

رخدادهای تغییر اقلیم بر اساس شاخص‌های دمایی سرد در اکوسیستم جنگلی زاگرس مرکزی

فاطمه درگاهیان*^۱ و مهدی پورهاشمی^۲

۱- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (dargahian@rifr-ac.ir)
۲- دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (pourhashemi@rifr-ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸

چکیده

یکی از فرض‌های مطرح‌شده درباره پدیده زوال جنگل، تغییر شاخص‌های اقلیمی است. در این پژوهش، به منظور آشکارسازی رخدادهای تغییر اقلیم در جنگل‌های زاگرس مرکزی (استان چهارمحال و بختیاری) از شاخص‌های دمایی سرد آشکارکننده تغییر اقلیم استفاده شد. داده‌های اقلیمی روزانه شامل بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه برای دوره آماری ۱۳۶۹-۱۳۹۸ در نزدیک‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک به سایت‌های پایش زوال چیگو، قلعه‌سماح، رحیم‌آباد و گل سفید استخراج شدند. پیش از محاسبه شاخص‌ها، داده‌های ورودی روزانه از نظر کیفیت و همگن بودن بررسی شده و به فرمت مورد نظر برای ورود به نرم‌افزار ClimPACT آماده شد. از بین شاخص‌های استاندارد جهانی آشکارکننده رخدادهای تغییر اقلیم شاخص‌های دمایی سرد، دو روز و دو شب متوالی سرد، تعداد روزهای همراه با یخبندان، تعداد روزهای یخی، درصد فراوانی شب‌های سرد، درصد فراوانی روزهای سرد، دوره سرد دوروزه و دوره سرد شش‌روزه استخراج و تحلیل شدند. تمام شاخص‌های سرد آشکارکننده تغییر اقلیم روند کاهشی و معنی‌داری را نشان دادند و بیشترین کاهش را در دهه آخر به‌ویژه سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ تجربه کردند. درصد کاهش شاخص‌های دمایی سرد شبانه بیشتر از شاخص‌های دمایی سرد روزانه بود. برخی از شاخص‌ها در تمام سایت‌های پایش زوال به‌ویژه در دهه اخیر به شدت کم و تاحدودی محو شدند و با توجه به تداوم افزایش دما در آینده احتمالاً تکرارناپذیر خواهند بود. آگاهی و شناخت رخدادهای تغییر اقلیم در اکوسیستم جنگلی زاگرس بر اساس شاخص‌های استاندارد جهانی آشکارکننده رخدادهای تغییر اقلیم می‌تواند به مدیریت حفظ و احیا جنگل از طریق روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم کمک کند.

واژه‌های کلیدی: حفظ و احیا جنگل، زوال جنگل، سازگاری اقلیمی، ClimPACT.

مقدمه

ضعیف کردن درختان توان تقابل و ماندگاری آن‌ها را در برابر تنش‌های رویشگاهی و عوامل بیماری‌زا کاهش می‌دهند (Bedrood et al., 2021).

پژوهش‌های زیادی کاهش مساحت و زوال جنگل‌های زاگرس را مورد بررسی قرار داده‌اند. برای نمونه، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در جنگل‌های دشت برم استان فارس نشان داد که مقدار تاج‌پوشش درختان بلوط از دوره پیش از زوال تا زمان پس از شیوع آن، روند کاهشی داشته است (Naseri et al., 2020). در پژوهش دیگری مشخص شد که تنش‌های ناشی از خشکسالی و گردوغبار سبب ضعف فیزیولوژیک درختان بلوط شده است، به طوری که حملات حشرات و عوامل بیماری‌زا منجر به زوال درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس شده است (Mahdavi et al., 2018).

از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زوال درختان زاگرس می‌توان به تغییر شاخص‌های اقلیمی اشاره کرد (Attarod et al., 2016a, b, 2017; Dolatshahi et al., 2017) که چنین یافته‌های نیز در پژوهش‌های خارجی گزارش شده است. برای نمونه، بررسی علت کاهش درختان بلوط منطقه مدیترانه نشان داد که علت اصلی آن عوامل مختلف زیستی و غیرزیستی مانند تغییرات آب‌وهوایی بوده است (Kim et al., 2017). روابط بین ناهنجاری‌های آب‌وهوایی و زوال بلوط براساس مشاهدات میدانی در آپنین‌لوکانیان (جنوب ایتالیا) در سال ۲۰۱۷ میلادی نشان داد که کاهش شدید بارندگی در نیمه اول سال نقش مهمی در زوال درختان بلوط داشته است (Conte et al., 2019). اثر متغیرهای اقلیمی دما و بارش بر پهنای حلقه‌های رویشی درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در ناحیه زاگرس مرکزی نشان داد که به علت گرم و خشک بودن منطقه، بارندگی و دما به-

در دهه‌های گذشته افزایش رویدادهای گزارش شده مربوط به مرگ‌ومیر درختان ناشی از خشکسالی نشان می‌دهد که چگونه تغییرات آب‌وهوایی در حال تغییر اکوسیستم‌های جنگلی در سراسر جهان است (Acacio et al., 2021). کاهش تعداد درختان در جنگل‌های بلوط منطقه مدیترانه پیامد اثرهای منفی هم‌زمان تغییرات آب‌وهوا و استفاده بیش از حد زمین توسط انسان است (Moreno-Fernández et al., 2019). آسیب‌پذیری در برابر رخداد تغییر اقلیم به شدت تحت تأثیر تفاوت‌های منطقه‌ای در تأثیرات آب‌وهوایی و ظرفیت سازگاری در برابر این تغییرات است (Swanston et al., 2018). در شرایط تغییرات آب‌وهوایی، شدت و مدت دوره‌های خشکسالی در بسیاری از مناطق به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش می‌یابد. در حوضه مدیترانه و به‌ویژه در مناطقی مانند تونس که در آن آب‌وهوا با تابستان‌های گرم و خشک مشخص می‌شود، مرگ‌ومیر و کاهش جنگل‌های بلوط به دلیل اثرهای تغییرات آب‌وهوایی تشدید شده است (Waitz and Sheffer, 2021). در جنگل‌های معتدله، زوال و کاهش رشد درختان بلوط می‌تواند با تغییرات آب‌وهوایی مانند دوره‌های خشک و سرد آغاز شده و با گرم شدن آب‌وهوا و افزایش تنش خشکسالی تقویت شود (Camarero et al., 2021). بنابراین، کاهش مساحت جنگل و زوال درختان یک نگرانی جهانی است و جنگل‌های ایران از این امر مستثنی نیست و به‌همین دلیل یکی از چالش‌های بزرگ محیط‌های طبیعی ایران در دو دهه اخیر زوال درختان به‌ویژه در ناحیه رویشی زاگرس بوده است (Pourhashemi and Sadeghi, 2020). این پدیده معلول عوامل متعددی است. بااهمیت‌ترین عوامل زوال درختان، عوامل بیرونی هستند که با

در توده‌های جنگلی بلوط استان ایلام نشان داد که به-تقریب از سال ۱۳۸۰ به بعد، رویش کاهش پیدا کرده و از سوی دیگر افزایش گردوغبار، افزایش دما و کاهش بارندگی سالیانه موجب شده تا با توجه به استعداد منطقه، گونه‌های بلوط ایرانی دچار استرس و تنش شوند (Ahmadi et al., 2018). بررسی تغییر غلظت عناصر شیمیایی موجود در چوب درختان زوال‌یافته بلوط ایرانی نسبت به درختان سالم نشان داد که از میان عوامل متعدد، بروز پدیده زوال بیشتر تحت تأثیر عوامل آب‌وهوایی است (Ostakh et al., 2019). بررسی پراکنش شدت زوال جنگل‌های بلوط همبستگی منفی با رطوبت خاک داشت (Mozafari et al., 2019). در بررسی مقایسه بیماری‌زایی بیمارگرهای عامل سرخشکیدگی و زوال درختان بلوط در استان کرمانشاه، مشخص شد که احتمال ارتباط این بیمارگرها با پدیده خشکسالی و گرمایش جهانی وجود دارد (Sabernasab et al., 2020). بررسی وضعیت زوال درختان بلوط ایرانی در منطقه کوهمره استان فارس نشان داد که عامل رطوبت در ریزوسفر ریشه نقش مهم و کلیدی در شیوع زوال درختان بلوط دارد (Zarafshar et al., 2020). در بررسی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زوال جنگل‌های بلوط استان ایلام بیشترین وزن به معیار خشک‌سالی و تغییر اقلیم اختصاص داشت (Karamian and Mirzaei, 2020).

زوال جنگل‌های بلوط در زاگرس از اواخر دهه ۸۰ به صورت تک‌پایه‌ای شروع شد، اما اکنون به شکل توده‌ای جنگل را به شدت تحت تأثیر قرار داده و با گذشت زمان، گستره مناطق درگیر با این پدیده افزایش یافته است (Pourhashemi and Sadeghi, 2020). عوامل متعدد زیستی و غیرزیستی در زوال جنگل‌های بلوط نقش داشته‌اند. ارتباط زوال با برخی از عوامل مانند عوامل فیزیوگرافی (Mirzaei et al.,

ترتیب تأثیر مثبت و منفی بر رویش شعاعی درختان داشته‌اند (Sousani et al., 2014). بررسی روند تغییرات پوشش‌های جنگلی استان ایلام در ارتباط با تغییرات بارش نشان داد که یکی از عوامل اصلی زوال و کاهش سبزی‌نگی در جنگل‌های این منطقه، کاهش معنی‌دار بارش و ایجاد تنش خشکی در مقیاس سالانه و به‌ویژه فصل رشد است (Azizi et al., 2015). بررسی ارتباط بین عوامل اقلیمی و تبخیرتورق مرجع با زوال جنگل‌های زاگرس در استان لرستان نشان داد که یکی از مهم‌ترین دلایل زوال بوم‌سازگان جنگلی زاگرس، می‌تواند تغییر عوامل اقلیمی و تبخیرتورق مرجع در طی زمانی کوتاه باشد (Attarod et al., 2016b). ازدست‌رفتن سریع رطوبت خاک و تشدید اثر تنش‌های رطوبتی به‌وقوع پیوسته از عوامل مؤثر بر زوال بلوط ایرانی بوده است (Hosseinzade and Pourhashemi, 2017). با استفاده از روش اقلیم-شناسی درختی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر توده‌های سالم و متأثر از زوال بلوط ایرانی در شهرستان خرم‌آباد نشان داد که با بهبود شرایط اقلیمی امکان ازسرگیری رویش در درختان زوال‌یافته وجود نداشت (Poursartip et al., 2017). در پژوهش دیگری، ارتباط بین تغییر شاخص‌های اقلیمی و تبخیرتورق مرجع با زوال اکوسیستم‌های جنگل در ناحیه زاگرس شمالی تا حدودی تأیید شد (Dolatshahi et al., 2017). در منطقه ایلام ارتباط مستقیم بین شاخص اقلیمی بارش با سبزی‌نگی درختان منطقه مشاهده شد (Nassaji-Zavareh, et al., 2017). شناسایی مناطق جنگلی مستعد زوال در استان لرستان نشان داد که عوامل اقلیمی شاخص خشکی، بارش، دما و تبخیرتورق به‌ترتیب بیشترین تأثیرگذاری را در زوال داشتند (Ghadirian et al., 2018). بررسی عوامل اقلیمی تأثیرگذار بر اساس دوایر سالیانه رویشی درختان

