

آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم براساس شاخص‌های دمایی گرم در اکوسیستم جنگلی زاگرس؛ استان چهارمحال و بختیاری

فاطمه درگاهیان^{۱*} و مهدی پور هاشمی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷)

چکیده

باوجودی که یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر زوال و خشکیدگی جنگل‌های زاگرس رخداد تغییر اقلیم به‌ویژه طی دو دهه اخیر است، تخریب و زوال جنگل‌های زاگرس هم می‌تواند روند رخداد تغییر اقلیم را در این اکوسیستم تشدید کند. به‌منظور آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم در جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری با گونه غالب بلوط ایرانی (*Quercus brantii*)، از داده‌های روزانه پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش استفاده شد. داده‌ها از نظر کیفیت و همگنی بررسی و برای ورود به مدل اقلیمی آشکارکننده رخداد تغییر اقلیم آماده شدند. شاخص‌های دمایی گرم آشکارکننده تغییر اقلیم با استفاده از نرم‌افزار ClimPACT در محیط برنامه‌نویسی R 2.10 برای دوره آماری ۱۹۹۲-۲۰۱۹ محاسبه شدند. روند تغییرات، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات با $P\text{-Value}=0.05$ استخراج شد. نتایج نشان داد در تمام سایت‌های پایش زوال شاخص‌های دمایی گرم شامل SU35, SU30, SU25, TN90p, TX90p, TX50p, 2TX2TN, WSDI6, WSDI2 روند افزایشی و معنی‌داری داشتند. تغییرات شیب روند شاخص‌ها با شروع پدیده زوال همخوانی داشته و در دو دهه اخیر از شدت بیشتری برخوردار بوده است. با توجه به روند افزایش دما این روند افزایشی شاخص‌ها در سال‌های آینده نیز تداوم داشته و جنگل‌های منطقه با تنش خشکی بیشتری مواجه خواهند شد. آگاهی از شدت تغییرات رخ داده و تداوم آن در آینده می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان اکوسیستم جنگلی زاگرس را در راهکارهای عملیاتی در سازگاری با تغییر اقلیم جهت حفظ و احیاء جنگل یاری کند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، سازگاری اقلیمی، شاخص‌های دمایی گرم، زوال و خشکیدگی

۱. موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fatemeh.dargahian@gmail.com

مقدمه

امروزه کره زمین با بحران اقلیمی مواجه است که نتیجه بهره‌برداری بیش از حد زمین توسط انسان است (۱۲). بنابراین، تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر زوال جنگل‌های بلوط زاگرس خود معلول فعالیت‌های انسان است. جنگل‌های زاگرس گستره‌ای به وسعت بیش از ۵ میلیون هکتار را در امتداد سلسله‌جبال زاگرس در غرب و جنوب ایران پوشش می‌دهند. جنس غالب درختی در این جنگل‌ها بلوط است که سه گونه از آن شامل وی‌ول (*Quercus libani*)، مازودار (*Q. infectoria*) و برودار یا بلوط ایرانی (*Q. brantii*) در این جنگل‌ها مشاهده می‌شوند. وی‌ول فقط در زاگرس شمالی و در حوزه استان‌های آذربایجان غربی و کردستان پراکنش دارد، اما مازودار علاوه‌بر دو استان فوق، در استان کرمانشاه و همین‌طور بخش‌هایی از استان لرستان مشاهده می‌شود. بلوط ایرانی بسیار مقاوم‌تر و بردبارتر از دو گونه دیگر بوده و در سرتاسر زاگرس انتشار دارد، به‌طوری‌که در زاگرس جنوبی تنها گونه بلوط موجود در جنگل‌های زاگرس است. متأسفانه جنگل‌های زاگرس جنوبی و میانی به‌ویژه در استان‌های ایلام و فارس از حدود دو دهه پیش دچار پدیده زوال بلوط (Oak decline) شده‌اند که پس از سرایت به نواحی دیگر به ویژه استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری، تعداد قابل‌توجهی از درختان بلوط (به‌طور عمده بلوط ایرانی) پس از ابتلا به بیماری و آفت خشک شده و از بین رفته‌اند.

خشکسالی و تغییرات اقلیمی از عوامل اولیه زوال بلوط هستند (۶). بااهمیت‌ترین عوامل زوال بلوط عوامل بیرونی هستند که با ضعف کردن درختان توان تقابل و ماندگاری آنها را در برابر تنش‌های رویشگاهی و عوامل بیماری‌زا کاهش می‌دهد. نتایج مقایسه زوجی نمایه‌های عوامل بیرونی زوال بلوط ایرانی در استان ایلام نشان داد که تغییر اقلیم با اهمیت ۷۵۱٪ نسبت به ضعف خاک اثر بیشتری بر خشکیدگی درختان بلوط دارد (۵)، هرچند که آسیب‌پذیری درختان در برابر تغییرات آب و هوایی، به تأثیر آن بر روابط خاک و گیاه بستگی دارد (۱۴).

