پژوهش‌ها و بررسی‌های میدانی از افراد بومی منطقه و استفاده‌کنندگان دائمی از منطقه مورد مطالعه، حدوداً از سال ۱۳۸۸ پدیده سوختگی برگ تاج و خزان زودرس

تاج درختان انجیلی رخ داده است. با توجه به این که سوختگی برگ تاج درختان انجیلی و در نهایت خزان زود هنگام آن‌ها به دلیل کاهش آب در دسترس و یا افزایش ناگهانی دما رخ می‌دهد (۳۱)، می‌توان عنوان کرد که تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر اثرات مستقیمی با سوختگی برگ تاج درختان انجیلی داشته است؛ به طوری که در مدت دو سال، ۱۷/۴۶ درصد از درختان دارای سوختگی برگ تاج، خشک شده‌اند.

از جمله آفات، بیماری‌ها، عوامل محیطی و عوامل انسانی باعث بروز تنش در درختان می‌شود (۲۷). همچنین، تغییرات آب و هوایی مداوم می‌تواند منجر به پیامدهای بوم‌شناختی قابل توجهی مانند خشکیدگی درختان و افزایش حساسیت‌های آن‌ها نسبت به این تغییرات شود (۳۰). با توجه به عوامل اقلیمی مورد بررسی در این پژوهش، افزایش متوسط و حداکثر دمای روزانه و کاهش مقدار رطوبت نسبی هوا و بارش، به تقریب در زمان شروع سوختگی برگ



شکل ۵- نمودارهای میانگین‌های حداکثر دمای روزانه (الف)، متوسط دمای روزانه (ب)، میانگین رطوبت نسبی هوا (ج) و مجموع بارش (د) در تابستان مربوط به دوره زمانی ۱۳ ساله (ایستگاه سینوپتیک علی‌آباد کتول).

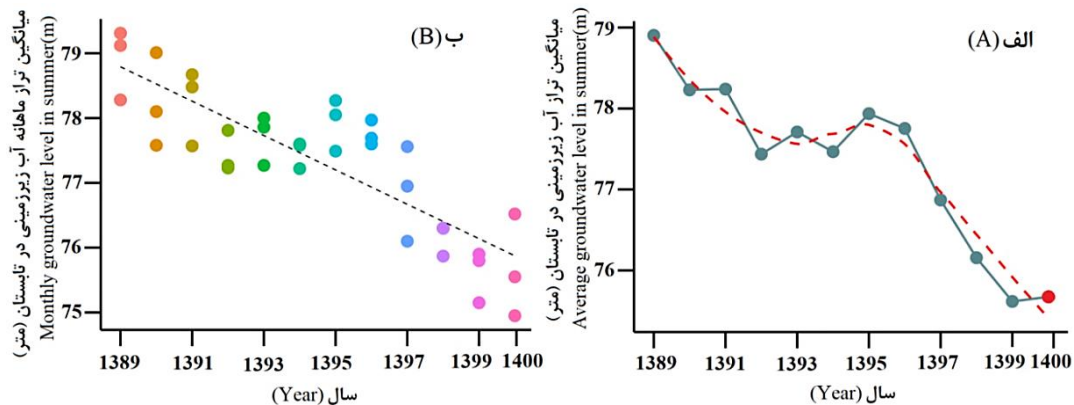
Figure 5. Graphs of average daily maximum temperature (A), average daily temperature (B), average relative moisture (C), and total precipitation (D) in summer for 13 years (Aliabad-Katol synoptic station).

سال ۱۴۰۰ را نشان می‌دهد. این روند کاهش‌ی سال‌های اخیر با شدت بیش‌تری به‌وفور پیوسته است و در سال ۱۳۹۹ به کم‌ترین مقدار خود (۷۵/۶۱ متر) در این دوره ۱۲ ساله رسیده است. به‌طور کلی، سطوح آب زیرزمینی می‌تواند بر مقدار خشکیدگی درختان

سطح تراز آب‌های زیرزمینی: نمودار مربوط به میانگین روند سطح تراز آب‌های زیرزمینی تابستانه (شکل ۶- الف) و نمودار پراکندگی مربوط به مقادیر آن در سه‌ماهه دوم سال (شکل ۶- ب)، روند غالباً نزولی سطح تراز آب‌های زیرزمینی از سال ۱۳۸۹ تا

میانگین حداکثر دمای روزانه، کاهش بارندگی و رطوبت نسبی هوا از سوی دیگر سبب شده تا تنش‌های کم‌آبی در منطقه حاکم شده و در تابستان و فصول رویشی، درختان عملکرد خود را کاهش دهند. با ادامه این شرایط، سرخشیدگی و درنهایت خشکیدگی درختان رخ دهد؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که پایش آب‌های زیرزمینی می‌تواند در شناسایی و کاهش اثرات خشک‌سالی‌های فصلی، به‌منظور بهبود عملکرد مدیریتی جنگل مورد استفاده قرار گیرد (۱۷).

