

Revealing the change of the frost indices as a consequence of climate change, a case study of Northern Zagros forests (Azerbaijan)

Fatemeh Dargahian^{1*}, Yaser Ghasemiaryan² and Somayeh Heydarnejad³

1* - Corresponding Author, Associate Professor, Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: dargahian@rifr-ac.ir

2- Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- PhD, Department of Desert Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Kashan, Iran.

Received: 30.10.2023

Accepted: 27.04.2024

Abstract

Background and objectives: The forest ecosystem of Zagros has been attacked by pests and diseases in the last two decades. One of the most significant effects of climate change has been the reduction of frost days, especially in forest ecosystems. Reducing the frequency, intensity, and duration of the frost phenomenon facilitates the wintering of pests and reduces losses and deaths, intensifying their outbreaks. Northern Zagros forests (case study of Azerbaijan). Knowledge of the amount of changes in frost days leads managers and planners of the forest ecosystem toward better solutions to adapt to climate change.

Methodology: In this research, the ClimPACT software package was used in the R environment to investigate the changes in glacier indices. The indicators used in this research have been prepared by the World Meteorological Organization (WMO), the Climatology Commission (CCL), and the expert team on climate risk and specific climate indicators (ETCRSCI) to monitor, evaluate, and detect climate change in a place or region. The daily data of minimum temperature, maximum temperature, and precipitation for the statistical period of 1986 to 2019 at Piranshahr station and the statistical period of 1988 to 2019 at Sardasht station were obtained from the National Meteorological Organization. The data was prepared in the required format for entry into the ClimPACT model. The ClimPACT software package was implemented in the R environment, and the climate change-revealing indicators were screened as the output of the model. The cold indicators revealing the occurrence of climate change were separated in the limits of the Piranshahr and Sardasht deterioration monitoring sites in West Azerbaijan province in North Zagros: four cold temperature indicators were selected from among them. For the index of days with frost, severe frost, very severe frost, and icy days, changes in trend line, trend slope error, and significance in the statistical range of p-value = 0.05 were calculated, and changes for all indicators in the R software environment, drawing, and case analysis were conducted.

Results: Examining the linear trend slope, slope, and the significance of changes (p-value) in the index of days with frost in oak decay monitoring sites in Piranshahr and Sardasht showed that this index had a significant decreasing trend. This index showed a decrease of 48 days in Piranshahr and 63 days in Sardasht during the studied statistical period. Changes in the trend and significance of the extreme frost days index within the monitoring sites in Piranshahr and Sardasht showed that this index had a significant decreasing trend. This index decreased by 38 days in Piranshahr and 56 days in Sardasht during the studied statistical period. Examining the slope of the trend line, the error of the trend slope, and the significance of the changes in the

index of extreme frost days in the range of monitoring sites in Piranshahr showed a significant decreasing trend, while in Sardasht, a significant increasing trend was observed. Changes in the trend and significance of the ice days index in the range of monitoring sites in Piranshahr showed a decreasing and non-significant trend, while in the range of monitoring sites in Sardasht, it showed a decreasing and significant trend.

Conclusion: One of the most critical challenges facing Iran's natural environment today is the decline of Zagros oak forests. Various factors have contributed to the deterioration of these ecosystems, but climatic conditions stand out as the most significant. Cold climate indicators in the Piranshahr and Sardasht forests have shown a notable decreasing trend. This decline indicates that the wintering range for many pests and diseases has shrunk, creating favorable conditions for their growth. Considering other factors, this trend is likely to continue due to increasing temperatures in the coming years. Consequently, there will be increased stress related to temperature and humidity, leading to more outbreaks of pests and diseases. Zagros forests, particularly oak trees, play a vital role in maintaining natural resources, storing underground water, and mitigating the effects of climate change. Therefore, it is essential to preserve these valuable resources by leveraging scientific, technical, managerial, and executive approaches.

Keywords: climate change, ice day, wintering, outbreak of pests and diseases, frost.

آشکارسازی تغییر روند شاخص‌های یخبندان به‌عنوان پیامد تغییر اقلیم، مطالعه موردی جنگل‌های زاگرس شمالی (آذربایجان غربی)

فاطمه درگاهیان^{۱*}، یاسر قاسمی آریان^۲ و سمیه حیدر نژاد^۳

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- دانش‌آموخته دکتری بیابان‌زدایی، گروه علوم و مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

چکیده

سابقه و هدف: اکوسیستم جنگلی زاگرس در دو دهه اخیر مورد هجوم آفات و بیماری‌ها بوده است. یکی از مؤثرترین اثرهای تغییر اقلیم، کاهش روزهای یخبندان به‌ویژه در اکوسیستم‌های جنگلی می‌باشد. کاهش فراوانی شدت و مدت پدیده یخبندان، زمستان‌گذرانی آفات را تسهیل، تلفات و مرگ‌ومیر را کم و طغیان آنها را تشدید می‌کند. هدف این تحقیق، آشکارسازی تغییرات شاخص‌های سرد در محدوده جنگل‌های زاگرس شمالی (مطالعه موردی آذربایجان غربی) است. آگاهی از میزان تغییرات روزهای یخبندان، مدیران و برنامه‌ریزان اکوسیستم جنگلی را به سمت راهکارهای بهتر سازگاری با تغییرات اقلیمی رهنمون می‌کند.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق به‌منظور بررسی روند تغییرات شاخص‌های یخبندان از بسته نرم‌افزار ClimPACT در محیط R استفاده شده است. شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) و کمیسیون اقلیم‌شناسی (CCL) و تیم متخصص در مورد خطر آب‌وهوا و شاخص‌های خاص اقلیمی (ETCRSCI) تهیه شده است که برای پایش، ارزیابی و آشکارسازی تغییر اقلیم در یک مکان یا منطقه کاربرد دارد. داده‌های روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش برای دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه پیرانشهر و دوره آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه سردشت از سازمان هواشناسی کشور گرفته شد. داده‌ها به فرمت مورد نیاز برای ورود به مدل ClimPACT آماده شد. بسته نرم‌افزاری ClimPACT در محیط R اجرا و شاخص‌های آشکارکننده تغییر اقلیم به‌عنوان خروجی مدل غربالگری شدند. شاخص‌های سرد آشکارکننده رخداد تغییر اقلیم در محدوده سایت‌های پایش زوال بلوط پیرانشهر و سردشت در استان آذربایجان غربی در زاگرس شمالی تفکیک شد. از بین آنها چهار شاخص دمایی سرد انتخاب شد، برای شاخص روزهای همراه با یخبندان، یخبندان شدید، یخبندان بسیار شدید و روز یخی تغییرات خط شیب روند، خطای شیب روند و معنی‌داری در محدوده آماری $p\text{-value}=0.05$ محاسبه و تغییرات برای تمام شاخص‌ها در محیط نرم‌افزار R ترسیم و تجزیه و تحلیل شد.

نتایج و یافته‌ها: بررسی شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای همراه با یخبندان در محدوده سایت پایش بلوط در پیرانشهر و سردشت نشان داد، این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشته است. این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه در پیرانشهر ۴۸ روز و در سردشت ۶۳ روز کاهش را نشان داد. تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای یخبندان شدید در محدوده سایت‌های پایش در پیرانشهر و سردشت نشان داد، این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشته است. این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه در پیرانشهر ۳۸ روز و در سردشت ۵۶ روز کاهش داشته است. بررسی شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای یخبندان بسیار شدید در محدوده سایت‌های پایش در پیرانشهر روند کاهشی و معنی‌دار و در سردشت روند افزایشی و معنی‌داری را نشان داد. تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای یخی در محدوده سایت‌های پایش در پیرانشهر روند کاهشی و غیرمعنی‌دار و در محدوده سایت‌های پایش سردشت روند کاهشی و معنی‌دار را نشان داد.

نتیجه‌گیری: امروزه، یکی از مهمترین چالش‌های محیط‌های طبیعی ایران، زوال جنگل‌های بلوط زاگرس است، عوامل متعددی در زوال این بوم‌سازگان طبیعی مؤثر بوده و هست، اما عوامل اقلیمی را به دلیل مساعد کردن سایر عوامل و شرایط زوال، می‌توان به‌عنوان مهمترین عامل در نظر گرفت. شاخص‌های سرد اقلیمی در منطقه جنگل‌های پیرانشهر و سردشت دارای روند کاهشی و معنی‌دار بود. این روند کاهشی نشان می‌دهد که محدودیت زمستان‌گذرانی بسیاری از آفات و بیماری‌ها کم و زمینه برای رشد آفات و بیماری‌ها هم‌زمان با فراهم بودن سایر شرایط، مهیا شده است. با توجه به روند افزایش دما در سال‌های آینده این روند کاهشی ادامه خواهد داشت و زمینه برای تنش‌های دمایی و رطوبتی و رشد و طغیان بیشتر آفات و بیماری‌ها فراهم خواهد شد. جنگل‌های زاگرس به‌ویژه درختان بلوط اهمیت بسزایی در پوشش منابع طبیعی، ذخیره آب زیرزمینی، کاهش اثرها و کند شدن تغییرات اقلیمی دارد، بنابراین باید با استفاده از همه توان علمی، فنی، مدیریتی و اجرایی برای حفظ این منابع طبیعی تلاش کرد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، روز یخی، زمستان‌گذرانی، طغیان آفات و بیماری‌ها، یخ‌بندان.