بررسی زوال درختان بلوط (*Q. suber*) در منطقه مدیترانه نشان داد که علت اصلی آن عوامل مختلف زیستی و غیرزیستی، از جمله تغییرات آب و هوایی و کاهش فیزیولوژیکی درختان، افزایش شیوع بیماری و توسعه بیش از حد منابع جنگلی بوده است (۱۹).

کاهش سطح جنگل ناشی از تغییرات آب و هوایی یک پدیده جهانی است که بسیاری از گونه‌های درختان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مناطق مستعد خشکسالی در منطقه مدیترانه، در جنوب ایتالیا، دو گونه بلوط (*Q. cerris*; *Q. pubescens*) از سال ۲۰۰۰ به دلیل تنش خشکی علائم کاهش و افزایش مرگ و میر را نشان داده‌اند (۶). زوال جنگل‌های بلوط می‌تواند ناشی از افزایش ناهنجاری‌های آب و هوایی مانند موج گرما و خشکسالی باشد (۹ و ۷). هرچند تهیه نقشه خطر دقیق زوال در مرکز و غرب اسپانیا نشان داده است که عامل اصلی زوال استفاده بیش از حد از زمین و تغییر کاربری است (۱۲). به هرحال زوال جنگل‌های بلوط ممکن است پیامد اثرات منفی هم‌افزایی محدود کننده آب و هوا و میراث استفاده از زمین ناشی از استعمار بیش از حد انسان از یک اکوسیستم شکننده باشد (۲۲). آسیب‌پذیری جنگل‌ها به شدت تحت تأثیر تفاوت‌های منطقه‌ای در تأثیرات آب و هوایی و ظرفیت سازگاری است. در عرض‌های جغرافیایی بالا فصول طولانی‌تر و دمای گرم‌تر، زیستگاه و زیست توده مناسب برای بسیاری از گونه‌های معتدل را افزایش می‌دهد (۳۰). در گذشته انعطاف‌پذیری بالا و سازگاری با خشکسالی به راش (*Fagus*) و به بلوط (*Quercus*) نسبت داده می‌شد، اما راش بیشتر از بلوط در معرض خطر افزایش شدت خشکسالی در نتیجه تغییرات آب و هوایی قرار می‌گیرد (۲۱).

در مطالعات گاه‌شناسی درختان، ارتباط تغییرات پارامترهای اقلیمی بویژه دما و بارش بر زوال جنگل‌های بلوط نشان داده شده است. بررسی روابط آب و هوا و علت زوال بلوط در جنگل‌های منطقه مدیترانه از طریق رفتارهای گاه‌شناسی درختان سالم و درختان در حال زوال نشان داد که عرض حلقه چوب

بستگی مستقیم به بارش بهار و برعکس، به دمای بهار- تابستان دارد (۲۸). بررسی عوامل اقلیمی تاثیرگذار بر زوال درختان بلوط براساس دواير ساليانه رويشي درختان در توده‌های جنگلی بلوط ایرانی استان ایلام نشان داد که تقریباً از سال ۱۳۸۰ به بعد، میزان رویش کاهش پیدا کرده و از طرفی دیگر افزایش گردوغبار، افزایش دما و کاهش بارندگی سالیانه، باعث شده تا با توجه به استعداد منطقه، این گونه دچار استرس و تنش شود (۲). تاثیر عوامل اقلیمی به گونه‌ای است که حتی با بهبود شرایط ممکن است جبران خسارت امکان‌پذیر نباشد. با توجه به تاثیر عوامل ایجاد کننده زوال و در نتیجه کاهش فعالیت لایه زاینده، درختان احتمالاً توان رویش مجدد خود را از دست داده و حتی با بهبود شرایط اقلیمی امکان از سرگیری رویش در آنها وجود نخواهد داشت (۲۷). بررسی نقش تغییر اقلیم بر کاهش رشد بلوط با استفاده از مطالعات گاه‌شناسی یک بلوط (*Q. cerris*) کهنسال حفاظت شده در مرکز ایتالیا نشان داد که رویش بلوط‌های برگ‌ریز در محیط‌های مدیترانه‌ای با تعادل هیدرولوژیکی اواخر بهار و اوایل تابستان مرتبط است. در مقیاس‌های زمانی سالانه و دهه‌ای، کاهش رشد بلوط (*Q. cerris*) با واکنش تاخیری به اقلیم همراه بود (۱۰). اثر متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی بر پهنای حلقه‌های رویشی درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در ناحیه زاگرس میانی نشان داد که به علت گرم و خشک بودن منطقه، بارندگی و دما به ترتیب تاثیر مثبت و منفی بر رویش شعاعی درختان داشته است (۳۳). مقایسه پهنای حلقه های رویشی و اندازه و تعداد آوندها بر میزان ابتلای درختان به بیماری بین درختان سالم و زوال یافته بلوط ایرانی در منطقه دالاب استان ایلام نشان داد که مرگ بیشتر درختان در سال ۱۳۸۷ رخ داده است. تا قبل از دهه ۸۰، درختان زوال یافته با افزایش تعداد آوندها با خشکیدگی مقابله کردند اما از اوایل دهه ۸۰ تا زمان مرگ، درختان بیمار دیگر توان تولید آوند بیشتر را نداشتند (۲۴). بررسی تغییر غلظت عناصر شیمیایی موجود در چوب درختان زوال یافته بلوط ایرانی نسبت به درختان سالم نشان داد که در درختان زوال یافته بین غلظت