اثرگذار باشد و به‌عنوان یک شاخص محیط‌زیستی عمل کند (۱۶). همان‌گونه که روند تغییرات سطح تراز آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نشان داد (شکل ۶)، در سال‌های اخیر، این عامل با نوسان همراه بوده و عمدتاً روندی نزولی داشته است؛ به‌طوری‌که کم‌ترین سطح تراز آب زیرزمینی مربوط به زمان شروع سوختگی برگ تاج درختان انجیلی بوده است؛ بنابراین، کاهش سطح تراز آب‌های زیرزمینی از یک‌سو و افزایش دمای متوسط روزانه،



شکل ۶- میانگین روند سطح تراز آب‌های زیرزمینی در تابستان (الف)، روند سطح تراز آب‌های زیرزمینی در ماه‌های تابستان برای سال‌های مختلف (ب).

Figure 6. Average trend of groundwater level in summer (A), trend of groundwater level in summer months for different years (B).

استفاده‌کنندگان از منطقه، لگد مال کردن خاک و در نتیجه کاهش نفوذ آب‌های مربوط به بارش به داخل خاک، می‌توانند بر سوختگی برگ درختان انجیلی تأثیرگذار بوده باشند. از سوی دیگر، درختان انجیلی در مقایسه با درختان مجاور از رویش ارتفاعی کم‌تری برخوردار هستند (۳۲)؛ بنابراین، شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه، قطع غیرمجاز درختان با ارتفاع بیش‌تر و هم‌چنین خشکیدگی برخی دیگر از گونه‌های درختی، سبب شده است تا درختان انجیلی در معرض نور بیش‌تری قرار گیرند و در کنار سایر عوامل اقلیمی، سوختگی و درنهایت سرخشیدگی و خشکیدگی

به‌طور کلی، شرایط اقلیمی و وضعیت آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر، به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در ایجاد سوختگی برگ تاج درختان انجیلی و درنهایت سرخشیدگی و خشکیدگی آن‌ها نقش زیادی داشته‌اند. اگرچه نقش عوامل اقلیمی بر ایجاد خشکیدگی و مرگ‌ومیر درختان غیرقابل‌انکار است (۵)، اما مجموعه‌ای از عوامل دیگر نیز می‌توانند به‌عنوان عوامل اولیه و ثانویه عمل نموده و در ایجاد خشکیدگی درختان نقش داشته باشند. همان‌گونه که در قسمت مقدمه بیان شد، کاربری منطقه مورد مطالعه گردشگری است؛ بنابراین عوامل آسیب‌رسان ناشی از

در نهایت مرگ آن‌ها در سال ۱۴۰۲ پرداخته است. با توجه به نتایج، وجود سوختگی برگ تاج در درختان انجیلی، به‌عنوان پیش‌بینی کننده مرگ‌ومیر این درختان تأیید شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد با افزایش تنش‌های شدید اقلیمی، درختان با سوختگی برگ مواجه شده‌اند که در سال‌های بعد، افزایش سرخسکیدگی و خشکیدگی کامل و مرگ این درختان را به همراه داشته است. اگرچه نوسانات اقلیمی در تمام مناطق جهان به دلایل مختلفی در حال رخ دادن است و عملاً جلوگیری از آن اجتناب‌ناپذیر است؛ اما می‌توان با انجام اقدامات مدیریتی، اثرات و پیامدهای این عوامل را کاهش داد. به‌عنوان نمونه، به‌واسطه کاربری منطقه جنگلی دلند، در بخش‌هایی از این منطقه، نظیر زون‌های تفرج متمرکز و فواصل نزدیک به جاده‌های جنگلی، به‌واسطه تجمع استفاده‌کنندگان، کوبیدگی خاک رخ می‌دهد. کوبیدگی خاک ناشی از تردد زیاد می‌تواند سبب کاهش نفوذ آب در خاک شود؛ بنابراین، به نظر می‌رسد که قرق نمودن این مناطق کارآمد است. حتی در صورت امکان اگر بتوان در منطقه با ایجاد خراش‌های سطحی در فصول بارش روند نفوذ آب را به داخل خاک افزایش داد، شاید بتوان اندکی اثرات مربوط به تغییرات اقلیمی را کاهش داد. از سوی دیگر، در منطقه مورد مطالعه سه چاه عمیق آشامیدنی حفر شده و به‌صورت فعال در حال استفاده است؛ بنابراین با برنامه‌ریزی‌های کارآمد، می‌توان استخراج آب‌های زیرزمینی را کاهش داد. با مدیریت منابع آبی و کاهش استفاده از آن می‌توان آب بیش‌تری در اختیار درختان قرار داد و در راستای کاهش اثرات تنش‌زای اقلیمی گام برداشت. به‌طورکلی، شناسایی درختان حساس به تنش و شناسایی علائم مربوط به آن در درختان از اهمیت زیادی برخوردار است و می‌تواند به مدیریت و برنامه‌ریزی‌های کارآمدتر این مناطق در راستای جلوگیری از مرگ‌ومیر این درختان کمک شایانی کند.