مقدمه

یکی از مهمترین چالش‌های اکوسیستم جنگل‌های زاگرس، زوال و خشکیدگی درختان بلوط است. عوامل متعددی در خشکیدگی درختان بلوط مؤثر هستند. تعدد عوامل مختلف و نبود اطلاعات منظم و مناسب در مورد این عوامل، مانع از تعیین سهم عوامل مختلف شده است اما آنچه می‌تواند سایر عوامل را نیز تحت‌الشعاع قرار دهد، تغییرات اقلیمی به‌ویژه در دو دهه اخیر بوده است. در دوره خشک‌سالی طولانی حاکم در زاگرس از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ (Dargahian et al, 2022) تنش خشکی علاوه بر اینکه به‌طور مستقیم بر زوال مؤثر بوده، به‌طور غیرمستقیم نیز منجر به فشار بیش‌ازحد بر عرصه‌های جنگلی شده و طغیان آفات و بیماری‌ها را به‌دنبال داشته است. در مطالعه شناسایی مهمترین عوامل مؤثر بر خشکیدگی بلوط ایرانی در استان ایلام بیشترین وزن به معیار خشک‌سالی و تغییر اقلیم اختصاص یافت (Karamian & Mirzaei, 2020). تحلیل زمانی- فضایی خشک‌سالی و خشکیدگی درختان بلوط جنگل‌های زاگرس در استان ایلام نشان داد، بین روند خشک‌سالی در ابعاد مکانی و زمانی و روند خشکیدگی بلوط در سال‌های اخیر در مناطق مختلف ایلام رابطه معنی‌داری وجود دارد (Asgari et al., 2021). برگ‌زدایی و مرگ‌ومیر سالانه درختان بلوط ناگهانی نیست و میراث خشک‌سالی را بیان می‌کند و با میانگین دمای سالانه، شاخص استاندارد بارش- تبخیر و تعرق و میزان مواد آلی

خاک ارتباط دارد (در رفرنس انتها نیست) (Gea- Izquierdo et al., 2021). در حوزه مدیترانه بلوط‌ها به‌ویژه در برابر خشک‌سالی‌های بهار و تابستان با تلفات مهم از نظر رشد و بهره‌وری همراه با افزایش نرخ مرگ‌ومیر و کاهش نرخ رشد مواجه هستند (Colangelo et al., 2020). گرم شدن آب‌وهوا، شدت و مدت خشک‌سالی و موج گرما را افزایش می‌دهد. بنابراین، تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند نابودی جنگل را در بسیاری از اکوسیستم‌های جهان، به‌ویژه در جنگل‌های نیمه‌خشک افزایش دهد (Ogaya et al., 2020). براساس بررسی خشکیدگی جنگل‌های زاگرس میانی، درختان در سال ۱۳۹۱، در طبقه خشکیدگی زیاد و خیلی زیاد (۱۳/۶ درصد) بودند که در سال ۱۳۹۳ این خشکیدگی زیاد به ۲۵/۴ درصد رسید (Fallah & Haidari, 2018). پایش و ارزیابی تغییرات پوشش و زوال جنگل‌های بلوط در استان لرستان در دوره آماری (۲۰۱۷-۲۰۰۰) با استفاده از مدل BFAST و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد، بیش از ۴۲۸۰۴ هکتار از جنگل‌های بلوط استان در اثر پدیده زوال از بین رفته‌اند (Shiravand et al., 2020). با استفاده از پارامترهای دما و بارش، شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها و تراکم جنگل به‌عنوان پارامترهای مؤثر بر کاهش جنگل‌های استان ایلام و براساس منطق فازی، نقشه مناطق حساس به زوال بلوط تهیه شد. نتایج نشان داد، بیش از ۷۷ درصد جنگل‌های بلوط در استان بسیار مستعد زوال هستند

سالانه در دهه‌های آینده ۱۸ روز نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. همچنین بازه زمانی یخبندان‌های شدید و خیلی شدید در دوره آینده از ۷ ماه دوره مشاهده به ۵ ماه تقلیل خواهد یافت (Sari Sarraf et al., 2017). براساس چشم‌انداز زمان وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهار در غرب ایران، تاریخ یخبندان پاییزه دیرتر و تاریخ یخبندان بهار زودتر از گذشته روی می‌دهد (Aghashariatmadari et al., 2016). پیش‌نگری اثرهای احتمالی تغییر اقلیم بر تاریخ و خطر خسارت رخداد یخبندان‌های دیررس بهار طی قرن بیست و یکم در ایران نشان داد، در دهه‌های آینده خطر یخبندان دیررس بهار کمتر خواهد بود (Khalili, 2016). مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره، برای بررسی ارتباط بین پنج شاخص آماری یخبندان با سه عامل ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی در استان کردستان بررسی شد و در نهایت براساس مدل‌های رگرسیونی به‌دست‌آمده برای هر شاخص، نقشه‌های پهنه‌بندی آنها برای استان تهیه شد (Mesgari et al., 2020). بررسی اثر گرم شدن جهانی و تغییر اقلیم، در حالت‌های ممکن اقلیمی مختلف، بر ژرفای یخبندان خاک دشت ملایر نشان داد، بر اثر تغییر اقلیم، میزان ژرفای نفوذ یخبندان در این دشت مهم کشاورزی تا پایان سال ۲۰۳۰ کاهش می‌یابد (Kalhor, 2018). چشم‌انداز تاریخ‌های آغاز و پایان و تعداد روزهای یخبندان در استان اردبیل تحت شرایط تغییر اقلیم برای ۲۰ سال آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان داد، طول دوره یخبندان کاهش و تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه دیرتر و آخرین یخبندان بهار زودتر خواهد بود (Ahadi et al., 2023). آشکارسازی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر و نیمه‌فراگیر ایران نشان داد، روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با یخبندان‌های فراگیر ایران در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فصل زمستان و سالانه دارای روند کاهشی معنادار از لحاظ آماری بوده است (Mahmoudi et al., 2016). تغییر تاریخ وقوع اولین یخبندان پاییزه و آخرین یخبندان بهار در اصفهان نشان داد، میانگین شماره روز وقوع آخرین یخبندان، بین ۲

(Motlagh & Kiadaliri, 2021). متغیر دما کنترل گسترده‌ای بر توزیع جغرافیایی بلوط ایرانی دارد، زیرا بلوط ایرانی به جای متغیرهای بارش، پاسخ قوی‌تری به دما نشان می‌دهد (Valavi et al., 2019). با توجه به پیامدهای مستقیم تغییرات دما بر بارش، در مواردی مانند افزایش ذوب برف، تغییر شکل بارش‌ها از برف به باران، تغییرات زمانی بارش و افزایش بارش‌های بهار، افزایش تبخیر و تعرق و کاهش رطوبت خاک، پیش‌ران تغییر اقلیم به‌ویژه در اکوسیستم‌های طبیعی محسوب می‌شود.

یکی از مشخصه‌های اقلیمی که از پدیده گرمایش جهانی تأثیر می‌پذیرد، تعداد روزهای همراه با یخبندان است (Jahanbakhsh Asl et al., 2017; Azarakhshi et al., 2013)

بررسی تغییرات آب‌وهوایی بر تعداد روزهای یخبندان و فصل بدون یخبندان در ایالات متحده آمریکا نشان داد، تغییرات اقلیمی منجر به کاهش تعداد روزهای یخبندان و فصل بدون یخبندان شده است (Easterling, 2002). برخی از شاخص‌های اقلیمی سرد مانند تعداد روزهای یخی، یا شاخص دو روز و دو شب متوالی سرد در زاگرس به‌شدت کم شده و در آینده ممکن است تکرار نشود (Dargahian et al., 2022; Dargahian & Pourhashemi, 2022)

(۴). با توجه به تأثیرپذیری زیاد ایران از تغییرات اقلیمی، مطالعات زیادی کاهش رخداد روزهای یخبندان را در ایران هم در وضعیت موجود و هم آینده را نشان داده‌اند، ارزیابی و شناخت تغییر اقلیم در ایران زمین طی دهه‌های اخیر نشان داد، روند نمایه‌های فرین سرد از جمله روزهای یخبندان، روزهای یخی، شب‌های سرد و روزهای سرد منفی و رو به کاهش است (Darand, 2015). بررسی دمای کمینه ایران نشان داد، در بیشتر گستره ایران، روند تعداد روزهای یخبندان رو به کاهش است (Masoudian & Darand, 2015). بررسی روند تغییرات اقلیمی برای دهه‌های آینده نیز روند کاهش روزهای همراه با یخبندان را نشان داده‌اند، ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بر یخبندان‌های زاهدان با استفاده از مدل‌های گردش کلی جو نشان داد، تعداد یخبندان‌های

گل‌دهی در مناطق معتدل منجر به عواقب اکولوژیکی مانند ورود حشرات، آفات جدید و غیره می‌شود (Haokip *et al.*, 2020). اثر رویدادهای شدید کوتاه‌مدت بر عملکرد و فیزیولوژی درخت هنوز به نسبت مبهم است. راش اروپایی یکی از حساس‌ترین گونه‌ها به سرمازدگی دیررس و کم‌آبی است. یخبندان دیررس رشد شعاعی و میزان کربن ثابت‌شده در زیست‌توده ساقه را تا ۸۰ درصد کاهش می‌دهد (D'Andrea *et al.*, 2020). از سویی رخدادهای یخبندان در طول دوره رشد فعال گیاهان می‌تواند باعث خسارت‌های گسترده سرمازدگی با خسارت‌های اقتصادی عظیم و پیامدهای اکولوژیکی چشمگیر شود. افزایش دما در اواخر زمستان و اوایل بهار ممکن است باعث بهار کاذب شود، یعنی شروع زود هنگام رشد که به دنبال دوره‌های سرد و افزایش خسارت سرمازدگی به وجود می‌آید (Ma *et al.*, 2019).