توجه به وسعت جنگل‌های بلوط این استان، چهار سایت پایش زوال در این استان برای بررسی انتخاب شده است (جدول ۱). سایت‌های پایش زوال چیگو در دامنه شمالی در ارتفاع ۱۹۹۰ متر و قلعه‌سماع در دامنه جنوبی در ارتفاع ۱۶۱۷ متر از سطح دریا در نزدیکی ایستگاه سینوپتیک لردگان با بارش متوسط سالانه ۵۷۳ میلی‌متر، متوسط دمای بیشینه سالانه ۲۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای کمینه سالانه ۶/۵ درجه سانتی‌گراد و سایت‌های پایش زوال رحیم‌آباد در دامنه شمالی در ارتفاع ۱۸۵۳ متر و گل‌سفید در دامنه جنوبی در ارتفاع ۱۷۶۴ متر از سطح دریا در نزدیکی ایستگاه سینوپتیک لردگان با بارش متوسط سالانه ۶۳۳، متوسط دمای بیشینه سالانه ۱۹/۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای کمینه سالانه ۶ درجه سانتی‌گراد به‌منظور پایش و آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم در محدوده جنگل‌های اسن استان انتخاب شدند (شکل ۱).

برای آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم در سایت‌های پایش زوال زاگرس در استان چهارمحال و بختیاری از شاخص‌های استاندارد جهانی تعریف شده توسط تیم متخصص در تشخیص و شاخص‌های تغییر آب‌وهوا (ET CCDI) و تیم متخصص در مورد خطر آب‌وهوا و شاخص‌های اقلیمی ویژه هر بخش (ET CRSCI) استفاده شد (Alexander et al., 2013). برای این منظور، داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به سایت‌های پایش زوال مورد استفاده قرار گرفتند. ایستگاه سینوپتیک لردگان در فاصله ۱۷ کیلومتری سایت زوال چیگو (زوال دامنه شمال) و در فاصله ۲۴ کیلومتری سایت زوال قلعه‌سماع (زوال دامنه جنوبی) قرار دارد. ایستگاه سینوپتیک اردل در فاصله ۱۰ کیلومتری سایت زوال گل‌سفید (زوال دامنه

خاک (Fallah and Haidari, 2018) و جهت و موقعیت مکانی (Goodarzi et al., 2016) در قسمت‌های مختلف زاگرس بررسی شده است. یکی از مهم‌ترین عوامل زوال، می‌تواند تغییرات اقلیمی باشد. تغییر اقلیم و به‌ویژه تغییرات دما با افزایش تبخیر و کاهش رطوبت زمینه لازم برای حضور آفات و بیماری‌ها را فراهم کرده است، بنابراین در این پژوهش سعی شده است شاخص‌هایی دمایی سرد آشکارکننده تغییر اقلیم در سایت‌های پایش زوال در استان چهارمحال و بختیاری استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

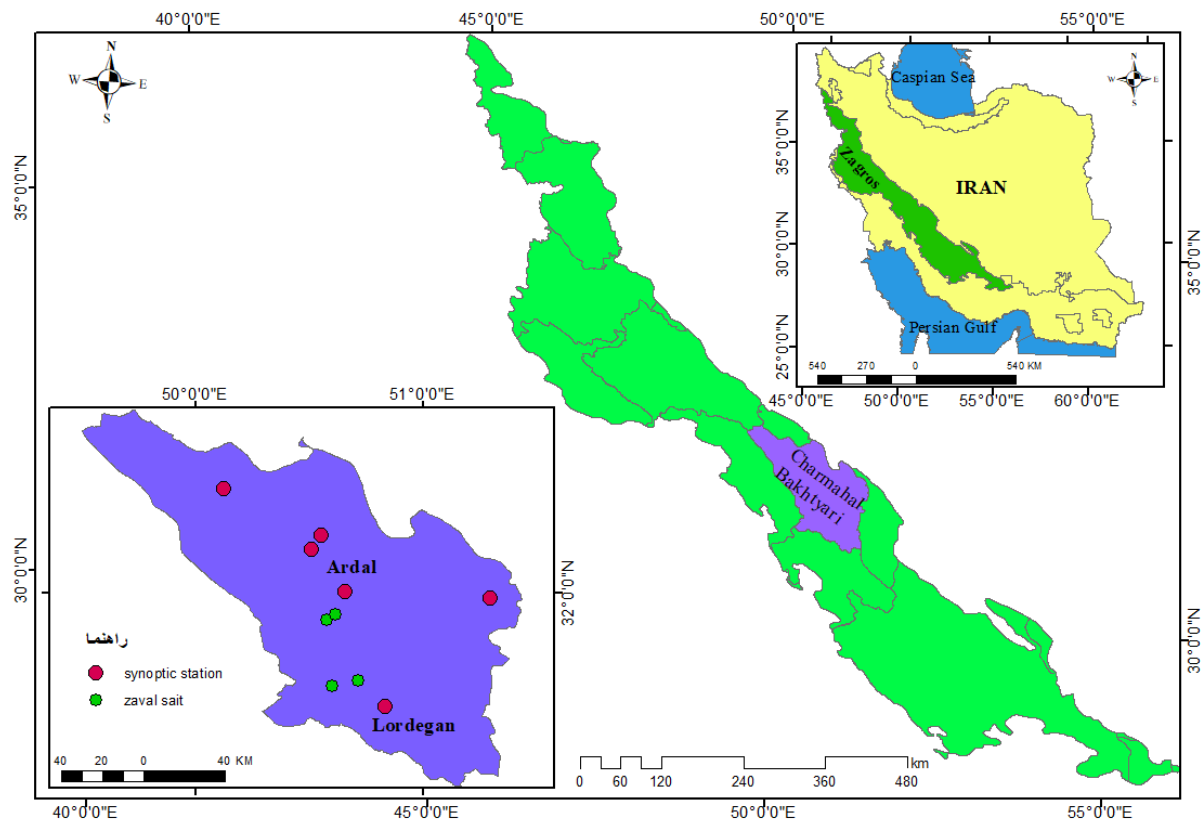
همان‌طور که مرور پژوهش‌ها نشان داد نقش شاخص‌های اقلیمی در زوال جنگل‌های بلوط زاگرس به‌عنوان یکی از فرضیات اصلی مطرح شده است (Pourhashemi and Sadeghi, 2020). هرچند که پژوهش‌های پیشین در داخل کشور به بررسی ارتباط میانگین شاخص‌های اقلیمی با زوال اهتمام ورزیده‌اند، اما تاکنون پژوهشی درباره ارتباط شاخص‌های اقلیمی استاندارد جهانی با زوال درختان در داخل کشور انجام نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش، بررسی رابطه شاخص‌های اقلیمی استاندارد جهانی با زوال درختان در جنگل‌های زاگرس مرکزی (واقع در استان چهارمحال و بختیاری) بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

وسعت استان چهارمحال و بختیاری یک میلیون و ۶۵۳ هزار هکتار است که بیش از ۸۰ درصد از ۳۳۰ هزار هکتار عرصه جنگلی آن را که به‌صورت نواری از کوه‌های بازفت در شهرستان کوهرنگ آغاز و به سمت کوه‌های فلارد در شهرستان لردگان کشیده شده است، از گونه درختی بلوط ایرانی تشکیل شده است. با

جنوبی) و در فاصله ۱۴ کیلومتری سایت زوال رحیم‌آباد (زوال دامنه شمالی) قرار دارد.



شکل ۱- موقعیت سایت‌های پایش زوال و نزدیک‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک در استان چهارمحال و بختیاری

Figure 1. Location of oak decline monitoring sites and nearest synoptic stations in Chaharmahal and Bakhtiari province

جدول ۱- مشخصات سایت‌های پایش زوال زاگرس در استان چهارمحال و بختیاری

Table 1. Details of Zagros oak decline monitoring sites in Chaharmahal and Bakhtiari province

دمای کمینه Minimum temperature	دمای بیشینه Maximum temperature	بارش Rain	ایستگاه سینوپتیک Synoptic station	ارتفاع Elevation	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	سایت پایش Monitoring site
6.5	21	573	لردگان Lordegan	1990	50.71	31.61	چیگو Chego
6.5	21	573	لردگان Lordegan	1617	50.60	31.59	قلعه سماع Ghale Sama
6	19.8	633	اردل Ardal	1853	50.57	31.88	رحیم‌آباد Rahimaabad
6	19.8	633	اردل Ardal	1764	50.61	31.90	گل سفید Gelsefid

روش پژوهش

از آنجایی که در مناطق کوهستانی هر ایستگاه سینوپتیک تا ۵۰ کیلومتر می‌تواند پوشش داشته باشد (Meteorological Organization, 2003)، از آمار روزانه این ایستگاه‌ها برای بررسی و آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم براساس شاخص‌های استاندارد جهانی آشکارکننده استفاده شد. از داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک برای دوره آماری ۱۳۶۹-۱۳۹۸ استفاده شد. پیش از محاسبه شاخص‌ها، داده‌های ورودی روزانه از نظر کیفیت و همگن بودن بررسی شدند و به فرمت مورد نظر برای ورود به مدل آماده شدند. از نرم‌افزار ClimPACT برای اجرای مدل استفاده شد (Alexander et al., 2013; Van and Fitchett, 2021) که در محیط R 2.10 اجرا می‌شود. یکی از مزایای این نرم‌افزار این است که پیش از