آن‌ها را به همراه داشته باشد (۶، ۲۳). اگرچه رشد درختان به‌طور مستقیم با تابش‌های جذب‌شده خورشید در ارتباط است؛ اما بازدهی استفاده از این انرژی تحت تأثیر وضعیت آب در دسترس گیاه است (۳۳)؛ به همین دلیل، قطع و یا از بین رفتن درختان و در دسترس قرار گرفتن بیش‌تر انرژی تابشی خورشید از یکسو و تبخیر و تعرق رطوبت خاک به دلیل وجود تابش بیش‌تر خورشید و در نهایت از دسترس خارج شدن آب در دسترس درختان از سوی دیگر، می‌تواند موجب کاهش عملکرد درختان انجیلی شده باشد. معمولاً با افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی در تابستان، آب‌های زیرزمینی نقش مهمی به‌منظور تأمین آب در دسترس درختان ایفا می‌کنند (۳۴). با کاهش سطح تراز آب‌های زیرزمینی، درختان در مقابله با تنش‌های خشکی با مشکل مواجه می‌شوند و در نهایت دچار سوختگی برگ و خزان زودرس می‌شوند. همچنین، سیستم ریشه‌دوانی درختان در گونه‌های مختلف و فشردگی ریشه در عمق‌های خاک باعث می‌شود تا درختان پاسخ‌های متفاوتی به تغییرات اقلیمی و سطح آب‌های زیرزمینی نشان دهند (۳۵)، (۳۶) و ممکن است برخی از گونه‌های درختی نتوانند اثرات مربوط به کاهش آب‌های در دسترس را با افزایش ریشه‌زایی خنثی کنند؛ بنابراین کاهش سریع آب‌های زیرزمینی و خارج شدن آب در دسترس گیاهان به‌واسطه پمپاژ آب از چاه‌ها (۳۷) در منطقه مورد مطالعه و زمین‌های کشاورزی موجود در اطراف آن از یک‌سو و کاهش نزولات آسمانی و افزایش دما از سوی دیگر سبب بروز تنش‌های تأثیرگذاری بر مقدار خشکیدگی درختان انجیلی شده است.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش به بررسی اثر سوختگی برگ تاج درختان انجیلی در سال ۱۴۰۰ بر روند خشکیدگی و