از آنجایی که دما مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر پویایی جمعیت حشرات است، گرم شدن آب‌وهوای جهانی می‌تواند باعث گسترش دامنه جغرافیایی آنها، افزایش بقای زمستان‌گذرانی، افزایش تعداد نسل‌ها، افزایش خطر گونه‌های حشرات مهاجم و بیماری‌های گیاهی قابل انتقال از حشرات شود. از آنجایی که تغییرات آب‌وهوایی مشکل آفات را تشدید می‌کند، نیاز زیادی به راهبردهای مدیریت آفات در آینده است (Skendžić *et al.*, 2021). هر سال، روزهای یخبندان ما کمتر می‌شود، یعنی در ارتفاعات ما برف نمی‌بارد، یعنی آفت ما زیاد می‌شود، یعنی برف زمستانی که باید در فصل تابستان به تدریج ذوب شود، در فصل بهار ذوب می‌شود و ذخیره آبی ما دچار مشکل و تنش‌های رطوبتی زیاد می‌شود، در این تحقیق، هدف آشکارسازی تغییرات شاخص‌های سرد در محدوده جنگل‌های زاگرس شمالی (مطالعه موردی آذربایجان) است. آگاهی از میزان تغییرات روزهای یخبندان، مدیران و برنامه‌ریزان اکوسیستم جنگلی را به سمت راهکارهای بهتر سازگاری با تغییرات اقلیمی رهنمون می‌کند.

تا ۴ روز کاهش یافته است (Abedi-Koupai *et al.*, 2021). بررسی ۵۴ ایستگاه همدیدی در سرتاسر ایران برای دوره‌های مشاهداتی (۲۰۰۵-۱۹۷۶) و آینده (۲۰۵۴-۲۰۲۵) نشان داد، نمایه‌های سرد مانند تعداد روزهای یخبندان در بیشتر ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته‌اند (Fathian *et al.*, 2023).

گرمایش جهانی و پیامدهای ناشی از آن بسیاری از متغیرهای اقلیمی مؤثر در رشد و نمو، یا مؤثر بر زوال درختان و گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پاسخ به این تغییرات تابع شدت و الگوی تغییرات می‌باشد. مطالعه تأثیر تغییر جهانی اقلیم بر شاخص‌های اقلیمی ایران برای سال ۲۰۵۰ میلادی نشان داد، افزایش دما باعث طولانی‌تر شدن فصل رشد به دلیل افزایش تعداد روزهای بدون یخبندان می‌شود (Koocheki *et al.*, 2015). اثرهای گرمایش جهانی بر تغییرات فراوانی روزهای یخبندان در ایران نشان داد، در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه تعداد روزهای یخبندان در دهه‌های آینده رو به کاهش است (Sari Sarraf *et al.*, 2017). ارزیابی مدل‌های مختلف گردش کلی جو در دشت‌های مرتفع و هموار تگزاس مشخص کرد که تا سال ۲۰۷۰ طول فصل بدون یخبندان بین ۲/۶ تا ۳/۴ هفته طولانی‌تر می‌گردد، همچنین روزهای یخبندان بین ۱۷/۹ تا ۳۰ درصد، در کل منطقه کاهش می‌یابد (Modala *et al.*, 2016). تأثیر پیش‌بینی‌شده تغییرات آب‌وهوا روی بروز دمای یخبندان در سردترین زمستان‌ها، توسط صدک ۹۸ فصل سرما (نوامبر تا آوریل) نشان داد، قرار گرفتن در معرض یخبندان در مناطق کشاورزی کالیفرنیا کاهش می‌یابد و این منطقه با میانگین کاهش ۶۳ درصدی یخبندان تا اواسط قرن بیست و یکم مواجه است (Parker *et al.*, 2021).

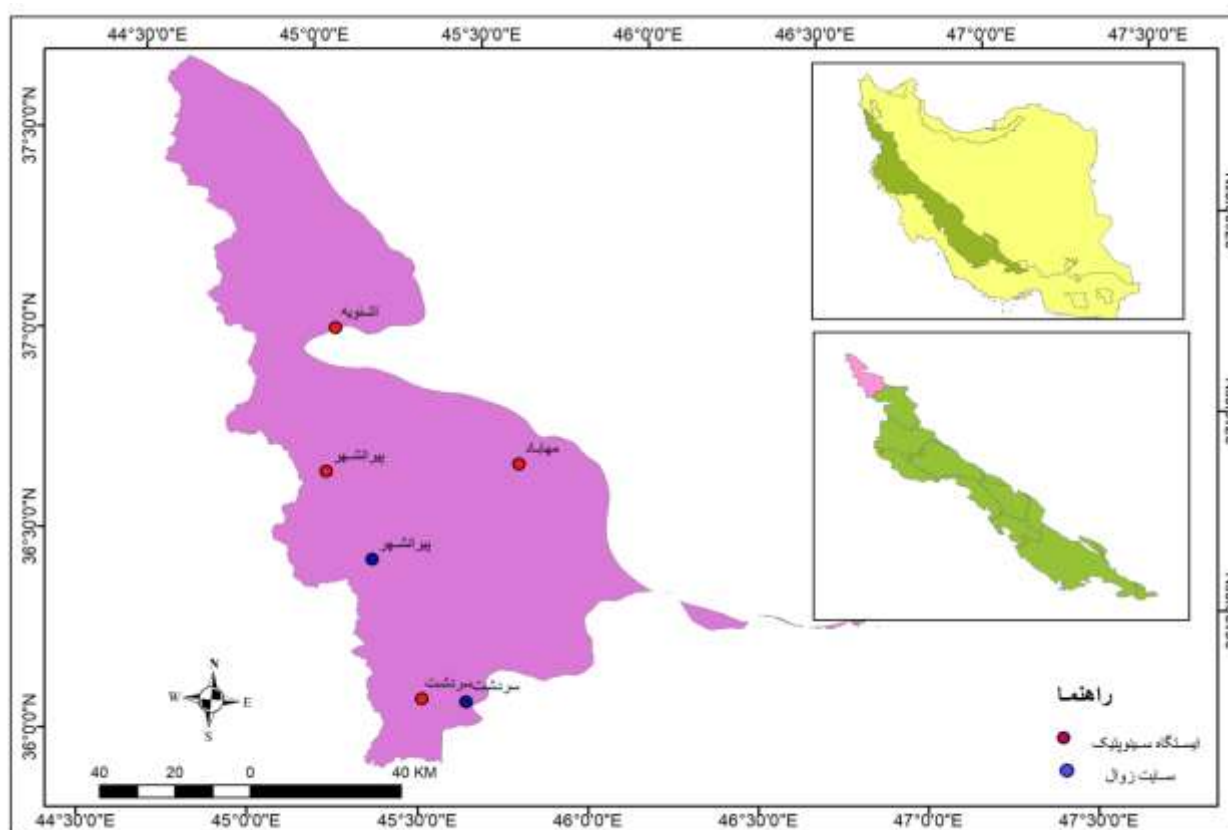
تغییر اقلیم یک واقعیت مشاهده‌شده است. تغییر در پوشش گیاهی و اکولوژیکی یکی از اثرهای نامطلوب ناشی از تغییرات آب‌وهوا است. یکی از مهم‌ترین اثرهای ثبت شده تغییر آب‌وهوا، تغییر زمان فعالیت رشد گیاهان است که به‌عنوان تغییر در فنولوژی شناخته می‌شود، تغییر در زمان

مواد و روش‌ها

۱-۳- محدوده مورد مطالعه

از مهمترین عوامل مؤثر بر زوال درختان زاگرس شمالی می‌توان به تغییر شاخص‌های اقلیمی اشاره کرد (Dolatshahi *et al.*, 2017). محدوده مورد مطالعه این تحقیق شامل دو سایت یا قطعه نمونه به ابعاد یک هکتار در محدوده جنگل‌های زاگرس شهرستان سردشت و پیرانشهر در استان آذربایجان غربی است. سایت پایش زوال پیرانشهر در نزدیکی ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر با بارش متوسط سالانه ۶۶۸/۷ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۱۴۴۳ متری از سطح دریا و سایت پایش سردشت در نزدیکی ایستگاه سینوپتیک سردشت با بارش سالانه ۸۵۴ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۳/۵

درجه سانتی‌گراد در ارتفاع ۱۵۵۶ متری از سطح دریا قرار دارد. نزدیک به هفت‌دهم درصد از جنگل‌های کشور در استان آذربایجان غربی رویش دارد. از میان ۱۷ شهرستان این استان، تنها شهرستان‌های پیرانشهر و سردشت به دلیل قرار گرفتن در ابتدای ناحیه جنگلی زاگرس دارای پوشش جنگلی می‌باشند. این دو شهرستان مملو از درختان انبوه بلوط (*Quercus*)، بته (*Pistacia atlantica*) و بادام وحشی (*Brabejum stellatifolium*) هستند. در دو دهه اخیر، درختان این منطقه به دلایل مختلف و از جمله تغییر در پارامترهای اقلیمی دچار زوال شده‌اند، یکی از مهمترین پارامترهای اقلیمی، شاخص‌های دمایی سرد است (Dargahian & Pourhashemi, 2022) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت سایت‌های زوال و ایستگاه‌های سینوپتیک برای دو سایت پیرانشهر و سردشت