عناصر کلسیم و سرب با رویش شعاعی، همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، به نظر می‌رسد که از میان عوامل متعدد بروز پدیده زوال، تاثیر عوامل آب‌وهوایی بیشتر باشد (۲۵). در مطالعه مقایسه بیماریزایی بیمارگرهای عامل سرخشکیدگی و زوال درختان بلوط ایرانی در استان کرمانشاه، بررسی تاثیر دما بر رشد شعاعی گونه‌های بیمارگر نشان داد که هر سه گونه گرمادوست بوده و احتمال ارتباط این بیمارگرها با پدیده خشکسالی و گرمایش جهانی وجود دارد (۳۱). در پژوهشی، از روش‌های دندروکولوژی برای مطالعه پاسخ بلوط (*Q. robur*) به تغییرات آب و هوایی در منطقه پولیسایای کشور اوکراین استفاده شد. نتایج نشان داد که افزایش تاثیر دما و بارندگی بر رشد شعاعی بلوط در سال‌های ۱۹۸۰ - ۲۰۱۳، در مقایسه با ۱۹۴۶-۱۹۷۹، نشان‌دهنده افزایش حساسیت درخت بلوط به تغییرات آب و هوایی در دوره ۲۰۱۳-۱۹۸۰ است (۲۰). پهنه‌بندی خطر زوال جنگل‌های بلوط ایرانی در استان ایلام نشان داد که میانگین بارندگی، دما، تبخیر، رطوبت و گرد و غبار سالانه نقش عمده‌ای در کاهش بلوط ایرانی در منطقه دارد (۱). شناسایی مناطق مستعد خشکیدگی جنگل بلوط با استفاده از پارامترهای شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، دما و بارندگی، ریزگردها و خاک به عنوان معیارهای مؤثر در خشکیدگی نشان داد که مناطق جنوبی و غربی با افزایش ارتفاع، کاهش عمق خاک، افزایش دما و کاهش بارندگی، مستعد خشکیدگی شدید جنگل هستند (۱۸). برگ‌زدایی و مرگ و میر سالانه درختان بلوط همیشه‌سبز (*Q. ilex*) ناگهانی نیست و میراث خشکسالی را بیان می‌کند که با میانگین دمای سالانه، شاخص استاندارد بارش-تبخیر و تفرق و میزان مواد آلی خاک ارتباط دارد (۱۳). گرم شدن آب و هوا شدت و مدت خشکسالی و موج گرما را افزایش می‌دهد. بنابراین تغییرات آب و هوایی می‌تواند نابودی جنگل را در بسیاری از اکوسیستم‌های جهان، به ویژه در جنگل‌های نیمه خشک افزایش دهد (۲۶). بررسی خشکیدگی جنگل‌های زاگرس میانی نشان داد در سال ۱۳۹۱ درختان بلوط ایرانی

دارای خشکیدگی زیاد و خیلی زیاد (۱۳/۶ درصد) بودند که در سال ۱۳۹۳ به ۲۵/۴ درصد رسید (۱۲). پایش و ارزیابی تغییرات پوشش و زوال جنگل‌های بلوط ایرانی در استان لرستان در دوره آماری (۲۰۱۷-۲۰۰۰) با استفاده از مدل BFAST و تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که بیش از ۴۲۸۰۴ هکتار از جنگل‌های بلوط استان در اثر پدیده زوال از بین رفته است (۳۲). با استفاده از پارامترهای دما و بارش، شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از زمین‌های کشاورزی، جاده‌ها و تراکم جنگل به عنوان پارامترهای موثرتر بر کاهش جنگل‌های استان ایلام و براساس منطق فازی، نقشه مناطق حساس به زوال بلوط تهیه شد نتایج نشان داد که بیش از ۷۷ درصد جنگل‌های بلوط در استان بسیار مستعد زوال هستند (۲۳).

متغیر دما نقش عمده ای بر پراکنش جغرافیایی بلوط ایرانی دارد چرا که این گونه به جای متغیرهای بارش، پاسخ قوی‌تری به دما، نشان می‌دهد (۳۴). با توجه به پیامدهای مستقیم تغییرات دما بر بارش در مواردی همچون افزایش ذوب برف، تغییر شکل بارش‌ها از برف به باران، تغییرات زمانی بارش، افزایش تبخیر و تعرق و کاهش رطوبت خاک، تغییرات دما پیشران تغییر اقلیم بویژه در اکوسیستم‌های طبیعی محسوب می‌شود. لذا در این تحقیق شاخص‌های دمایی گرم آشکار کننده تغییر اقلیم در سایت‌های پایش زوال در استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفته است. آگاهی و شناخت تغییرات رخ داده در سایت‌های پایش زوال، مدیران و برنامه‌ریزان اکوسیستم جنگلی را در برنامه‌های سازگاری با تغییر اقلیم یاری می‌کند.