محاسبه معیارها، کیفیت داده‌ها را بررسی و اطلاعات نادرست و داده‌های پرت را مشخص می‌کند. پس از اجرای مدل از بین ۶۱ خروجی که هرکدام کاربردهای خاص دارند، شاخص‌های دمایی سرد آشکارکننده تغییر اقلیم در سایت‌های پایش زوال شامل فراوانی رخداد‌های دو روز و دو شب متوالی سرد، تعداد روزهای همراه با یخبندان، تعداد روزهای یخی، درصد فراوانی شب‌های سرد، درصد فراوانی روزهای سرد، دوره سرد دوروزه و دوره سرد شش‌روزه استخراج شدند (جدول ۲). خط شیب روند، خطای شیب روند و معنی‌داری روند شاخص‌ها در محدوده آماری ۰/۰۵ = P-value محاسبه و تغییرات هر شاخص به صورت نمودار در محیط نرم‌افزار R ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جدول ۲- شاخص‌های دمایی سرد آشکارکننده تغییر اقلیم (Alexander et al., 2013)

Table 2. Cold temperature indicators revealing climate change

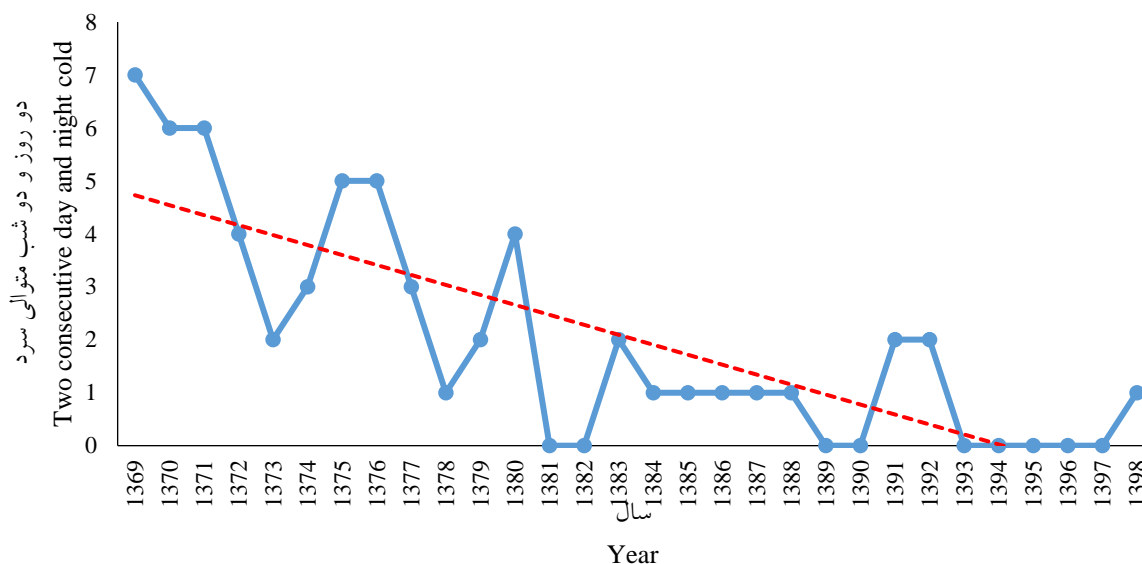
شاخص Index	توضیحات Description	واحد Unit
2TXb2TNb دو روز و دو شب متوالی سرد	Annual count of n consecutive days where both TX < 5th percentile and TN < 5th percentile where n >=2 and n <=10	Day روز
FD0 روزهای یخبندان	Annual count when TN < 0°C	Day روز
ID0 روزهای یخی	Annual count when TX < 0°C	Day روز
TN10p درصد شب‌های سرد	Percentage of days when TN < 10th percentile	Percent درصد
TX10p درصد روزهای سرد	Percentage of days when TX < 10th percentile	Percent درصد
CSDI2 دوره سرد دوروزه	Annual count of days with at least n consecutive days when TN < 10th percentile where n >= 2 (and max 10)	Day روز
CSDI6 دوره سرد شش‌روزه	Annual count of days with at least 6 consecutive days when TN < 10th percentile	Day روز

نتایج

شاخص دو روز و دو شب متوالی سرد (2TXb2TNb)

بررسی تغییرات شیب خط روند و معنی‌داری در محدوده آماری $P\text{-value} = 0/05$ شاخص دو روز و دو شب متوالی سرد در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در ۲ سایت زوال چیگو و قلعه‌سماع این شاخص روند کاهشی و معنی‌داری داشت. در سال-های اولیه مورد بررسی، تعداد رخداد‌های ۲ روز و ۲ شب متوالی سرد ۶ رخداد بود، اما شاخص‌های دمایی سرد در انتهای دوره آماری مورد بررسی به‌طور کامل

محو شد، به‌طوری که از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۷ به صفر رسید و در سال ۱۳۹۸ تنها یک مورد ثبت شد (شکل ۲). بررسی این شاخص در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در ۲ سایت زوال گل‌سفید و رحیم‌آباد روند کاهشی و معنی‌داری داشت. در سال‌های اولیه مورد بررسی تعداد رخداد‌های ۲ روز و ۲ شب متوالی سرد ۷ رخداد بوده، اما در انتهای دوره آماری مورد بررسی به‌طور کامل محو شد، به‌طوری که از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ به صفر رسید (شکل ۳).



شکل ۲- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دو روز و دو شب متوالی سرد در ایستگاه سینوپتیک لردگان

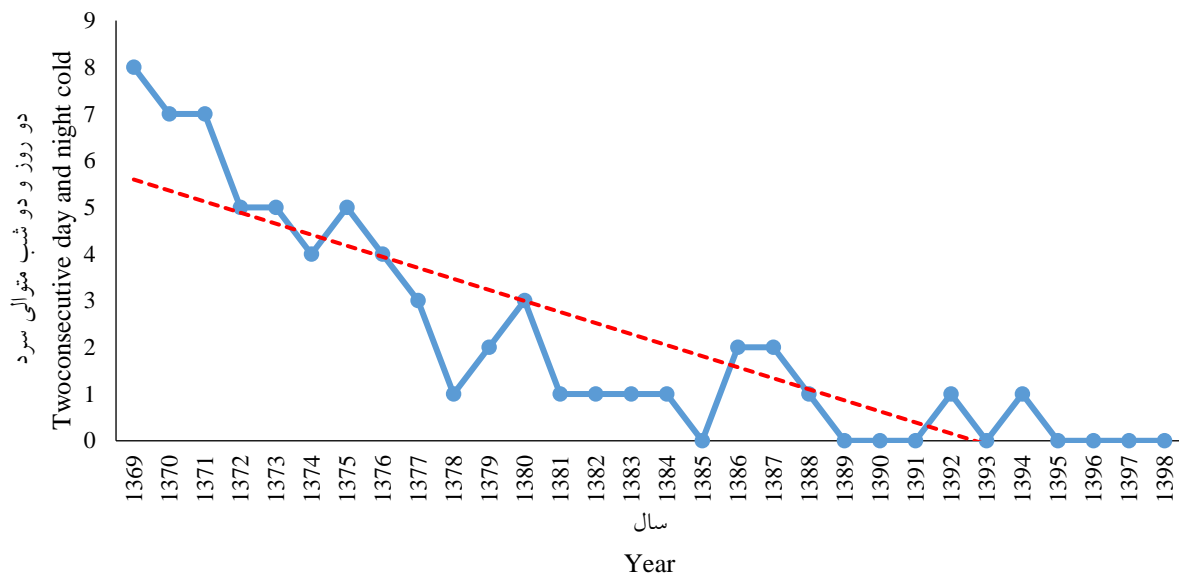
Figure 2. Trend changes and significance of two consecutive days and two cold nights in Lordegan synoptic station

شاخص روزهای همراه با یخبندان (FD0)

بررسی تغییرات شیب خط روند و معنی‌داری در محدوده آماری $P\text{-value} = 0/05$ شاخص روزهای همراه با یخبندان در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه‌سماع و چیگو این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۳۹ روز کاهش را

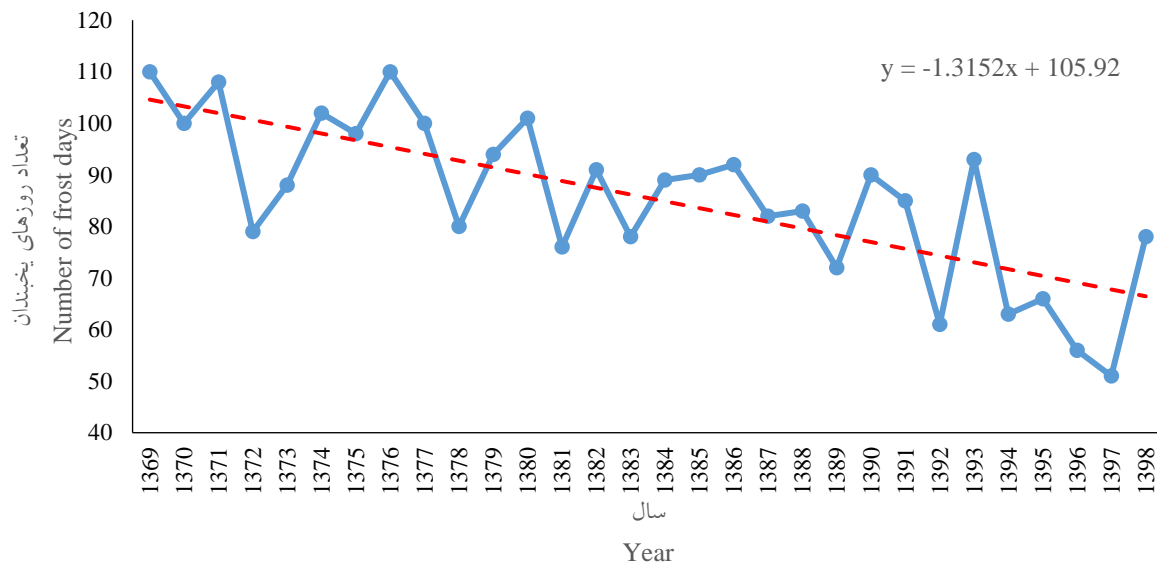
نشان داد، به‌طوری که بیشینه تعداد رخداد آن در سال ۱۳۷۶ به ۱۱۰ روز و کمینه تعداد رخداد آن در سال ۱۳۹۷ به ۵۲ روز رسیده بود (شکل ۴). شیب خط روند، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای همراه با یخبندان در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل-سفید و رحیم‌آباد این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی

۵۲ روز کاهش را نشان داد، به طوری که بیشینه تعداد رخداد آن در سال ۱۳۷۱ به ۱۲۳ روز و کمینه تعداد (۵) رخداد آن در سال ۱۳۹۷ به ۴۷ روز رسید (شکل ۵).