Figure 1. The location of Decline sites and synoptic stations for Piranshahr and Sardasht sites

۳-۲- روش تحقیق

تغییر در آستانه‌های هواشناسی و رخداد‌های اقلیمی پیامدهای قابل ملاحظه‌ای به دنبال دارند و از جمله چالش‌های جدی جوامع، برای مقابله با اثرهای تغییرات اقلیمی هستند. در واقع، ضریب اطمینان در فراوانی، گستره و شدت برخی آستانه‌ها در قرن بیست و یکم افزایش یافته و تقاضا برای افزایش خدمات اطلاع‌رسانی در مورد آستانه‌های هواشناسی و اقلیمی بیشتر شده است. تغییر اقلیم آنجایی اتفاق می‌افتد که تغییر در برخی از آستانه‌های شرایط اقلیمی پایدار، در بیرون از وضعیت یک زنجیره از نوسانهای ثابت رخ دهد. بنابراین، پایداری در شرایط زندگی و توسعه اقتصادی وابسته به توانایی‌های ما در مدیریت خطرات مرتبط با رخداد‌های حدی است. در سال ۲۰۱۶ سازمان جهانی هواشناسی با همکاری مراکز تحقیقاتی ETCCDMI (Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices) و CCI (Commission for Climatology) شاخص‌های مشتق شده از دما را بازنگری و سری جدید آنها را تحت مجموعه ClimPACT معرفی کردند. در این تحقیق با هدف بررسی روند تغییرات شاخص‌های یخبندان از بسته نرم‌افزار ClimPACT در محیط R استفاده شده است. این شاخص‌ها توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) (World Meteorological Organization) و کمیسیون اقلیم‌شناسی (CCL) و تیم متخصص در مورد خطر آب‌وهوا و شاخص‌های خاص اقلیمی (ETCRSCI) (Expert Team on Climate

Indices) تهیه شده است و برای پایش، ارزیابی و آشکارسازی تغییر اقلیم در یک مکان یا منطقه کاربرد دارد. داده‌های روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش برای دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه پیرانشهر و دوره آماری ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۹ در ایستگاه سردشت از سازمان هواشناسی کشور گرفته شد. داده‌ها به فرمت مورد نیاز برای ورود به مدل ClimPACT آماده شد. بسته نرم‌افزاری ClimPACT در محیط R اجرا و شاخص‌های آشکارکننده تغییر اقلیم به‌عنوان خروجی مدل غربالگری شدند. شاخص‌های سرد آشکارکننده رخداد تغییر اقلیم در محدوده سایت‌های پایش زوال پیرانشهر و سردشت در استان آذربایجان غربی در زاگرس شمالی تفکیک شد. از بین آنها ۴ شاخص دمایی سرد انتخاب شد، شاخص روزهای همراه با یخبندان، روزهایی است که در آن دمای حداقل به صفر و کمتر برسد. شاخص روز همراه با یخبندان شدید، روزی است که دمای حداقل روزانه به منفی ۲ و کمتر برسد. شاخص روز همراه با یخبندان بسیار شدید، روزی است که دمای حداقل روزانه به منفی ۲۰ و کمتر برسد. روز یخی روزی است که علاوه بر دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه هم صفر و کمتر از صفر است. این شاخص‌ها در جدول ۱ آمده است. تغییرات خط شیب روند، خطای شیب روند و معنی‌داری در محدوده آماری $p\text{-value}=0.05$ محاسبه و تغییرات برای تمام شاخص‌ها در محیط نرم‌افزار R ترسیم و تجزیه و تحلیل شد (جدول ۲ و ۳).

جدول ۱- شاخص‌های سرد (یخبندان) آشکارکننده تغییر اقلیم

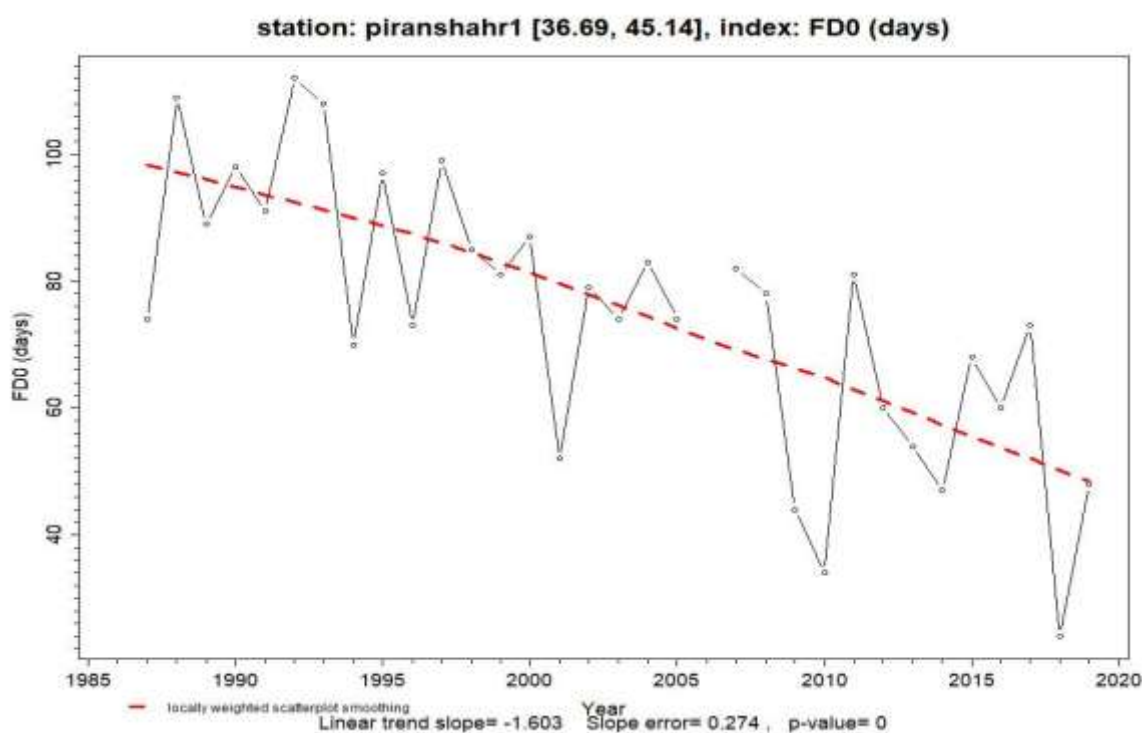
Table 1. Cold Indicators (Glaciers) Revealing Climate Change

Index	Index Name	Description
FD0	Days with frost	Annual count when $TN < 0^{\circ}C$
FDm2	Days with severe frost	Annual count when $TN < -2^{\circ}C$
FDm20	Days with extreme frost	Annual count when $TN < -20^{\circ}C$
ID0	Ice days	Annual count when $TX < 0^{\circ}C$

نتایج

تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای همراه با یخبندان بررسی شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای همراه با یخبندان در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر در محدوده سایت پایش زوال بلوط نشان داد، این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشته است. این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۴۸ روز کاهش را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که حداکثر تعداد رخداد آن در سال ۱۹۹۲ با ۱۱۲ روز و حداقل تعداد رخداد آن در

سال ۲۰۱۸ با ۲۴ روز رسیده است (شکل ۲). شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای همراه با یخبندان در ایستگاه سینوپتیک سردشت در محدوده سایت پایش زوال بلوط نشان داد، این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشته است. این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۶۳ روز کاهش را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که حداکثر تعداد رخداد آن در سال ۱۹۹۲ با ۲۴ روز و حداقل تعداد رخداد آن در سال ۲۰۱۸ با ۱۴ روز ثبت شده است (شکل ۳).

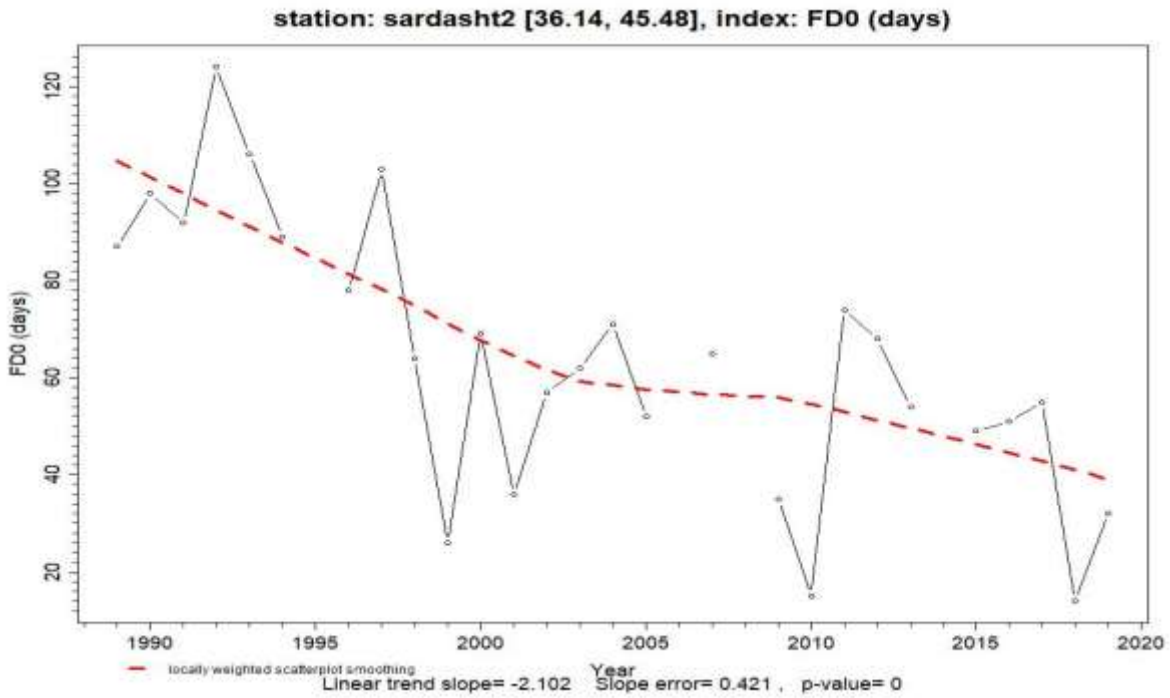


شکل ۲- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای همراه با یخبندان در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر

Figure 2. Trend changes and significance of the index of days with frost in Piranshahr synoptic station

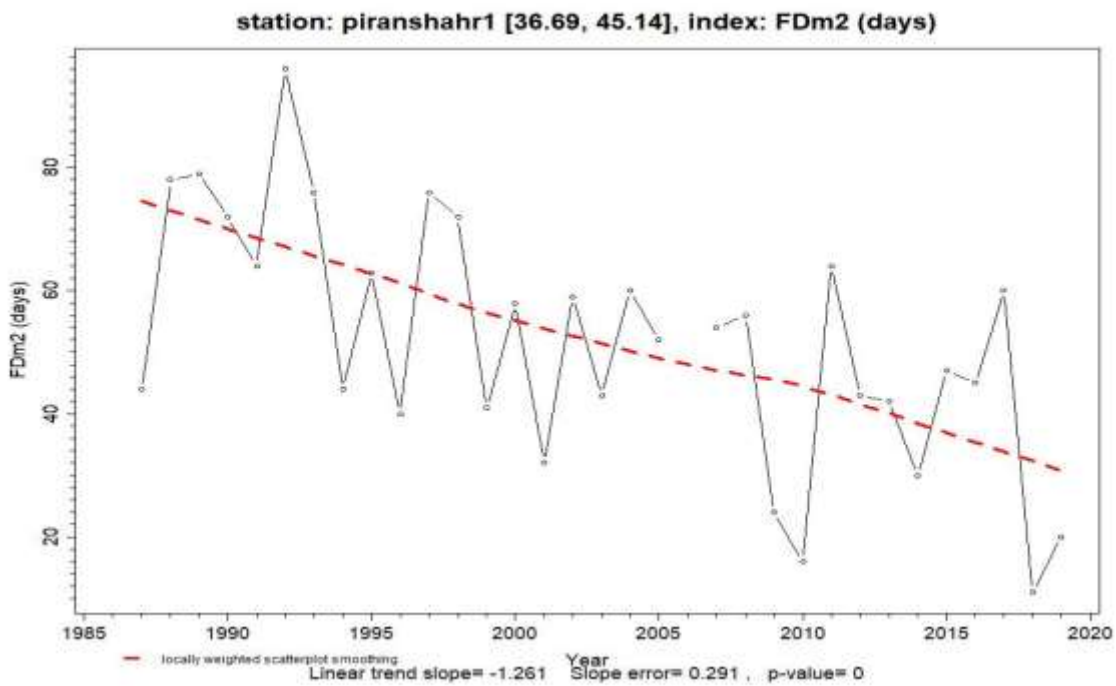
رسیده است. در شکل ۵ شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای یخبندان شدید در ایستگاه سینوپتیک سردشت در محدوده سایت زوال سردشت نشان داد، این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشته است. این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۵۶ روز کاهش داشته است. به‌طوری‌که حداکثر تعداد رخداد آن در سال ۱۹۹۲ به ۱۰۳ روز و حداقل تعداد رخداد آن در سال ۲۰۱۸ به ۶ روز رسیده است.

تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای یخبندان شدید بررسی شاخص روند تغییرات تعداد روزهای یخبندان شدید در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر در محدوده سایت زوال پیرانشهر نشان داد، این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشته است. این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۳۸ روز کاهش را نشان می‌دهد (شکل ۴). به‌طوری‌که حداکثر تعداد رخداد آن در سال ۱۹۹۲ به ۹۶ روز و حداقل تعداد رخداد آن در سال ۲۰۱۸ به ۱۱ روز



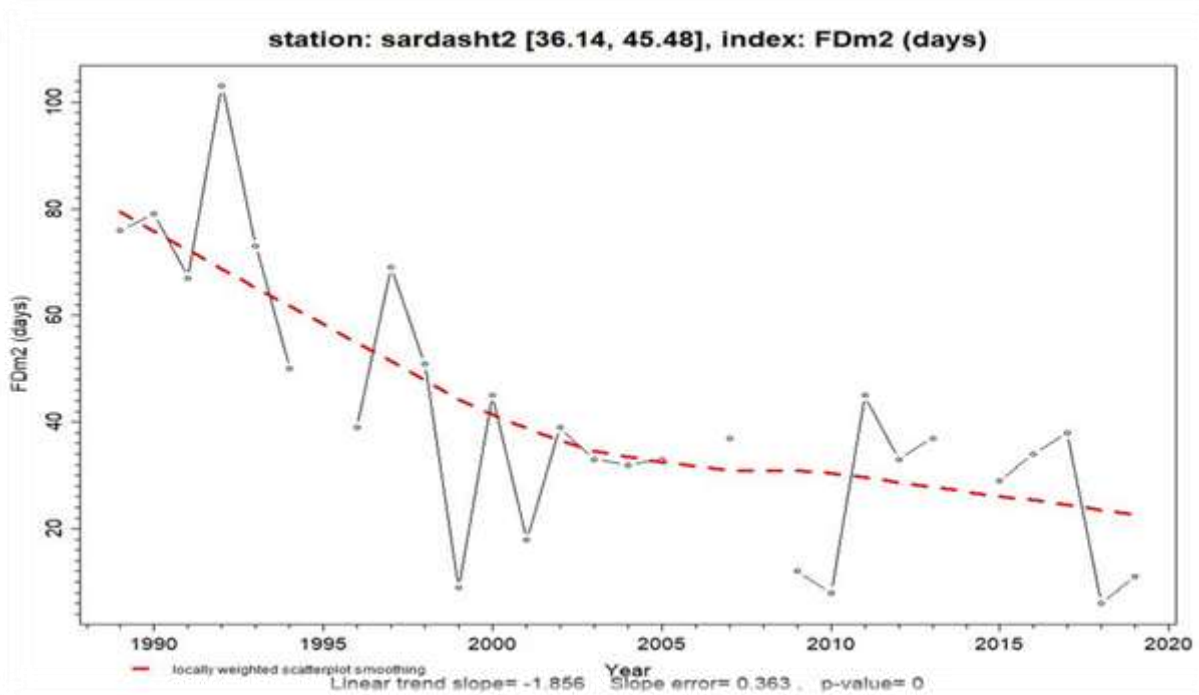
شکل ۳- تغییرات روند و معنی داری شاخص روزهای همراه با یخبندان در ایستگاه سینوپتیک سردشت

Figure 3. Changes in the trend and significance of the index of days with frost at the Sardasht synoptic station



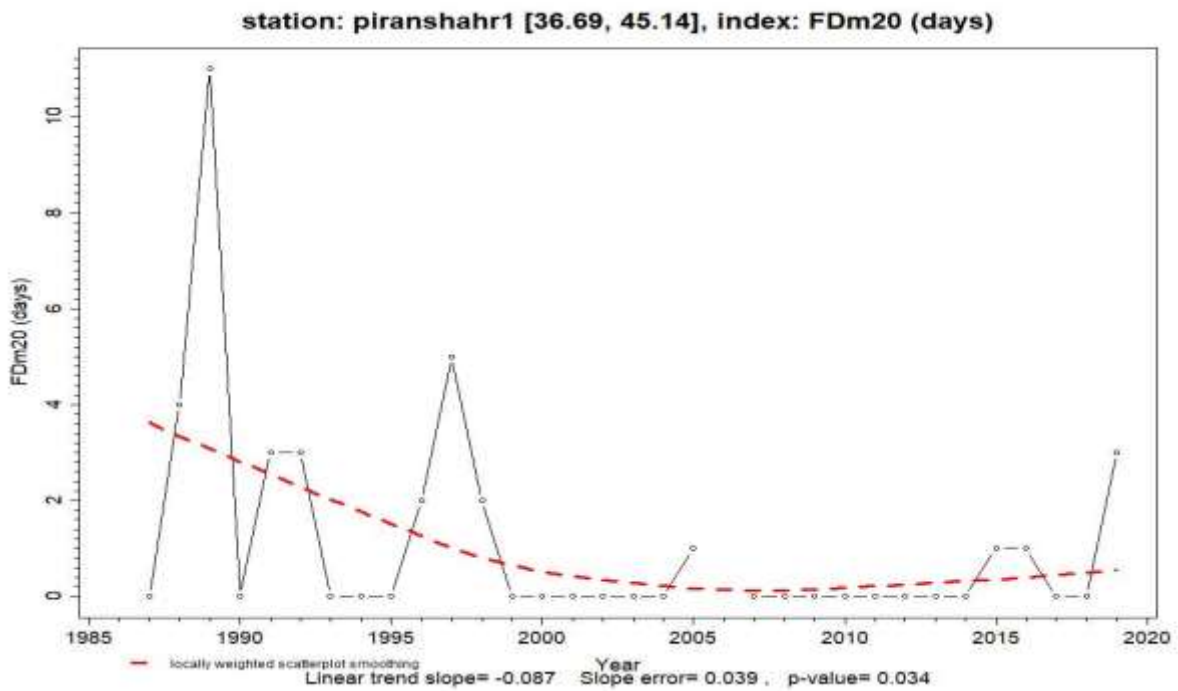
شکل ۴- تغییرات روند و معنی داری شاخص فراوانی وقوع روزهای یخبندان شدید در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر

Figure 4. Changes in the trend and significance of the frequency index of the occurrence of severe frost days in Piranshahr synoptic station



شکل ۵- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص فراوانی وقوع روزهای یخبندان شدید در ایستگاه سینوپتیک سردشت

Figure 5. Changes in the trend and significance of the index of the frequency of severe frost days in the Sardasht synoptic station

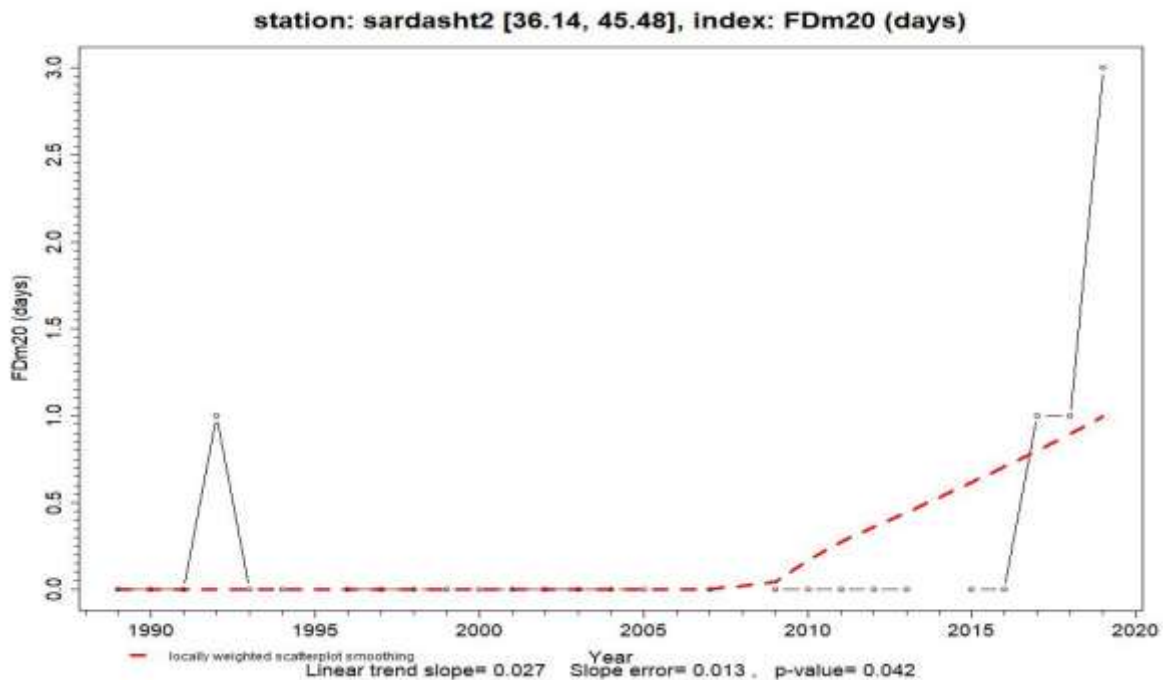


شکل ۶- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص فراوانی وقوع روزهای یخبندان بسیار شدید در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر

Figure 6. Changes in the trend and significance of the index of the frequency of very severe frost days in the Piranshahr synoptic station

روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای یخبندان بسیار شدید در ایستگاه سینوپتیک سردشت در محدوده سایت زوال نشان داد، این شاخص روند افزایشی و معنی‌دار داشته است. این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه یک روز افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در طول دوره آماری مورد مطالعه به جز در سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ این شاخص صفر گزارش شده است. حداکثر تعداد رخداد آن در سال ۲۰۱۹، سه روز بود.

تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای یخبندان بسیار شدید بررسی شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای یخبندان بسیار شدید در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر در محدوده سایت زوال نشان داد، این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشته است. این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه سه روز کاهش داشته است. به طوری که حداکثر تعداد رخداد آن در سال ۱۹۸۹ به ۱۱ روز و در بیشتر سال‌های پایانی دوره آماری مورد مطالعه به صفر رسیده است (شکل ۷). بررسی شیب خط روند، خطای شیب

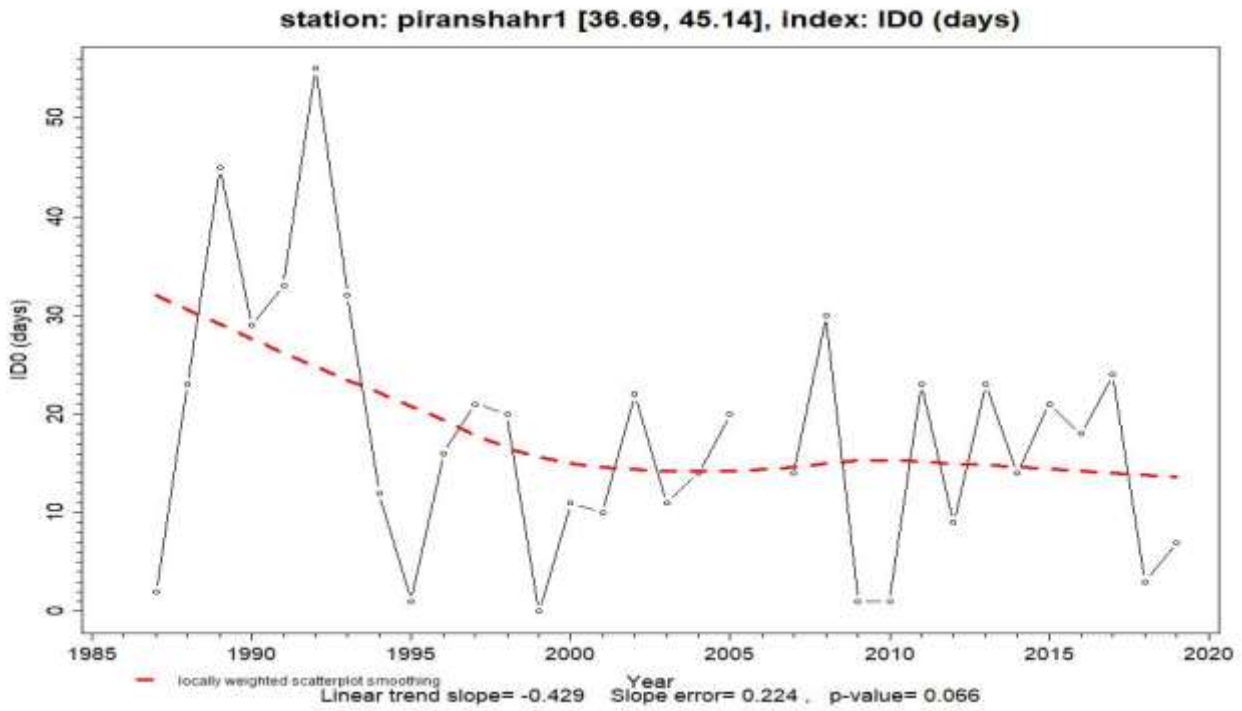


شکل ۷- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص فراوانی وقوع روزهای یخبندان بسیار شدید در ایستگاه سینوپتیک سردشت

Figure 7. Changes in the trend and significance of the index of the frequency of very severe frost days in the Sardasht synoptic station