منابع

1. Sylvain, J. D., Drolet, G., & Brown, N. (2019). Mapping dead forest cover using a deep convolutional neural network and digital aerial photography. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 156, 14-26.
2. Franklin, J. F., & Dyrness, C. T. (1973). Natural vegetation of Oregon and Washington (Vol. 8). US Government Printing Office.
3. McDowell, N. G., Sapes, G., Pivovarov, A., Adams, H. D., Allen, C. D., Anderegg, W. R., Arend, M., Breshears, D. D., Brodribb, T., Choat, B., & Cochard, H. (2022). Mechanisms of woody-plant mortality under rising drought, CO₂ and vapor pressure deficit. *Nature Reviews Earth & Environment*. 3 (5), 294-308.
4. Andrus, R. A., Peach, L. R., Cinquini, A. R., Mills, B., Yusi, J. T., Buhl, C., Fischer, M., Goodrich, B. A., Hulbert, J. M., Holz, A., & Meddens, A. J. H. (2024). Canary in the forest?-tree mortality and canopy dieback of western red Cedar linked to drier and warmer summers. *Journal of Biogeography*. 51 (1), 103-119.
5. Hammond, W. M., Williams, A. P., Abatzoglou, J. T., Adams, H. D., Klein, T., López, R., Sáenz-Romero, C., Hartmann, H., Breshears, D. D., & Allen, C. D. (2022). Global field observations of tree die-off reveal hotter-drought fingerprint for Earth's forests. *Nature Communications*. 13 (1), 1761.
6. Hosseini, G., Rahimi, M., Kourtolinajad, D., & Jafari, M. (2014). A review of climatic factors influencing the dieback of forest trees. *The First National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources, and Sustainable Development*. [In Persian]
7. Glanville, K., Sheldon, F., Butler, D., & Capon, S. (2023). Effects and significance of groundwater for vegetation: A systematic review. *Science of the Total Environment*. 875, 162577.
8. Díaz, S., Purvis, A., Cornelissen, J. H., Mace, G. M., Donoghue, M. J., Ewers, R. M., Jordano, P., & Pearse, W. D. (2013). Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. *Ecology and Evolution*. 3 (9), 2958-2975.
9. Lawley, V., Lewis, M., Clarke, K., & Ostendorf, B. (2016). Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. *Ecological Indicators*. 60, 1273-1283.
10. Sommer, B., & Froend, R. (2014). Phreatophytic vegetation responses to groundwater depth in a drying Mediterranean-type landscape. *Journal of Vegetation Science*. 25 (4), 1045-1055.
11. Nasaji Zavareh, M., Khanzadeh Kakaroud, R., & Ghasemi, A. (2016). Integration of climatic data and remote sensing for monitoring the dieback status of oak trees: A case study of Ilam region. *Scientific-Research and International Quarterly Journal of the Iranian Geography Association*. 14 (51), 387-397. [In Persian]
12. Molahakili, M., Zare Bidaki, Q., Kiani, B., & Masleh Arani, A. (2014). Relations of distance from water resources with dryness and pests of *Amygdalus scoparia* in Baghe-Shadi protected area. *Journal of Renewable Natural Resources Research*. 5 (1), 43-51. [In Persian]
13. Afrouzian, M., & Salahi, A. (2010). Factors affecting *Prosopis cineraria* and *Acacia nilotica* decline in South Baluchestan. *Research on Support and Protection of Forests and Rangelands in Iran*. 8 (1), 39-47. [In Persian]
14. Dargahian, F., Pourhashemi, M., & Razavizadeh, S. (2022). Precipitation indicators of climate change in decline monitoring sites in Chaharmahal and Bakhtiari province. *Forest and Wood Products*. 75 (2), 107-117. [In Persian]