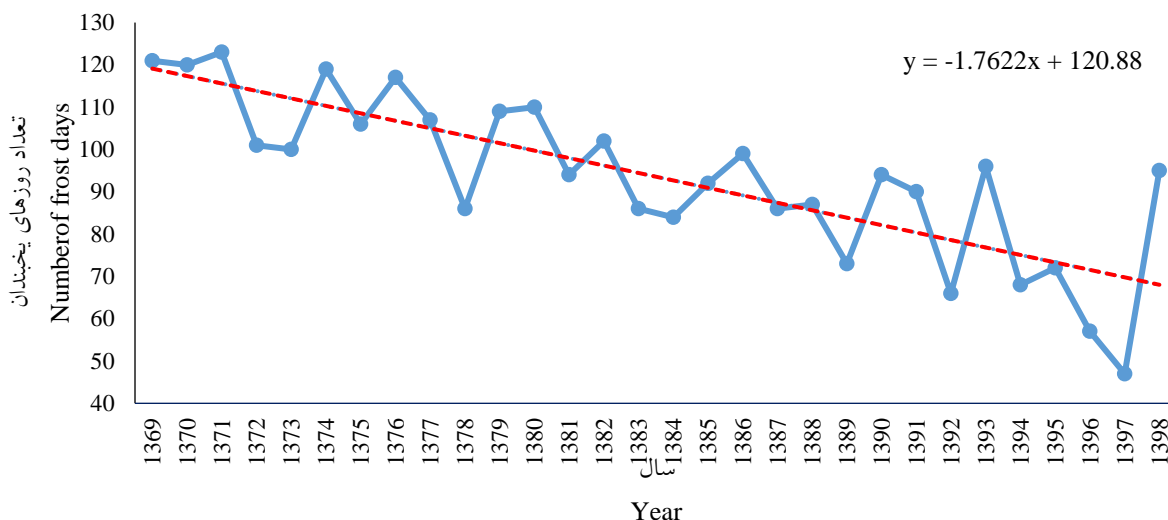
شکل ۳- تغییرات روند و معنی داری شاخص دو روز و دو شب متوالی سرد در ایستگاه سینوپتیک اردل

Figure 3. Trend changes and significance of two consecutive days and two cold nights in Ardal synoptic station



شکل ۴- تغییرات روند و معنی داری شاخص روزهای همراه با یخبندان در ایستگاه سینوپتیک لردگان

Figure 4. Changes in the trend and significance of the index of days with frost in Lordegan synoptic station



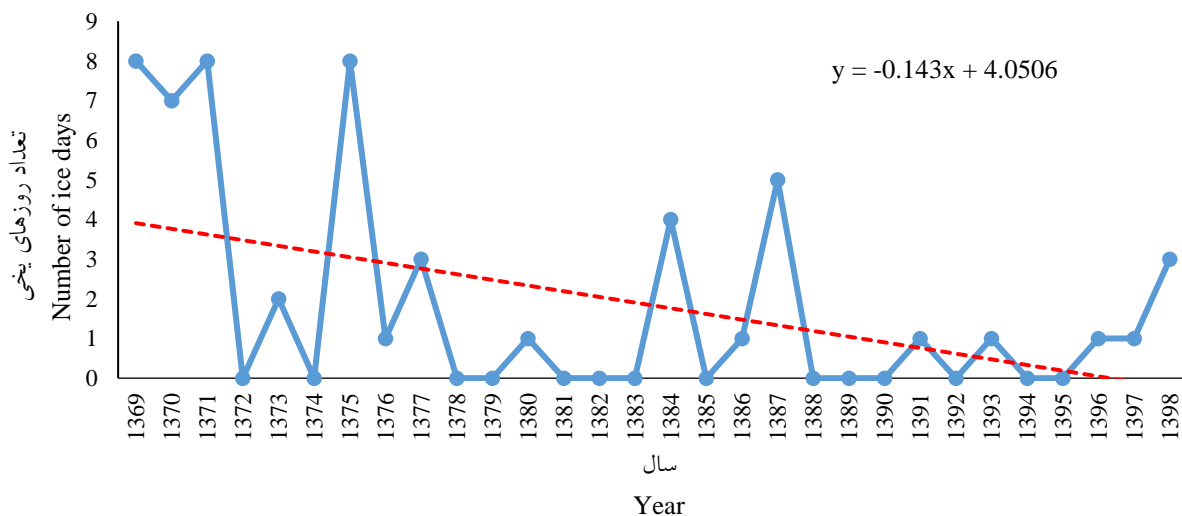
شکل ۵- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای همراه با یخبندان در ایستگاه سینوپتیک اردل

Figure 5. Changes in the trend and significance of the index of days with frost in Ardal synoptic station

شیب روند و معنی‌داری تغییرات شاخص روزهای یخی در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد، تغییرات این شاخص دارای روند کاهشی و غیرمعنی‌دار است. بیشینه تعداد رخداد روزهای یخی در سال ۱۳۷۵، ۸ روز بود. در بسیاری از سال‌ها به‌ویژه در دهه آخر مقدار این شاخص به کمتر از ۴ روز یخی رسید (شکل ۷).

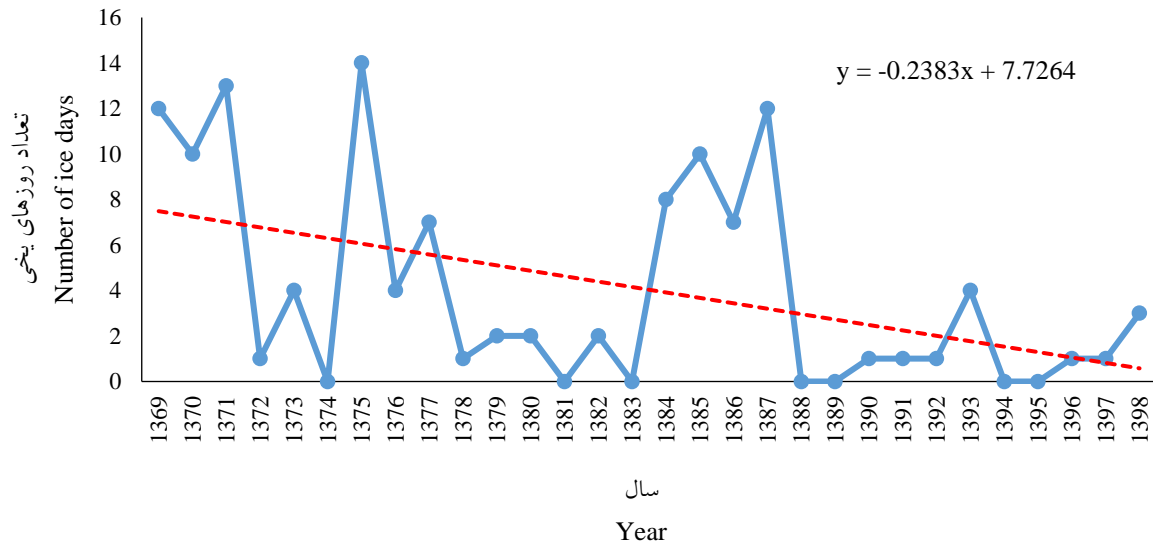
شاخص روزهای یخی (ID0)

بررسی تغییرات شیب خط روند و معنی‌داری در محدوده آماری $P\text{-value} = 0/05$ شاخص روزهای یخی در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه‌سماع و چیگو این شاخص تغییرات روند معنی‌داری ندارد. در بسیاری از سال‌ها به‌ویژه در دهه آخر مقدار این شاخص صفر است. بیشینه تعداد رخداد روزهای یخی در سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۱ و ۱۳۷۵، ۸ روز بود (شکل ۶). شیب خط روند، خطای



شکل ۶- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای یخی در ایستگاه سینوپتیک لردگان

Figure 6. Changes in the trend and significance of the icy day's index at Lordegan synoptic station

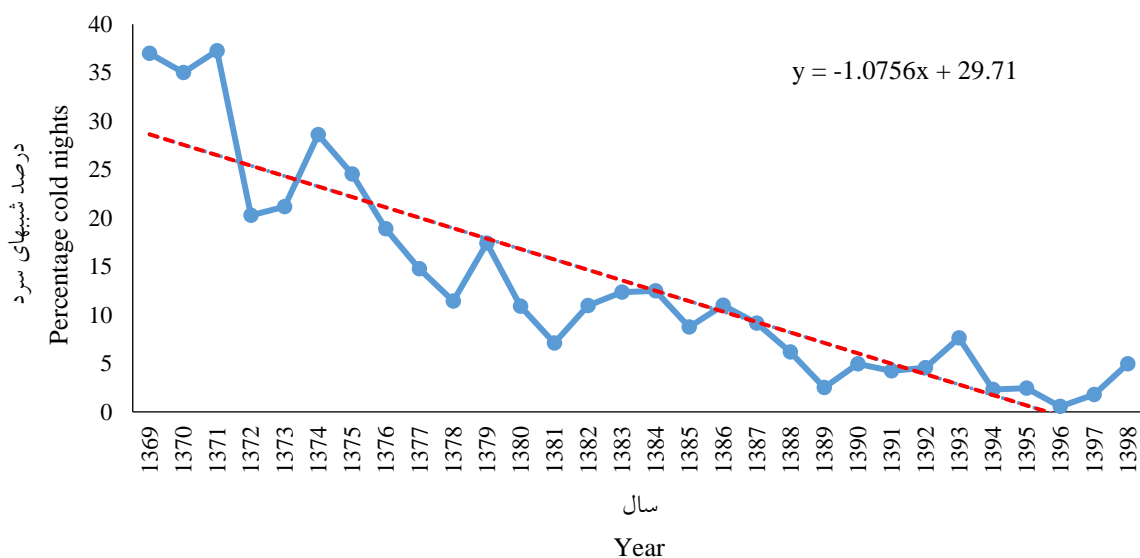


شکل ۷- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای یخی در ایستگاه سینوپتیک اردل