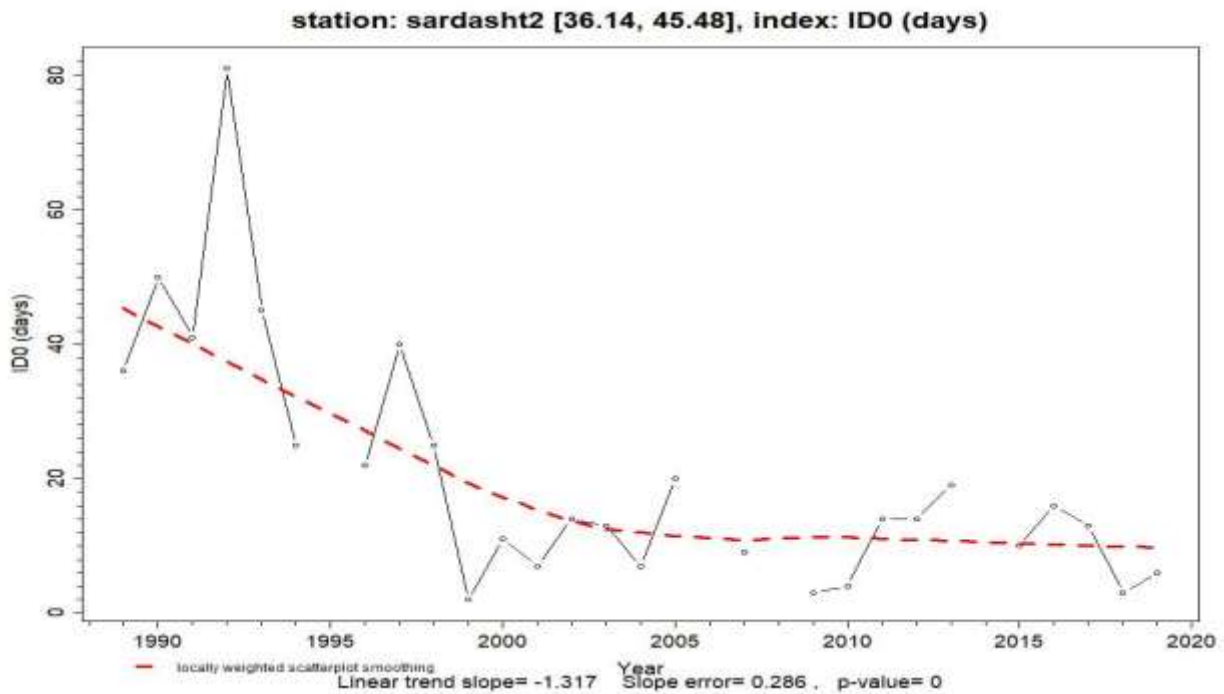
خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای یخی در ایستگاه سینوپتیک سردشت در محدوده سایت زوال بلوط نشان داد، این شاخص تغییرات روند کاهشی و معنی‌دار داشته است. این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۳۹ روز کاهش را نشان می‌دهد. حداکثر تعداد رخداد روزهای یخی در سال ۱۹۹۲، ۸۱ روز بود (شکل ۹).

تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای یخی بررسی شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای یخی در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر در محدوده سایت پایش زوال بلوط نشان داد، تعداد روزهای یخی دارای روند کاهشی و غیرمعنی‌دار و نوسانهای زیادی است. حداکثر تعداد رخداد روزهای یخی در سال ۱۹۹۲، ۵۵ روز بوه است (شکل ۸). بررسی شیب



شکل ۸- تغییرات روند و معنی داری شاخص روزهای یخی در ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر

Figure 8. Trend changes and significance of ice days' index at Piranshahr synoptic station



شکل ۹- تغییرات روند و معنی داری شاخص روزهای یخی در ایستگاه سینوپتیک سردشت

Figure 9. Changes in trend and significance of ice days' index in Sardasht synoptic station

جدول ۲- شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص‌های یخبندان در پیرانشهر

Table 2. Slope of the trend line, error of the trend slope and the significance of changes in glacial indices in Piranshahr

Index	The slope of the trend changes	Trend slope error	Meaningful
Days with frost	-1.603	0.274	0
Days with severe frost	1.261	0.291	0
Days with extreme frost	-0.087	0.039	0.03
Ice days	-0.429	0.224	0.066

جدول ۳- شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص‌های یخبندان در سردشت

Table 3. Slope of the trend line, error of the trend slope and the significance of the changes in the glacial indices in Sardasht

Index	The slope of the trend changes	Trend slope error	Meaningful
Days with frost	-2.102	0.421	0
Days with severe frost	1.856	0.363	0
Days with extreme frost	0.027	0.013	0.04
Ice days	-1.317	0.286	0

بحث

(*al.*, 2017). روابط بین ناهنجاری‌های آب‌وهوایی و زوال بلوط براساس مشاهدات میدانی در آبنین لوکانیان (جنوب ایتالیا) در سال ۲۰۱۷ میلادی نشان داد، کاهش شدید بارندگی در نیمه اول سال نقش مهمی در زوال درختان بلوط داشته است (Conte *et al.*, 2019). آشکارسازی تغییرات اقلیمی طی سه دهه در زاگرس نشان داد، شاخص‌های گرم (Dargahian & Pourhashemi, 2021) و شاخص‌های سرد در زاگرس (Dargahian & Pourhashemi, 2022) و از جمله منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، تغییرات معنی‌دار داشته‌اند. در بین شاخص‌های سرد اقلیمی چهار شاخص رخداد روزهای یخبندان، یخبندان‌های شدید و بسیار شدید و روز یخی بررسی شد. نتایج نشان داد تمام این شاخص‌ها در منطقه جنگل‌های پیرانشهر و سردشت دارای روند کاهشی و معنی‌دار و در سردشت نسبت به پیرانشهر شدیدتر بود. هرچند پیش‌ازین رخداد یخبندان بسیار شدید در محدوده سردشت وجود نداشته، در سال‌های اخیر یک تا سه

امروزه یکی از مهمترین چالش‌های محیط‌های طبیعی ایران، زوال جنگل‌های بلوط زاگرس است، عوامل متعددی در زوال این بوم‌سازگان طبیعی مؤثر بوده و هست، اما عوامل اقلیمی را به دلیل مساعد کردن سایر عوامل و شرایط زوال، می‌توان به‌عنوان مهمترین عوامل در نظر گرفت، زیرا تمام عوامل زیستی و غیرزیستی مؤثر بر زوال، تحت‌الشعاع تغییر عوامل اقلیمی است که در دو دهه اخیر تغییر اساسی کرده است. بنابراین، از مهمترین عوامل مؤثر بر زوال درختان زاگرس می‌توان به تغییر شاخص‌های اقلیمی اشاره کرد (Dolatshahi *et al.*, 2017; Attarod *et al.*, 2017)؛ که چنین یافته‌هایی از خارج از کشور نیز گزارش شده است. برای نمونه، علت کاهش درختان بلوط منطقه مدیترانه در پژوهشی بررسی شد، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد، علت اصلی این کاهش عوامل مختلف زیستی و غیرزیستی، از جمله تغییرات آب‌وهوایی بوده است (Kim *et al.*

ذخیره آب زیرزمینی و تأمین آب شیرین و کاهش اثرها و کند شدن تغییرات اقلیمی آذربایجان غربی دارد، بنابراین باید به هر نحو ممکن و با استفاده از همه توان علمی، فنی، مدیریتی و اجرایی برای حفظ این منابع طبیعی تلاش کرد. اطلاع و درک چگونگی این تغییرات، مدیران اکوسیستم جنگلی زاگرس را برای حفظ و احیای این بوم‌سازگان ارزشمند و نوع و نحوه مبارزه با آفات یاری می‌کند.

سپاسگزاری

این مقاله از طرح آشکارسازی روند تغییر اقلیم و پایش خشک‌سالی و گردوغبار در سایت‌های زوال جنگل‌های زاگرس استخراج شده است. نویسندگان از معاون محترم پژوهشی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور قدردانی می‌نمایند.

فهرست منابع

- Abedi-Koupai, J., Rahimi, S. and Eslamian, S., 2021. Effects of Climate Change on the Probability of Occurrence of the First Fall Frost and the Last Spring Frost (Case Study: Isfahan). *Journal of Water and Soil Science*, 25(3): 31-44 (In Persian).
- Aghashariatmadari, Z., Bazrafshan, J. and Safaei, E., 2016. Projection of the early fall and late spring frosts under climate change condition with SDSM model in several selected stations in the mid-western Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 4(1): 22-31.
- Ahadi, M., sobhani, B. and Kowsari Mehr, S., 2023. Perspective on the timing occurrence of early fall and late spring frosts affecting agriculture on climate change (Case Study: Ardabil Plain), (80)22: 31-46 (In Persian).
- Asgari, S, Razi, T., Hosini, A. and Najafifar, A., 2021. Temporal-Spatial Analysis of drought and Oak Trees Dieback of Zagros Forests in Ilam Province Ecology of Iranian Forest. *Ecology of Iranian Forests*, 9(17): 86-96.
- Atapour, M., 2015. Overwintering and cold tolerance in pupae of large cabbage white, *Pieris brassicae* (Lepidoptera: Pieridae) in Iran. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 46(2): 269-276 (In Persian).
- Azarakhshi, M., Farzadmehr, J., Eslah, M. and Sahabi, H., 2013. An Investigation on Trends of Annual and Seasonal Rainfall and Temperature in