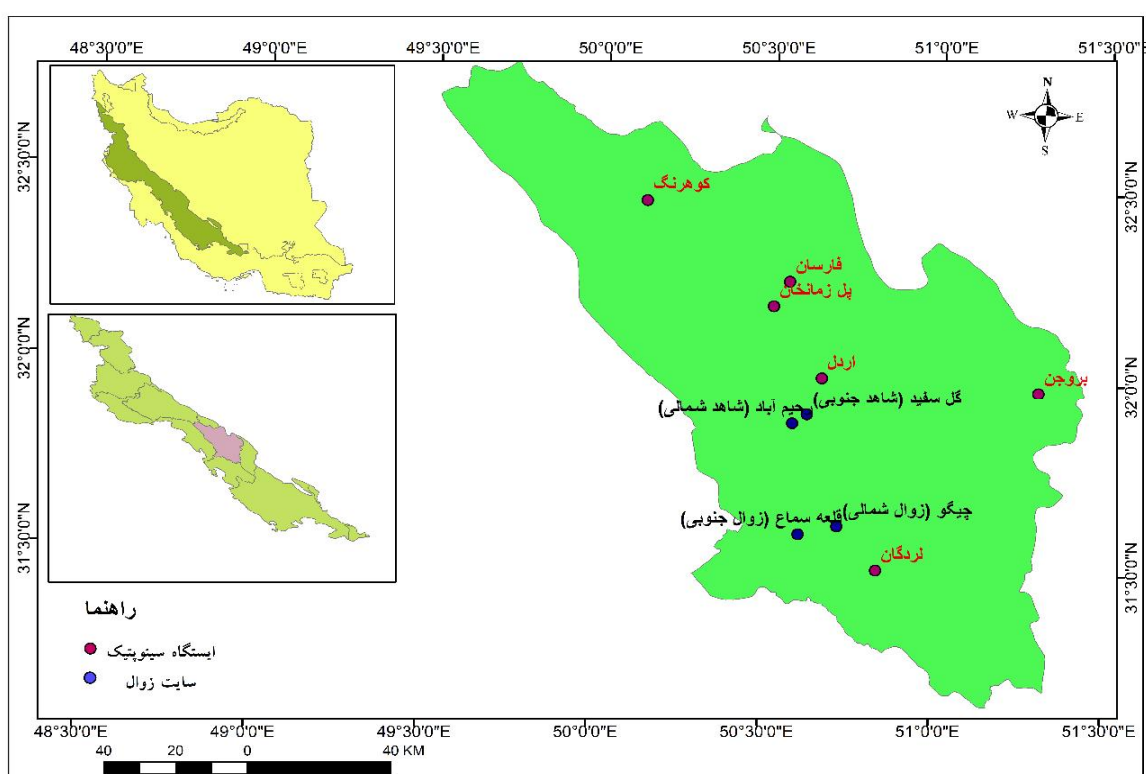
روش پژوهش

محدوده منطقه مورد مطالعه

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 گونه بلوط ایرانی تشکیل می‌دهد. زوال یا خشکیدگی بلوط یکی از آسیب‌های جدی در جنگل‌های بلوط است که بین سال‌های ۸۸ تا ۸۹ به جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری

رسید و هر روز بر وسعت آن در سراسر منطقه زاگرس افزوده می‌شود. با توجه به وسعت جنگل‌های بلوط، ۴ سایت پایش زوال در این استان جهت مطالعه انتخاب شده است که عبارتند از: (۱) سایت پایش زوال چیگو دامنه شمالی در ارتفاع ۱۹۹۰ متر، (۲) سایت پایش زوال قلعه‌سماع دامنه جنوبی در ارتفاع ۱۶۱۷ متر از سطح دریا در نزدیکی ایستگاه سینوپتیک لردگان، (۳) سایت پایش زوال رحیم‌آباد دامنه شمالی در ارتفاع ۱۸۵۳ متر و (۴) سایت پایش زوال گل‌سفید دامنه جنوبی در ارتفاع ۱۷۶۴ متر از سطح دریا. ایستگاه سینوپتیک اردل جهت پایش و آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم در محدوده سایت‌های پایش زوال انتخاب شد.

به منظور 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 آب و هوا (ET CCDI) و تیم متخصص در مورد خطر آب و هوا و شاخص‌های اقلیمی ویژه هر بخش (ET CRSCI) استفاده شد. برای این منظور از داده‌های نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک به سایت‌های پایش زوال استفاده شد. 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 جنوبی) و در فاصله ۱۴ کیلومتری سایت زوال رحیم‌آباد (زوال دامنه شمالی) قرار دارد. از آنجایی که در مناطق کوهستانی هر ایستگاه سینوپتیک تا ۵۰ کیلومتر می‌تواند پوشش داشته باشد از آمار روزانه این ایستگاه جهت بررسی و آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم براساس شاخص‌های استاندارد جهانی آشکار کننده استفاده شده است. از داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۹ استفاده شده است. قبل از محاسبه شاخص‌ها، داده‌های ورودی روزانه از نظر کیفیت و همگن بودن بررسی شد و براساس شاخص‌های استاندارد، به فرمت مورد نظر جهت ورود به مدل آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم



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

نتایج

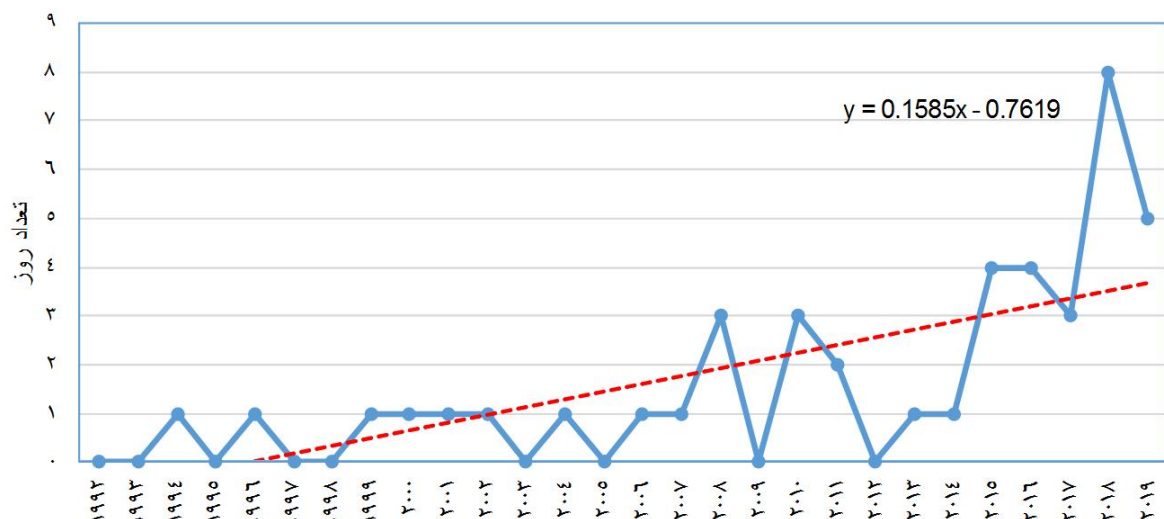
شاخص دو روز و دو شب متوالی گرم (2TX2TN)

بررسی شاخص دو روز و دو شب متوالی گرم در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو این شاخص با شیب خط ۰/۱۵۶ و $p = 0.0 = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌داری داشته است (شکل ۲). مقدار این شاخص در سال‌های اولیه مورد مطالعه صفر بوده و وجود نداشته و کم کم ظاهر شده است. به طوری که در سال ۲۰۱۸ رخداد آن به ۸ مورد رسیده است. تداوم رخداد گرما در این شاخص حائز اهمیت است و می‌تواند منجر به تنش خشکی در گیاهان و درختان جنگلی شود. بررسی این شاخص در ایستگاه اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص با شیب خط ۰/۱۶۴ و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌داری داشته است (شکل ۳). این شاخص در سال‌های اولیه مطالعه وجود نداشته و کم کم ظاهر شده است. در سال ۲۰۱۶ رخداد آن به ۶ مورد رسیده است.

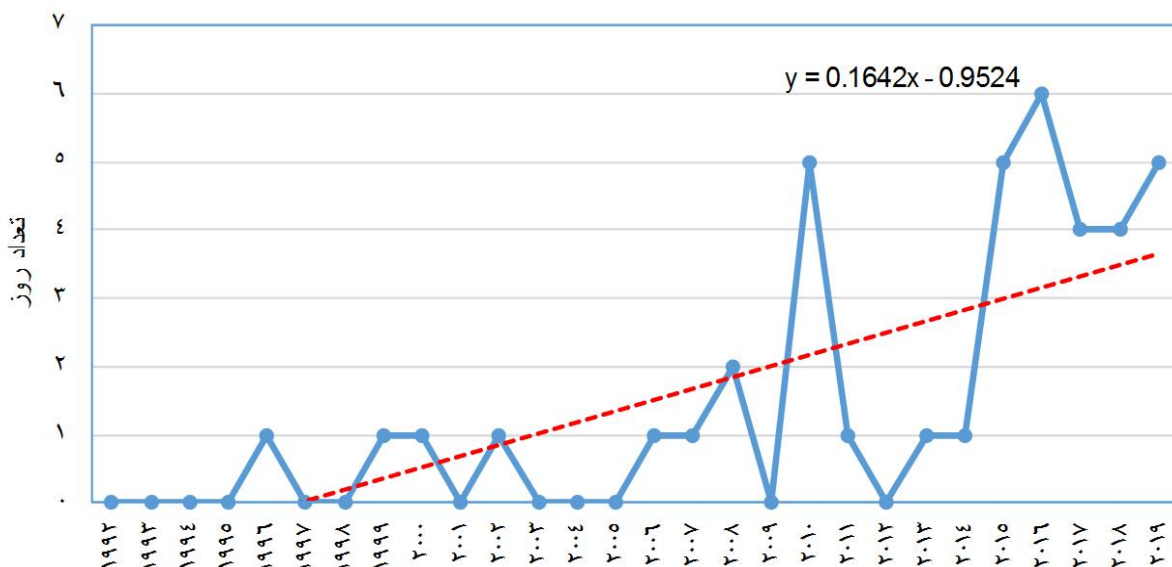
آماده شد. از نرم‌افزار ClimPACT جهت اجرای مدل استفاده شد. این نرم‌افزار در محیط R 2.10 اجرا شد. یکی از مزایای این نرم‌افزار آن است که قبل از محاسبه معیارها، کیفیت داده‌ها را بررسی و اطلاعات نادرست و داده‌های پرت را مشخص می‌کند. پس از اجرای مدل از بین ۶۱ خروجی که هر کدام کاربردهای خاص خود را دارند، شاخص‌های دمایی گرم آشکارکننده تغییر اقلیم در سایت‌های پایش زوال شامل فراوانی رخداد‌های دو روز و دو شب متوالی گرم، تعداد روزهای گرم، خیلی گرم و فوق‌العاده گرم، درصد شب‌های گرم، درصد روزهای گرم، درصد وقوع روزهای با دمای بالاتر از میانگین سالانه دما، دوره‌های گرم دو روزه و شش روزه استخراج شد (جدول ۱). روند تغییرات، خطای شیب روند و معنی‌داری تغییرات با $p = 0.05$ بر روی سری داده‌ها به روش رگرسیون خطی استخراج شد. و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جدول ۱. شاخص‌های دمای گرم آشکار کننده تغییر اقلیم