Figure 7. Changes in the trend and significance of the icy day's index at Ardal synoptic station

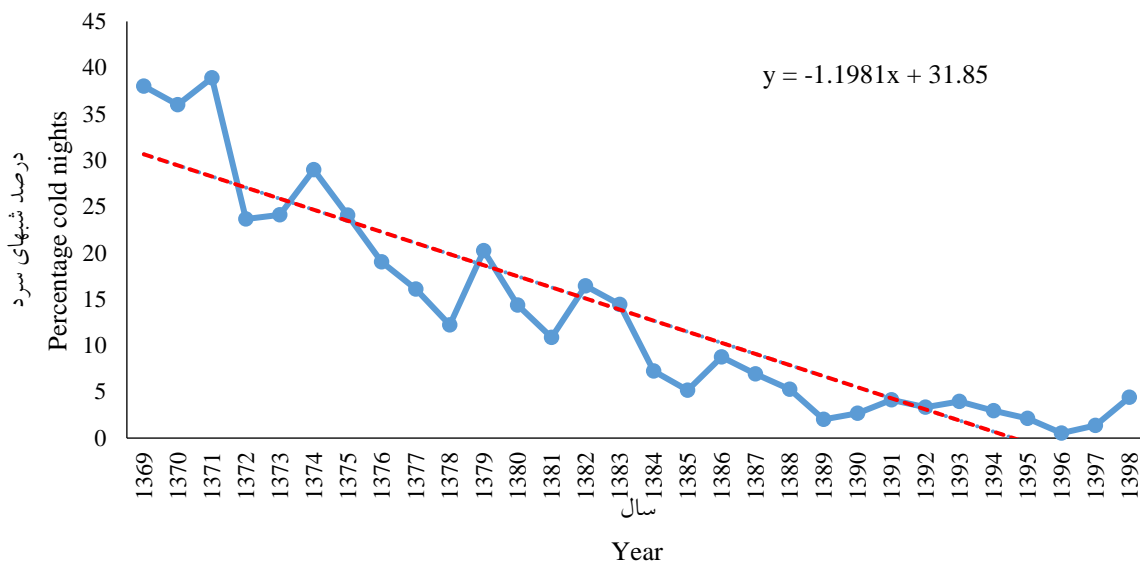
نشان داد (شکل ۸). تغییرات شیب خط روند و معنی‌داری شاخص فراوانی وقوع شب‌های سرد در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در ۲ سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص روند کاهشی و معنی‌داری داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۳۲/۵ درصد کاهش را نشان داد (شکل ۹).

شاخص درصد فراوانی وقوع شب‌های سرد (TN10p) تغییرات شیب خط روند و معنی‌داری در محدوده آماری $P\text{-value} = 0/05$ شاخص درصد فراوانی وقوع شب‌های سرد در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه‌سماع و چیگو این شاخص روند کاهشی و معنی‌داری داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۲۸ درصد کاهش را



شکل ۸- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص درصد وقوع شب‌های سرد در ایستگاه سینوپتیک لردگان

Figure 8. Trend changes and significance of the frequency of cold nights in Lordegan synoptic station

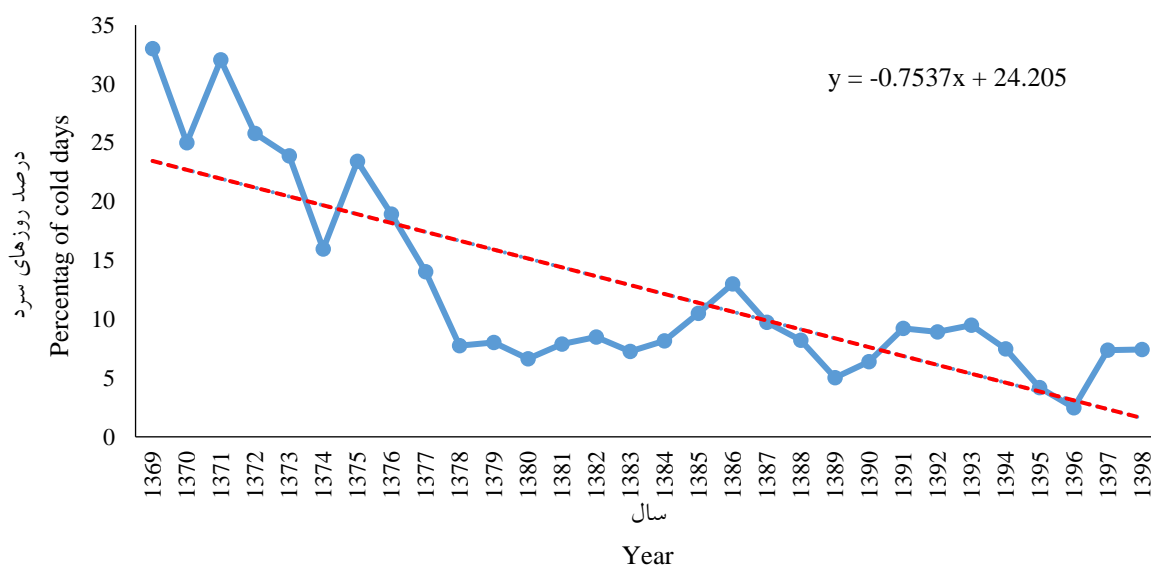


شکل ۹- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص درصد وقوع شب‌های سرد در ایستگاه سینوپتیک اردل

Figure 9. Trend changes and significance of the frequency of cold nights in Ardal synoptic station

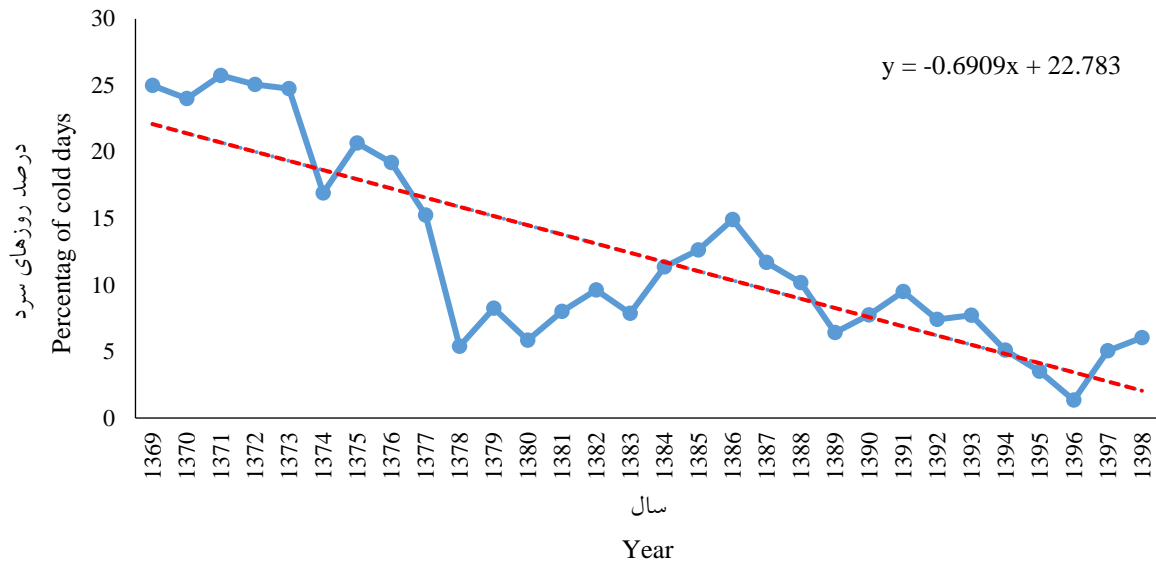
داد (شکل ۱۰). بررسی شاخص فراوانی وقوع روزهای سرد ایستگاه اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص روند کاهشی و معنی‌داری داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۱۹ درصد کاهش را نشان داد (شکل ۱۱).

شاخص درصد فراوانی وقوع روزهای سرد (TX10p) شیب خط روند و معنی‌داری در محدوده آماری ۰/۰۵ = P-value تغییرات شاخص فراوانی وقوع روزهای سرد در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در ۲ سایت زوال قلعه‌سماع و چیگو این شاخص روند کاهشی و معنی‌داری داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۱۹ درصد کاهش را نشان



شکل ۱۰- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص درصد وقوع روزهای سرد در ایستگاه سینوپتیک لردگان

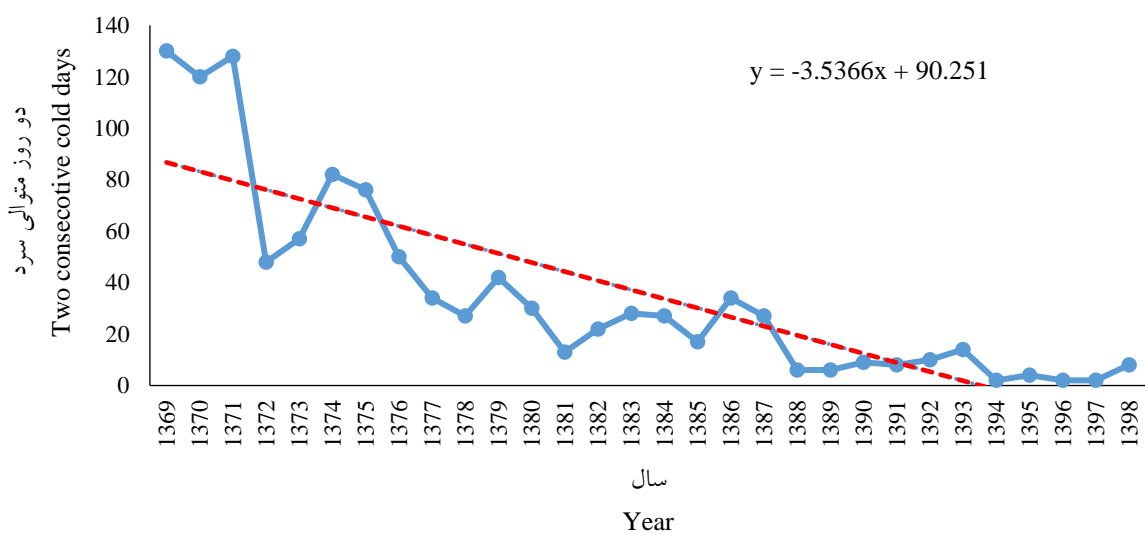
Figure 10. Trend changes and significance of the frequency of cold days in Lordegan synoptic station