مورد به‌صورت رخدادهای حدی که از ویژگی‌های تغییر اقلیم است، رخ داده است. کاهش روند معنی‌دار شاخص‌های یخبندان در این منطقه از اکوسیستم زاگرس نشان می‌دهد، محدودیت زمستان‌گذرانی بسیاری از آفات و بیماری‌ها کم شده و زمینه برای رشد آفات و بیماری‌ها در این اکوسیستم همزمان با فراهم بودن سایر شرایط، مهیا شده است (Atapour, 2015). تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده طی سه سال آماربرداری از قطعات پایش زوال در رویشگاه‌های جنگلی زاگرس نشان داد، پدیده زوال گونه‌های درختی استمرار دارد و هرساله با پیشرفت زوال، از تعداد پایه‌های درختی با طبقات سالم، کاسته و بر تعداد پایه‌هایی با شدت خشکیدگی بیشتر افزوده می‌شود. کاهش تعداد پایه‌های سالم که با شدت‌های مختلف در سراسر گستره زاگرس (از شمال به جنوب) در حال وقوع است، حکایت از درگیری درختان بلوط با تنش‌های محیطی دارد (Jahanbazi et al., 2022). از جمله تنش‌های محیطی، افزایش دما و کاهش شاخص‌های یخبندان است. کاهش شرایط یخبندان منجر به ذوب سریع برف و تبدیل سریع آن به رواناب می‌شود، در نتیجه بارش‌ها فرصت نفوذ در زمین و منطقه ریشه درختان را نخواهند داشت. کاهش رطوبت خاک از ریشه به برگ درختان سبب خشک شدن آنها می‌شود که در سراسر دنیا به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در زوال بلوط معرفی شده است (Choat et al., 2012). بنابراین، کاهش روزهای یخبندان و یخبندان‌های شدید و بسیار شدید و روزهای یخی می‌تواند منجر به تنش رطوبتی در محیط ریشه درختان شود. تنش رطوبتی در رویشگاه بلوط به حمله آفات و حشرات می‌انجامد (Sierpiński & Hilszczański, 2006). با توجه به روند افزایش دما در سال‌های آینده و براساس مدل‌های اقلیمی به‌ویژه گزارش تغییرات اقلیمی که در سال ۲۰۲۲ منتشر شده است، شاخص‌های یخبندان به روند کاهشی خود ادامه می‌دهند و زمینه را برای تنش‌های دمایی و رطوبتی درختان و نیز رشد و طغیان بیشتر آفات و بیماری‌های جنگل فراهم می‌کنند. جنگل‌های زاگرس به‌ویژه درختان بلوط در پیرانشهر و سردشت اهمیت بسزایی در پوشش منابع طبیعی،

- Easterling, D.R., 2002. Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States, American Meteorological Society, 83: 1327-1332.
- Fathian, F., Ghadami, M. and Dehghan, Z., 2023. Spatial Analysis of Extreme Temperature Indices under Climate Change Based on CORDEX Data and a Developed Bias Correction Method in Iran. Journal of Water and Soil Science, 26(4): 137-160.
- Fallah, A. and Haidari, M., 2018. Investigating the Oak Decline in different Crown-Dimensions in Middle Zagros Forests (Case Study: Ilam). Ecology of Iranian Forest, 6(12): 9-17.
- Haokip, S.W., Shankar, K. and Lalrinnggheta, J., 2020. Climate change and its impact on fruit crops. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(1), 435-438.
- Jahanbazi, H., Pourhashemi, M., Iranmanesh, Y., Khanhasani, M., Heidari, M., Rahimi, H., Zarafshar, M., Asgari, Y., Karamian, R., Negahdar Saber, M.R., Mehdifar, D., Henare Khaliani, J., Rasahidi, F., Hosseini, A. and Tahmasbi, M., 2022. Oak decline trend in the forest habitats of Zagros. Iran Nature, 7(5): 7-11.
- Jahanbakhsh Asl, S., Rashedi, S. and Eslahi, M., 2017. Analyzing of Freezing Return Period and Temporal Distribution (Case Study: Maraghe). Geography and Planning, 20 (58): 83-100.
- Koocheki, A., Nasiri mahalati, M. and Jafari, L., 2015. Evaluation of Climate Change Effect on Agricultural Production of Iran: I. Predicting the Future Agroclimatic Conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 13(4): 651-664.
- Kim, H.N., Jin, H.Y., Kwak, M.J., Khaine, I., You, H.N., Lee, T.Y. and Woo, S.Y., 2017. Why does Quercus suber species decline in Mediterranean areas? Journal of Asia-Pacific Biodiversity, 10(3): 337-341.
- Khalili, A., Rahimi, J. and Bazrafshan, J., 2016. Quantitative projection of the probable impacts of climate change on date and damage risk of late spring frost during 21st century over Iran. Journal of Agricultural Meteorology, 4(2): 380-48.
- Karamian, M. and Mirzaei, J., 2020. The Most Important Factors Affecting Persian Oak (Quercus brantii) Decline in Ilam Province. Ecology of Iranian Forest, 8(15): 93-103.
- Kalhor, E., Nouri, H. and Ildoromi, A., 2018. Climate Change Effects on Soil Freezing Depth in a Mountainous Region and a Semi-Arid Climate on the Malayer Plain. Watershed Management Research Journal, 31(3): 40-55 (In Persian).
- Mesgari, E., Tavousi, T. and Mahmoudi, P., 2020. Modeling Topo-Climatology and Zoning Frost Statistical Indices in Kurdistan Province. Geography Different Climatologically Regions of Iran. Journal of Range and Watershed Management, 66(1): 1-16.
- Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Pypker, T.G. and Bayramzadeh, V., 2017. Oak trees decline; a sign of climate variability impacts in the west of Iran. Caspian Journal of Environmental Sciences, 15(4): 273-284 (In Persian).
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T.J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R. and Zanne, A.E., 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. Nature, 491(7426): 752-755.
- Colangelo, M., A.Rita, M. Borghetti, J. Julio Camarero, T. Gentilesca, O. Pericolo. and F. Ripullone., 2020. Drought-induced decline in oak Mediterranean forests: insights from wood anatomical traits. In EGU General Assembly Conference Abstracts, p. 18443.
- Conte, A.L., Di Pietro, R., Iamónico, D., Di Marzio, P., Cillis, G., Lucia, D. and Fortini, P., 2019. Oak decline in the Mediterranean basin: a study case from the southern Apennines (Italy). Plant Sociology, 56(2): 69-80.
- D'Andrea, E., Rezaie, N., Prislán, P., Gričar, J., Collalti, A., Muhr, J. and Matteucci, G., 2020. Frost and drought: effects of extreme weather events on stem carbon dynamics in a Mediterranean beech forest. Plant, Cell & Environment, 43(10): 2365-2379.
- Darand, M., 2015. Assessment and Detection of Climate change in Iran during Recent Decades. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 9(30): 1-14.
- Dargahian, F. and Pourhashemi, M., 2022. Detection of climate change based on cold temperature indices in the forest ecosystem of Central Zagros. Forest Research and Development, 8(2): 197-215 (In Persian).
- Dargahian, F., Gohardost, A., Razavi Zadeh, S. and Lotfi Nasab Asl, S., 2022. Investigation of the occurrence of drought in oak decay monitoring sites in Chaharmahal and Bakhtiari province. The Fourth National Conference of Iran's Forest. Tehran University of Natural Resources, Karaj, March 20 and 21.
- Dargahian, F., and Pourhashemi, M. 2021. Detection of Climate Change Based on Warm Temperature Indices in Zagros Forest Ecosystem; Chaharmahal and Bakhtiari Province. Iranian Journal of Applied Ecology, 10(3): 81-99 (In Persian).
- Dolatshahi, A., Attarod, P., Zahedi, G., Sadeghi, M. and Bayramzadeh, V., 2017. Trends of meteorological parameters and reference evapotranspiration in the northern Zagros region. Forest and Wood Products, 70(2): 251-260 (In Persian).

- California orchard crops. *Science of the Total Environment*, 762: 143971.
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I.P., Lešić, V. and Lemić, D., 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5): 440.
 - Sari Sarraf, B., Khorshiddoust, A.M., Mahmoudi, P. and Daraei, M., 2017. Prospect of Possible Changes in the Frequency of Frost Days in Iran Using General Atmospheric Circulation Models. *Physical Geography Research Quarterly*, 49(4): 571-584 (In Persian).
 - Shiravand, H., Khaledi, S., Behzadi, S. and Sanjabi, H.A., 2020. Monitoring and Assessing the Changes in the Coverage and Decline of Oak Forests in Lorestan Province using Satellite Images and BFAST Model. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 20(57): 265-280 (In Persian).
 - Sierpiński, A. and Hilszczański, J., 2006. *Agrilus* sp.- a main factor in oak decline. Possible limitation of decline phenomena in broadleaved stands, 159-161.
 - Valavi, R., Shafizadeh-Moghadam, H., Matkan, A., Shakiba, A., Mirbagheri, B. and Kia, S.H., 2019. Modelling climate change effects on Zagros forests in Iran using individual and ensemble forecasting approaches. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(1): 1015-1025.
 - and Planning, 24(72): 357-383 (In Persian).
 - Mahmoudi, P., Khosravi, M., Masoodian, S. and Alijani, B., 2016. Studying the Trend of Changes in the Frequency of Days with Frost-pervasive and Semi-Pervasive Conditions. *Geography and Planning*, 19(54): 303-327.
 - Masoudian, S.A. and Darand, M., 2015. Review the Trend of Frosty Days in Iran. *Geography and Development*, 13(39): 49-60.
 - Ma, Q., Huang, J.G., Hänninen, H. and Berninger, F., 2019. Divergent trends in the risk of spring frost damage to trees in Europe with recent warming. *Global Change Biology*, 25(1): 351-360.
 - Motlagh, M.G. and Kiadaliri, M., 2021. Zoning of Areas with Susceptibility to Oak Decline in Western Iran. *Quaestiones Geographicae*, 40(1): 75-83.
 - Modala, N.R., Ale, S., Goldberg, D. W., Olivares, M., Munster, C.L., Rajan, N. and Feagin, R.A., 2016. Climate change projections for the Texas High Plains and Rolling Plains. *Theoretical and Applied Climatology*, 124: 1 -18.
 - Ogaya, R., Liu, D., Barbeta, A. and Peñuelas, J., 2020. Stem mortality and forest dieback in a 20-years experimental drought in a Mediterranean holm oak forest. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2: 89.
 - Parker, L., Pathak, T. and Ostojica, S., 2021. Climate change reduces frost exposure for high-value