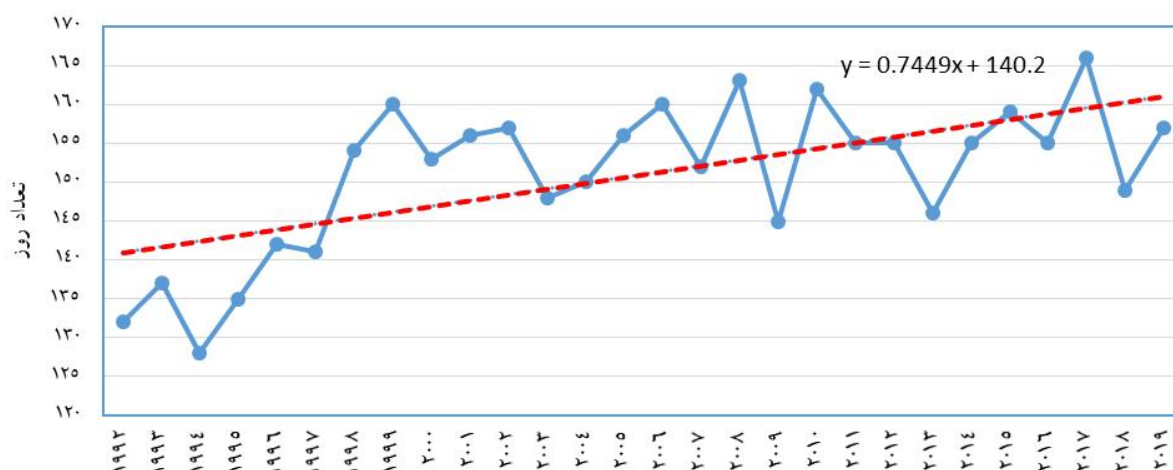
واحد	توضیحات	شاخص	مشخصه	
روز	Annual count of n consecutive days where both TX > 95th percentile and TN > 95th percentile, where n >= 2 (and max of 10)	تعداد دو روز و دو شب متوالی گرم	2TX2TN	۱
روز	Annual count when TX > 25°C	تعداد روزهای تابستان یا روزهای گرم	SU25	۲
روز	Annual count when TX >= 30°C	تعداد روزهای داغ یا روزهای خیلی گرم	SU30	۳
روز	Annual count when TX >= 35°C	تعداد روزهای خیلی داغ یا روزهای فوق العاده گرم	SU35	۴
%	Percentage of time when daily min temperature > 90th percentile	درصد فراوانی وقوع شب‌های گرم	TN90p	۵
%	Percentage of time when daily max temperature > 90th percentile	درصد فراوانی وقوع روزهای گرم	TX90p	۶
%	Percentage of days of days where TX > 50th percentile	درصد روزهایی با دمای بالاتر از میانگین حداکثر سالانه	TX50p	۷
روز	Annual count of days with at least n consecutive days when TX > 90th percentile where n >= 2 (and max 10)	دوره گرم دو روزه	WSDI2	۸
روز	Annual count of days with at least 6 consecutive days when TX > 90th percentile	دوره گرم شش روزه	WSDI6	۹