15. McDowell, N. G., Grossiord, C., Adams, H. D., Pinzón-Navarro, S., Mackay, D. S., Breshears, D. D., Allen, C. D., Borrego, I., Dickman, L. T., Collins, A., & Gaylord, M. (2019). Mechanisms of a coniferous woodland persistence under drought and heat. *Environmental Research Letters*. 14 (4), 045014.
16. Cunningham, S. C., Thomson, J. R., Mac Nally, R., Read, J., & Baker, P. J. (2011). Groundwater change forecasts widespread forest dieback across an extensive floodplain system. *Freshwater Biology*. 56 (8), 1494-1508.
17. Pilas, I., Lukic, N., Vrbek, B., Dubravac, T., & Roth, V. (2007). The effect of groundwater decrease on short and long-term variations of radial growth and dieback of mature pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands. *Ekologia (Bratislava)/Ecology (Bratislava)*. 26 (2), 122-131.
18. Haase, D., & Hellwig, R. (2022). Effects of heat and drought stress on the health status of six urban street tree species in Leipzig, Germany. *Trees, Forests and People*. 8, 100252.
19. Bréda, N., & Badeau, V. (2008). Forest tree responses to extreme drought and some biotic events: towards a selection according to hazard tolerance? *Comptes Rendus. Géoscience*. 340 (9-10), 651-662.
20. Moshou, D., Gravalos, I., Bravo, D. K. C., Oberti, R., West, J. S., & Ramon, H. (2011). Multisensor fusion of remote sensing data for crop disease detection. *Geospatial Techniques for Managing Environmental Resources*. pp. 201-219.
21. Caballol, M., Ridley, M., Colangelo, M., Valeriano, C., Camarero, J. J., & Oliva, J. (2022). Tree mortality caused by Diplodia shoot blight on *Pinus sylvestris* and other Mediterranean pines. *Forest Ecology and Management*. 505, 119935.
22. Barazmand, S., Shataee, S., Kavousi, M. R., & Habashi, H. (2012). Spatial distribution of tree crown dieback and its relation with some environmental factors and road network. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 19 (13), 159-174. [In Persian]
23. Naseri, M. H., Shataee Jouibary, Sh., & Habashi, H. (2023). Zoning of tree crown leaf burn using UAV and Sentinel 2 images in Deland Forest Park, Golestan province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 29 (4), 75-92. [In Persian]
24. Naseri, M. H., Shataee Jouibary, Sh., & Habashi, H. (2023). Analysis of forest tree dieback using UltraCam and UAV imagery. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 38 (6), 392-400.
25. Hajizadeh, G., Kavosi, M. R., Afshari, A., & Shataee Jouibary, Sh. (2012). Effects of ovipositing height and host tree species on some biological parameters of gypsy moth *Lymantria dispar* (L.), in Golestan forests (Case Study: Daland Park). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*. 19 (1), 149-162. [In Persian]
26. Guerra-Hernández, J., Díaz-Varela, R. A., Álvarez-González, J. G., & Rodríguez-González, P. M. (2021). Assessing a novel modeling approach with high-resolution UAV imagery for monitoring health status in priority riparian forests. *Forest Ecosystems*. 8, 61.
27. Golmohamadi, F., Hassanzad Navroodi, I., Bonyad, A. E., & Mirzaei, J. (2017). Effects of some environmental factors on dieback severity of trees in middle Zagros forests of Iran (Case study: strait Daalaab, Ilam province). *Journal of plant research (Iranian Journal of Biology)*. 30 (3), 644-655. [In Persian]
28. Estravis-Barcala, M., Mattera, M. G., Soliani, C., Bellora, N., Opgenoorth, L., Heer, K., & Arana, M. V. (2020). Molecular bases of responses to abiotic stress in trees. *Journal of Experimental Botany*. 71 (13), 3765-3779.
29. McDowell, N., Pockman, W. T., Allen, C. D., Breshears, D. D., Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A., Williams, D. G., & Yezpe, E. A. (2008).

- Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New phytologist*. 178 (4), 719-739.
30. Skiadaresis, G., Schwarz, J. A., & Bauhus, J. (2019). Groundwater extraction in floodplain forests reduces radial growth and increases the summer drought sensitivity of pedunculate oak trees (*Quercus robur* L.). *Frontiers in Forests and Global Change*. 2, 5.
31. Mariën, B., Dox, I., De Boeck, H. J., Willems, P., Leys, S., Papadimitriou, D., & Campioli, M. (2021). Does drought advance the onset of autumn leaf senescence in temperate deciduous forest trees? *Biogeosciences*. 18 (11), 3309-3330.
32. Sefidi, K. (2016). Structural diversity as a component of biodiversity in forest ecosystems, a case study from the population of Persian ironwood (*Parrotia persica* CA Meyer) in north Iran. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 29 (4), 794-807. [In Persian]
33. Kozlowski, T. T. (1997). Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology*. 17 (7), 490-490.
34. Yin, L., Zhou, Y., Huang, J., Wenninger, J., Zhang, E., Hou, G., & Dong, J. (2015). Interaction between groundwater and trees in an arid site: Potential impacts of climate variation and groundwater abstraction on trees. *Journal of Hydrology*. 528, 435-448.
35. Lite, S. J., & Stromberg, J. C. (2005). Surface water and ground-water thresholds for maintaining *Populus-Salix* forests, San Pedro River, Arizona. *Biological Conservation*. 125 (2), 153-167.
36. Šenfeldr, M., Horak, P., Kvasnica, J., Šrámek, M., Hornova, H., & Maděra, P. (2021). Species-specific effects of groundwater level alteration on the climate sensitivity of floodplain trees. *Forests*. 12 (9), 1178.
37. Ganeshamurthy, A. N., Kalaivanan, D., Rupa, T. R., & Raghupathi, H. B. (2020). Groundwater decline and prolonged drought could reduce vigor, enhance vulnerability to diseases and pests, and kill perennial horticultural crops: needs urgent policy intervention. *Journal of Horticultural Sciences*. 15 (1), 9-16.