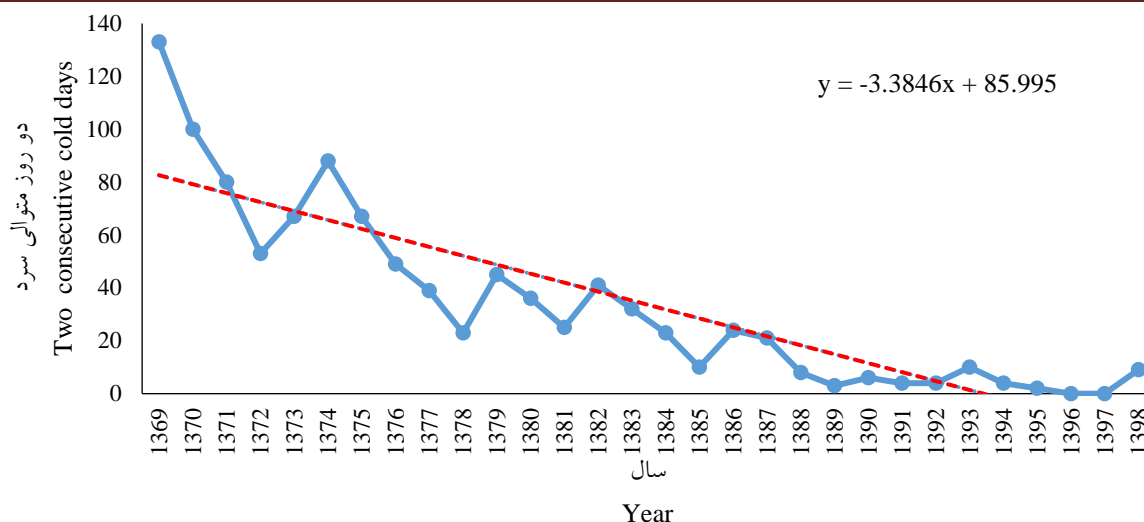
شکل ۱۱- تغییرات روند و معنی داری شاخص درصد وقوع روزهای سرد در ایستگاه سینوپتیک اردل
 Figure 11. Trend changes and significance of the frequency of cold days in Ardal synoptic station

نشان می‌دهد (شکل ۱۲). تغییرات این شاخص در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در ۲ سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد روند کاهشی و معنی‌دار داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۹۵ روز کاهش را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از سال ۱۳۸۹ به کمتر از ۱۰ روز متوالی سرد رسید (شکل ۱۳).

شاخص دوره سرد دوروزه (CSDI2) بررسی شیب خط روند و معنی‌داری در محدوده آماری $P\text{-value} = 0/05$ تغییرات شاخص تعداد دوره-های سرد ۲ روزه در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در ۲ سایت زوال قلعه‌سماع و چیگو این شاخص روند کاهشی و معنی‌دار داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۸۶ روز کاهش را



شکل ۱۲- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دوره دو روز سرد در ایستگاه سینوپتیک لردگان
 Figure 12. Trend changes and significance of two-day cold period index in Lordegan synoptic station



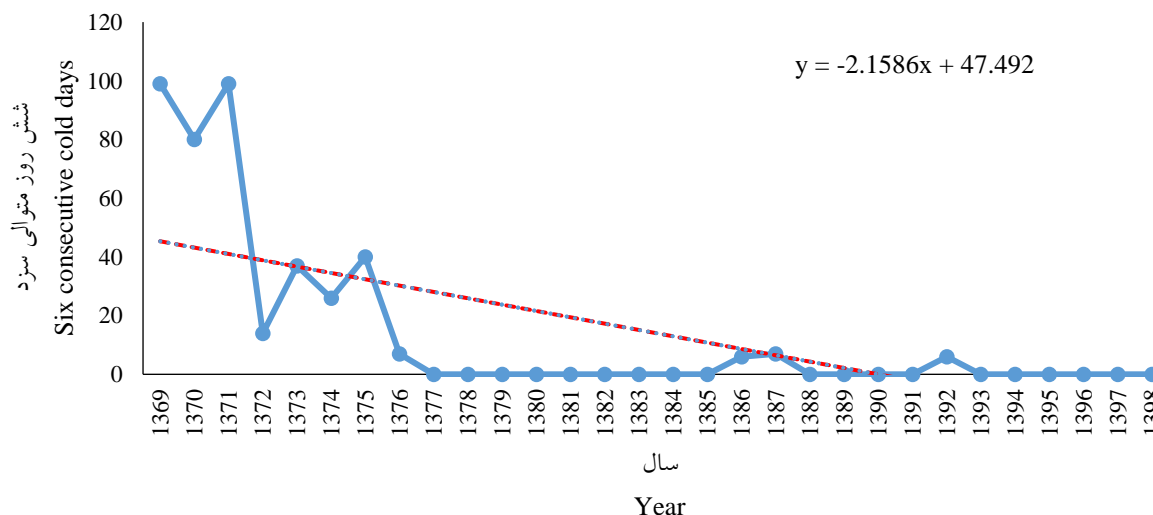
شکل ۱۳- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دوره سرد دو روزه در ایستگاه سینوپتیک اردل

Figure 13. Trend changes and significance of two-day cold period index in Ardal synoptic station

می‌دهد و در دهه اخیر این شاخص به تقریب محو شد (شکل ۱۴). تغییرات این شاخص در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که تعداد روزهای سرد ۶- روزه در ۲ سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد روند کاهشی و معنی‌دار داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۴۷ روز کاهش را نشان می‌دهد و در دهه اخیر به تقریب محو شد (شکل ۱۵).

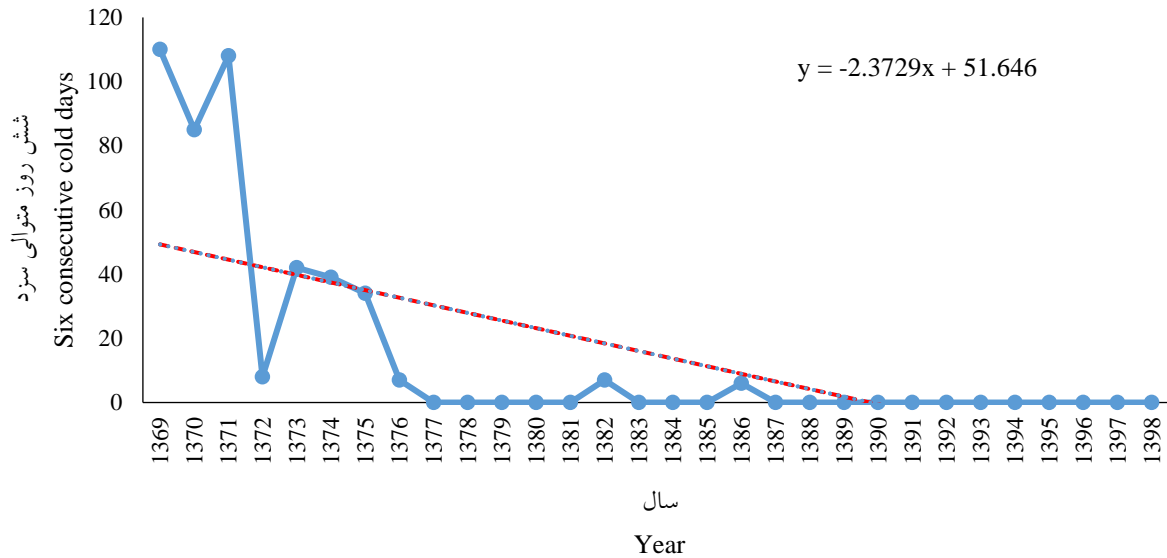
شاخص دوره سرد شش‌روزه (CSDI6)

شیب خط روند و معنی‌داری در محدوده آماری ۰/۰۵ $P\text{-value} =$ تغییرات شاخص تعداد دوره‌های سرد ۶- روزه در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که تعداد روزهای سرد ۶ روزه در دو سایت زوال قلعه‌سماع و چیگو روند کاهشی و معنی‌دار داشت. این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۴۲ روز کاهش را نشان



شکل ۱۴- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دوره سرد شش‌روزه در ایستگاه سینوپتیک لردگان

Figure 14. Changes in the trend and significance of the six-day cold period index in Lordegan synoptic station



شکل ۱۵- تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دوره سرد شش‌روزه در ایستگاه سینوپتیک اردل

Figure 15. Changes in the trend and significance of the six-day cold period index in Ardal synoptic station

دو شب متوالی سرد در دو سایت زوال چیگو و قلعه-سماع در سال‌های اولیه مورد بررسی شش رخداد بوده، اما در انتهای دوره آماری مورد بررسی به‌طور کامل محو شده است. این شاخص در دو سایت زوال گل‌سفید و رحیم‌آباد هفت رخداد بود که در انتهای دوره آماری مورد بررسی به‌طور کامل محو شد، به‌طوری‌که از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ به صفر رسید. محو شدن این شاخص نشان‌دهنده گرم شدن منطقه مورد بررسی و خارج شدن آب مورد نیاز رشد از دسترس درختان است.