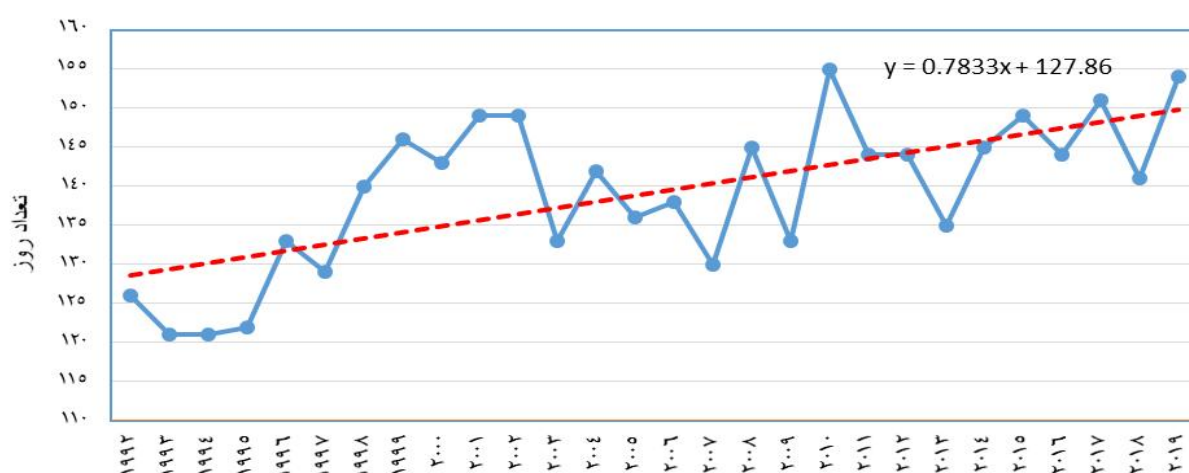
شکل ۲. تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دو روز و دو شب متوالی گرم در سایت‌های زوال چیگو-قلعه سماع



شکل ۳. تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دو روز و دو شب متوالی گرم در سایت‌های زوال رحیم‌آباد و گل سفید



شکل ۴. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای گرم در سایت‌های زوال قلعه سماع - چیگو



شکل ۵. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای گرم در سایت‌های زوال رحیم‌آباد و گل سفید

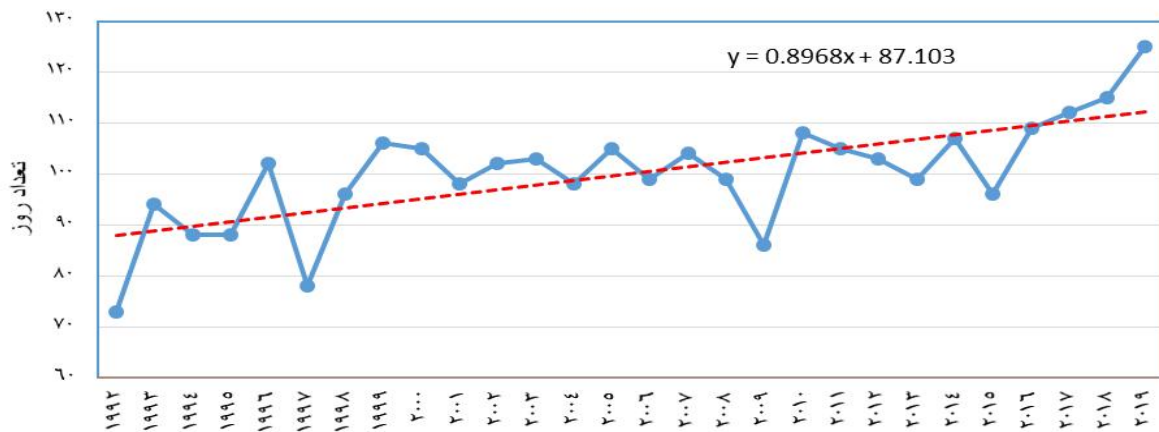
شاخص تعداد روزهای گرم (SU25)

بررسی شاخص تعداد روزهای گرم یا روزهای تابستان در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو این شاخص با شیب خط 0.745° و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌داری داشته است (شکل ۴). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۲ روز افزایش داشته است. در سال ۲۰۱۷ رخداد آن حداکثر و به ۱۶۶ روز گرم رسیده است. بررسی تعداد روزهای گرم در ایستگاه اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص با شیب خط 0.783° و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی

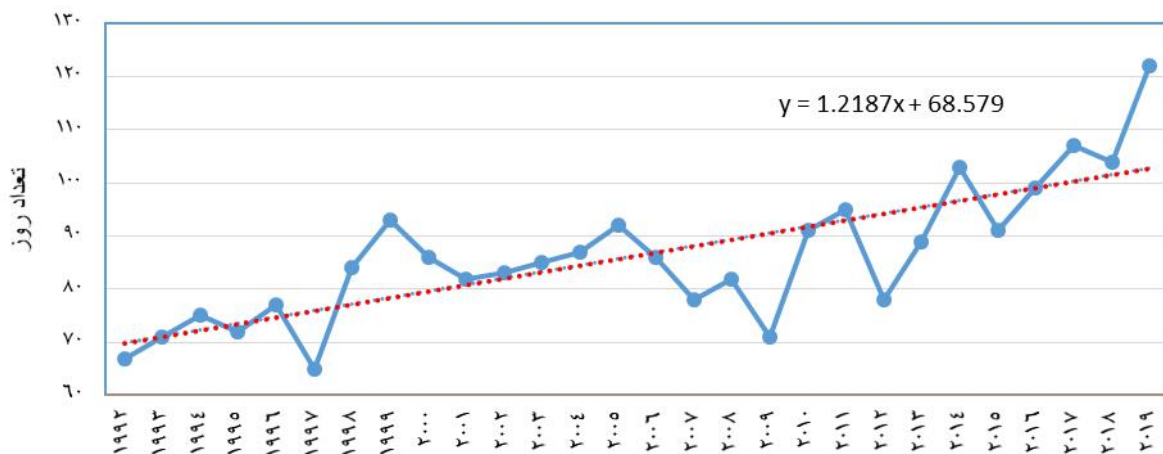
داری داشته است (شکل ۵). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۳ روز افزایش را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۰ تعداد رخداد آن حداکثر و به ۱۵۵ روز گرم و در سال ۲۰۱۹ به ۱۵۴ روز گرم رسیده است.