شاخص روزهای همراه با یخبندان در دو سایت زوال قلعه‌سماع و چیگو ۳۹ روز کاهش و در دو سایت زوال گل‌سفید و رحیم‌آباد ۵۲ روز کاهش را نشان داد. کاهش روزهای یخبندان منجر به ذوب سریع برف و عدم نفوذ آن در زمین برای تبدیل شدن به آب زیرزمینی می‌شود. کاهش آب زیرزمینی مانع از دسترسی ریشه‌های بلند بلوط به آب مورد نیاز در فصل خشک و گرم خواهد شد، هرچند که استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی توسط انسان در این

بحث

شناخت و درک عوامل مؤثر بر زوال جنگل‌های بلوط زاگرس نقش مهمی در کاهش تخریب این بوم‌سازگان طبیعی با اهمیت اقتصادی و اجتماعی در غرب کشور دارد. گرمایش جهانی و رخداد تغییر اقلیم یک پدیده جهانی است که همه اکوسیستم‌های طبیعی را متأثر کرده است. زوال جنگل ناشی از تغییرات آب‌وهوایی یک پدیده جهانی است که بسیاری از گونه‌های درختی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. درختان بلوط هم از این امر مستثنی نبوده و به‌طور عمده در مناطق مستعد خشکسالی به‌دلیل تنش خشکی علائم کاهش و افزایش مرگ‌ومیر را نشان داده‌اند (Colangelo et al., 2018). شناخت اندازه رخداد تغییر اقلیم در اکوسیستم زاگرس براساس شاخص‌های استاندارد آشکارکننده تغییر اقلیم می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را در عملیات اجرایی در راستای سازگاری با شرایط به‌وجود آمده برای حفظ و احیا کمک کند.

در پژوهش پیش‌رو، بررسی شاخص‌های سرد آشکارکننده تغییر اقلیم نشان داد که شاخص دوروز و

زوال قلعه‌سماح و چیگو ۴۲ روز و در دو سایت زوال گل‌سفید و رحیم‌آباد ۴۷ روز کاهش را نشان داد که این امر می‌تواند نیاز فیزیولوژی درختان اکوسیستم جنگلی به سرمای لازم را با مشکل مواجه کند. در مجموع، بررسی شاخص‌های دمایی سرد نشان داد:

- تمام شاخص‌های سرد آشکارکننده تغییر اقلیم روند کاهشی و معنی‌داری را نشان دادند.

- تمام شاخص‌های سرد آشکارکننده تغییر اقلیم بیشترین کاهش را در دهه آخر به‌ویژه سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ تجربه کردند.

- درصد کاهش شاخص‌های دمایی سرد شبانه بیشتر از شاخص‌های دمایی سرد روزانه است.

- شاخص‌هایی که شدت بیشتری در نمایاندن رخدادهایی دمایی سرد داشتند، روند کاهشی بیشتری نسبت به دیگر شاخص‌های دمایی سرد داشتند.

- رخداد برخی از شاخص‌ها مانند دو روز و دو شب متوالی سرد و شاخص روز یخی در تمام سایت‌های پایش زوال به‌ویژه در دهه اخیر به‌شدت کم و تا حدودی محو شدند و با توجه به تداوم افزایش دما در آینده احتمالاً تکرارناپذیر خواهند بود.

- شاخص شش‌روز متوالی سرد با تأخیر چند سال پیش از شروع پدیده زوال در زاگرس محو شد. احتمال عدم تکرار رخداد این شاخص در آینده نیز دور از انتظار نیست.

باتوجه به موارد فوق، بررسی شاخص‌های دمایی سرد استاندارد آشکارکننده تغییر اقلیم در منطقه مورد بررسی نشان داد که تغییر اقلیم رخ داده است و منطقه مورد بررسی به سمت گرم‌شدن حرکت می‌کند. روند کاهشی شاخص‌های دمایی سرد آشکارکننده تغییر اقلیم و تداوم این روند کاهشی در آینده منجر به کاهش و عدم ذخیره نزولات جوی برفی و نفوذ آن به‌مرور توسط ریشه درختان به‌ویژه درختان بلوط می‌-

مورد پیشی می‌گیرد. روز یخی روزی است که حتی بیشینه دمای آن هم صفر و زیر صفر است و تغییرات رخداد آن یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آشکارکننده تغییر اقلیم است. مقدار شاخص روزهای یخی در دو سایت زوال قلعه‌سماح و چیگو در بسیاری از سال‌ها به‌ویژه در دهه آخر صفر بود. این شاخص همراه با دیگر شاخص‌ها مبین رخداد تغییر اقلیم در زاگرس و گرم شدن اکوسیستم جنگلی است. رخداد تغییر اقلیم می‌تواند زمینه‌ساز حمله آفات و بیماری‌ها به درختان شود. در دو سایت زوال گل‌سفید و رحیم‌آباد بیشینه تعداد رخداد روزهای یخی، هشت روز بود و در دهه آخر مقدار این شاخص به کمتر از چهار روز یخی رسیده بود. کاهش رخدادهای سرد می‌تواند منجر به ذوب سریع برف‌ها و عدم دسترسی درختان به آب و از طرفی سرمای مورد نیاز فیزیولوژی درختان باشد.

تغییرات شیب خط روند و معنی‌داری شاخص درصد فراوانی وقوع شب‌های سرد در دو سایت زوال قلعه‌سماح و چیگو نشان داد که این شاخص در طول دوره آماری مورد بررسی ۲۸ درصد و در دو سایت زوال گل‌سفید و رحیم‌آباد ۳۲/۵ درصد کاهش داشته است. شاخص فراوانی وقوع روزهای سرد در دو سایت زوال قلعه‌سماح و چیگو و همچنین در دو سایت زوال گل‌سفید و رحیم‌آباد در طول دوره آماری مورد بررسی ۱۹ درصد روند کاهش نشان داد. افزایش درصد شب‌های گرم و کاهش روزهای سرد یکی از عوامل مؤثر در کاهش تاب‌آوری اکوسیستم جنگل بلوط محسوب می‌شود.

شاخص تعداد دوره‌های سرد دوروزه در دو سایت زوال قلعه‌سماح و چیگو در طول دوره آماری مورد بررسی ۸۶ روز کاهش را نشان داد. این کاهش در دو سایت زوال گل‌سفید و رحیم‌آباد ۹۵ روز بود. شاخص تعداد دوره‌های سرد شش‌روزه در دو سایت

جنگلی زاگرس وارد می‌کند (Iranmanesh et al., 2021). با توجه به روند کاهشی شاخص‌های سرد و محو شدن برخی از شاخص‌ها، جنگل‌های زاگرس در منطقه مورد بررسی مستعد زوال بوده و در آینده با مشکلات عدیده‌ای مانند ذوب شدن سریع برف و عدم دسترسی به رطوبت کافی مواجه خواهند شد. بنابراین، با توجه به رخداد تغییر اقلیم و تداوم افزایش دما و تبخیر ناشی از آن در آینده و همچنین کاهش رطوبت قابل دسترس به علت رخداد بارش‌های رگباری در زاگرس به‌ویژه در منطقه مورد بررسی، پیشنهاد می‌شود راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیمی توسط مدیران و تصمیم‌گیرندگان اکوسیستم جنگلی زاگرس اتخاذ شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پروژه ملی آشکارسازی روند تغییر اقلیم و پایش خشکسالی و گردوغبار در سایت-های زوال جنگل‌های زاگرس مصوب مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور می‌باشد که بدینوسیله از مساعدت‌های مالی و همکاری مسئولین ذریب‌ت قدردانی می‌شود.

References

- Acácio, V.; Dias, F. S.; Catry, F. X.; Bugalho, M. N.; Moreira, F., Canopy cover loss of Mediterranean oak woodlands: Long-term effects of management and climate. *Ecosystems* **2021**, *24* (7), 1775-1791.
- Ahmadi, R.; Fathi, H.; Nouri Nejad, J.; Jafarzadeh, A. A., The role of climatic factors (dust, rainfall and temperature) on the decline and death of oak trees in Ilam province, *2nd International Dust Conference*, Ilam, April 25-27, **2018**. (In Persian)
- Alexander, I.; H Yang, H.; Perkins, S., *ClimPACT indices and software*. **2013**, (4), 1-52.
- Attarod, P.; Rostami, F.; Dolatshahi, A.; Sadeghi, S.; Amiri, G. Z.; Bayramzadeh, V., Do changes in meteorological parameters and evapotranspiration affect declining oak forests of Iran? *Journal of Forest Science* **2016**, *62* (12), 553-561. (In Persian)
- Attarod, P.; Sadeghi, S. M. M.; Pypker, T. G.; Bayramzadeh, V., Oak Trees Decline; A Sign of Climate Variability Impacts in the West of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences* **2017**, *15* (4), 373-384. (In Persian)
- Attarod, P.; Sadeghi, S. M.; Taheri Sartshani, F.; Saroei, S.; Abbasian, P.; Masihpoor, M.; Kordrostami, F.; Dirikvandi, A., The Effect of Climatic Factors and Evapotranspiration

شود. در نتیجه منجر به کاهش حجم آب‌های زیرزمینی می‌شود. بنابراین، در این مناطق باید کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی در طرح‌های مدیریت پایدار جنگل در نظر گرفته شود، زیرا دسترسی کافی به آب‌های زیرزمینی می‌تواند اثرهای منفی خشکسالی تابستانی را بر رشد درختان مهار کند. بنابراین، در مواجهه با تغییرات آب و هوایی مداوم و وقوع بیشتر وقوع خشکسالی شدید، پیشنهاد می‌شود که برداشت آب‌های زیرزمینی از جنگل‌ها کاهش یابد (Skiaresis et al., 2021).

تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند مرگ‌ومیر درختان و نابودی جنگل را در بسیاری از اکوسیستم‌های جهان به‌ویژه در جنگل‌های نیمه‌خشک افزایش دهد (Ogaya et al., 2020). نقشه مناطق مستعد زوال بلوط در استان ایلام نشان داد که بیش از ۷۷ درصد از جنگل‌های بلوط استان به شدت مستعد کاهش هستند (Motlagh et al., 2021). از طرفی، کاهش حاصلخیزی خاک در پی تخریب جنگل‌های بلوط رخ داده است (Safari et al., 2021) و تغییرات قابل توجه زی‌توده و اندوخته کربن روی زمینی و خاک در توده‌های جنگلی دچار زوال رخ داده است که در بلندمدت خسارات جبران‌ناپذیری را به اکوسیستم

- on the Decline of Central Zagros Forests in Lorestan Province. *Research on protection and conservation of forests and rangelands of Iran* **2016b**, 13 (2), 97-112. (In Persian)
- Azizi, G.; Miri, M.; Mohammadi, H.; Pourhashemi, M., Analysis of Relationship between Forest Decline and Precipitation Changes in Ilam Province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2015**, 23 (3), 502-515. (In Persian)
- Bedrood, F.; Gh. H.; Valipour, A., Application of the Logical Framework Analysis for Planning and Evaluation of Oak Decline's Forest Management Plan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2021**, 29 (1), 53-64. (In Persian)
- Camarero, J. J.; Colangelo, M.; Gazol, A.; Azorín-Molina, C., Drought and cold spells trigger dieback of temperate oak and beech forests in northern Spain. *Dendrochronologia* **2021**, 66, 125812.
- Colangelo, M.; Camarero, J. J.; Borghetti, M.; Gentilesca, T.; Oliva, J.; Redondo, M.-A.; Ripullone, F., Drought and Phytophthora are associated with the decline of oak species in southern Italy. *Frontiers in plant science* **2018**, 1595.
- Conte, A. L.; Di Pietro, R.; Iamónico, D.; Di Marzio, P.; Cillis, G.; Lucia, D.; Fortini, P., Oak decline in the Mediterranean basin: A study case from the southern Apennines (Italy). *Plant Sociology* **2019**, 56 (2), 69-80.
- Dolatshahi, A.; Attarod, P.; Zahedi, G.; Sadeghi, M.; Bayramzadeh, V., Trends of Meteorological Parameters and Reference Evapotranspiration in the Northern Zagros Region. *Forest and Wood Products* **2017**, 70 (2), 251-260. (In Persian)
- Falah, A.; Heidari, M., Studying the diameter growth of Persian oak and its relationship with climatic parameters in Zagros forests (Case study: Sarab-Karzan forests of Ilam). *Forest Research and Development* **2018**, 3 (4), 361-375.
- Gea-Izquierdo, G.; Natalini, F.; Cardillo, E., Holm oak death is accelerated but not sudden and expresses drought legacies. *Science of the Total Environment* **2021**, 754, 141793.
- Ghadirian, O.; Hemami, M.; Soffianian, A.; Pourmanaphi, S.; Malekian, M.; Tarkesh, M., Probabilistic Prediction of Forest Decline in Lorestan Province Using a Combined Modeling Approach. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* **2018**, 15 (2), 131-146. (In Persian)
- Goodarzi, N.; Zargarani, M. R.; Banj, S. A.; Tavakoli, M., The effect of geographical directions and location on dispersion of Oak decline, Shurab forest area, Lorestan Province, Iran. **2016**.
- Hosseinzadeh, J.; Pourhashemi, M., Emergence of Desiccation within Zagros Forests Decline. *Iran Nature* **2017**, 2 (4), 18-21. (In Persian)
- Iranmanesh, Y.; Pourhashemi, M.; Jahanbazi, H.; Talebi, M., Comparison of Biomass and Carbon Stock on Aboveground, Litter and Soil between Healthy and declined Stands of Brant's Oak in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Journal of Applied Ecology* **2021**, 10 (2):17-31 (In Persian)
- Karamian, M.; Mirzaei, J., The Most Important Factors Affecting Persian Oak (*Quercus brantii*) Decline in Ilam Province. *Ecology of Iranian Forest* **2020**, 8 (15), 93-103. (In Persian)
- Kim, H. N.; Jin, H. Y.; Kwak, M. J.; Khaine, I.; You, H. N.; Lee, T. Y.; Ahn, T. H.; Woo, S. Y., Why does Quercus suber species decline in Mediterranean areas? *Journal of Asia-Pacific Biodiversity* **2017**, 10 (3), 337-341.
- Mahdavi, A.; Rangin, S.; Mehdizadeh, H.; Mirzaeizadeh, V., Modelling the Trend of Zagros Forest Degradation using Logistic Regression (Case study: Chardavol Forest of Ilam province. *Geography and Sustainability of Environment* **2018**, 8 (2), 1-13. (In Persian)
- Mirzaei, M.; Bonyad, A. E.; Akhavan, R.; Naghdi, R., Decline modelling of Quercus brantii under effects of physiographic factors in Dalab forests of Ilam. *Forest Research and Development* **2019**, 5 (2), 329-342.
- Moreno-Fernández, D.; Ledo, A.; Martín-Benito, D.; Cañellas, I.; Gea-Izquierdo, G., Negative synergistic effects of land-use legacies and climate drive widespread oak decline in evergreen Mediterranean open woodlands. *Forest Ecology and Management* **2019**, 432, 884-894.
- Motlagh, M. G.; Kiadaliri, M., Zoning of Areas with Susceptibility to Oak Decline in Western Iran. *Quaestiones Geographicae* **2021**, 40 (1), 75-83.
- Mozafari, F.; Karamshahi, A.; Heydari, M., Mapping Dieback Intensity Distribution in Zagros Oak Forests Using Geo-statistics and Artificial Neural Network. *Iranian Journal*

- of *Applied Ecology* **2019**, 8 (3), 31-44. (In Persian)
- Naseri, M.; Shataee Jooibari, S.; Mohammadi, J.; Ahmadi, S., Investigation on the Amount of Mortality of Iranian Oak Trees (*Quercus brantii* Lindl.) using Satellite Imagery (Case study: Dashte Barm Forests of Fars Province). *Ecology of Iranian Forest* **2020**, 8 (16), 72-80. (In Persian)
- Nassaji-Zavareh, M.; Abdollahzadeh, A.; Elahi, M., Determination of the Effect of Some Climate Factors on the Forest Decline Using PCAGIS Method (Case Study: Kermanshah City). *Journal of Forest and Rangeland* **2017**, 112, 32-38. (In Persian)
- Ogaya, R.; Liu, D.; Barbeta, A.; Peñuelas, J., Stem mortality and forest dieback in a 20-years experimental drought in a Mediterranean holm oak forest. *Frontiers in Forests and Global Change* **2020**, 2, 89.
- Ostakh, E.; Soosani, J.; Abdolkhani, A.; Naghavi, H., Impact of Decline on the Concentration of Chemical Elements in the Wood of Declined and Healthy Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2019**, 27 (4), 413-424. (In Persian)
- Pourhashemi, M.; Sadeghi, S. M. M., A Review on Ecological Causes of Oak Decline Phenomenon in Forests of Iran. *Ecology of Iranian Forest* **2020**, 8 (16), 148-164. (In Persian)
- Poursartip, L.; Naseri Karimvand, S.; Moradi, M.; Susani, J., Comparing the Impact of Climate Variables on Healthy and Declined Masses of Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in the "Khorram Abad" City. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries* **2017**, 7 (4), 591-600. (In Persian)
- Sabernasab, M.; Marefat, A.; Abbasi, S., Pathogenicity Evaluation of Pathogenic Fungi Causing of Oak Tree Dieback in Kermanshah Province. *Iranian Journal of Plant Protection Science* **2020**, 51 (1), 79-92. (In Persian)
- Safari, Y.; Noori, Z.; Rahmanian, M., Variations of Soil Fertility Following the Oak Deforestation in Miankooch Region, Shahrekord. *Environmental Erosion Research Journal* **2021**, 11 (2), 129-145.
- Skiadareisis, G.; Schwarz, J.; Stahl, K.; Bauhus, J., Groundwater extraction reduces tree vitality, growth and xylem hydraulic capacity in *Quercus robur* during and after drought events. *Scientific reports* **2021**, 11 (1), 1-14.
- Sousani, J.; Radmeh, A.; Ghalebahmani, S.; Balapour, S.; Sepahvand, A., Effects of Climate Variables (Temperature and Precipitation) on the Width of Rings-Growth in Persian Coppice Oak in the Central Zagros (Case Study: Khoramabad). *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2014**, 21 (2), 43-60. (In Persian)
- Swanston, C.; Brandt, L. A.; Janowiak, M. K.; Handler, S. D.; Butler-Leopold, P.; Iverson, L.; Thompson III, F. R.; Ontl, T. A.; Shannon, P. D., Vulnerability of forests of the Midwest and Northeast United States to climate change. *Climatic Change* **2018**, 146 (1), 103-116.
- van Der Walt, A. J.; Fitchett, J. M., Trend analysis of cold extremes in South Africa: 1960–2016. *International Journal of Climatology* **2021**, 41 (3), 2060-2081.
- Waitz, Y.; Sheffer, E., Dynamics of mixed pine–oak forests. In *Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*, Springer: 2021; pp 345-362.
- Zarafshar, M.; Teimouri, M.; Pourhashemi, M.; Alizadeh, T.; Bordbar, S. K.; Rousta, M. J.; Abbasi, A., The Impact of Brant's Oak (*Quercus brantii* Lindl.) Decline on Stand Soil Characteristics (Case Study: Kohmareh Sorkhi, Fars Province). *Forest and Wood Products* **2020**, 74 (1), 97-110. (In Persian)

Detection of climate change based on cold temperature indices in the forest ecosystem of Central Zagros

F. Dargahian^{*1} and M. Puorhashemi²

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

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

Received: 13.11.2021 Accepted: 09.03.2022

Abstract

One of the assumptions raised about the phenomenon of forest decline is the change of climatic indicators. In this study, in order to detect the occurrence of climate change in the ecosystem of Zagros forests of Chaharmahal and Bakhtiari province, cold temperature indicators indicating climate change have been used. Daily climatic data including precipitation, maximum temperature and minimum temperature for the statistical period 1991-2019 were extracted at the nearest synoptic stations to the Chego, Ghalesama, Rahimaabad, and Gelsefid deterioration monitoring sites. Before calculating the indicators, daily input data were examined for quality and homogeneity and prepared in the desired format to enter ClimPACT software. Among the global standard indicators detecting the occurrence of climate change, cold temperature indicators; Two days and two nights consecutive cold, number of frosty days, number of icy days, percentage of cold nights frequency, percentage of cold days frequency, two-day cold period and 6-day cold period were extracted and analyzed. The results showed that all cold indicators of climate change had a significant and decreasing trend and experienced the largest decrease in the last decade, especially in 2017 and 2018. The percentage of decrease in cold night temperature indices is more than daily cold temperature indices. Some indicators in all deterioration monitoring sites, especially in the last decade, have been severely reduced to some extent and will probably be unrepeatable in the future due to the continued increase in temperature. Awareness and recognition of climate change in the Zagros Forest ecosystem based on standard indicators can help manage forest conservation and restoration through climate change adaptation methods.

Keywords: Climate adaptation, ClimPACT model, Forest conservation and restoration, Oak decline.

* Corresponding author

Tel: +982144787282