شاخص روزهای خیلی گرم (SU30)

بررسی شاخص تعداد روزهای خیلی گرم در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو این شاخص با شیب خط 0.897° و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی داری داشته است (شکل ۶). این شاخص در طول دوره



شکل ۶. شیب تغییرات روند و معنی داری شاخص روزهای خیلی گرم در سایت‌های زوال چیگو-قلعه سماع



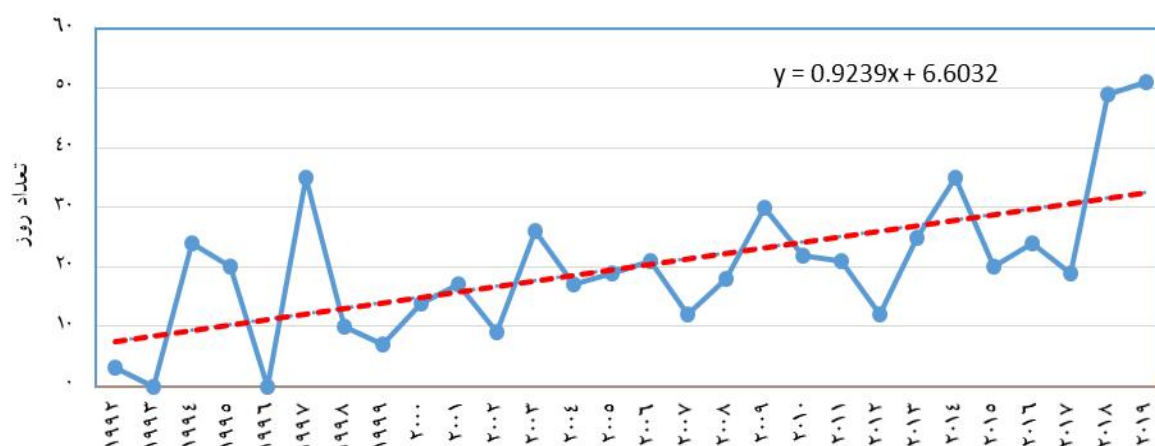
شکل ۷. شیب تغییرات روند و معنی داری شاخص روزهای خیلی گرم در سایت‌های زوال رحیم‌آباد و گل سفید

لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو این شاخص با شیب خط 0.924 و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی داری داشته است (شکل ۸). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۸ روز افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۵۰ روز فوق‌العاده گرم رسیده است. بررسی شاخص تعداد روزهای فوق‌العاده گرم در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص با شیب خط 0.761 و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌داری داشته است (شکل ۹). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۳ روز افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۳۷ روز فوق‌العاده گرم رسیده است.

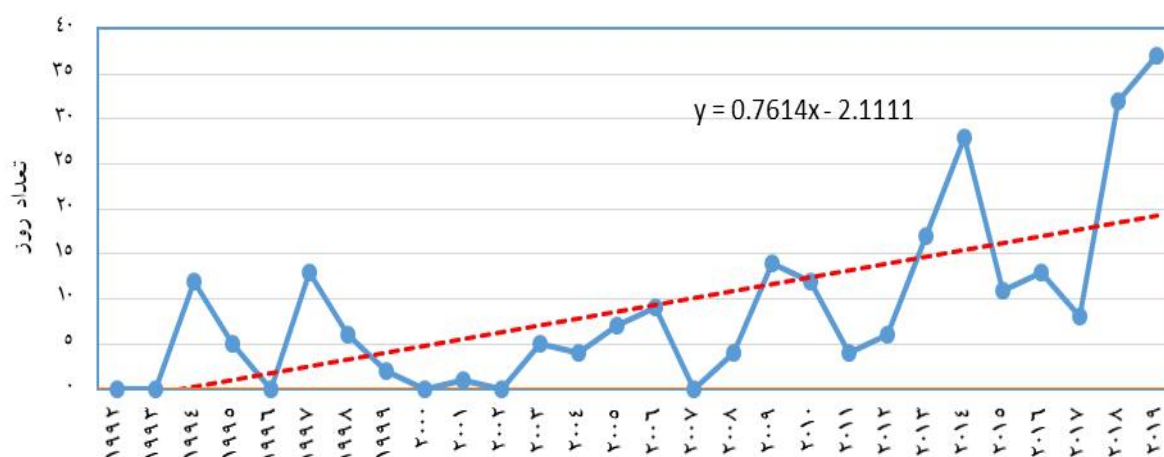
آماري مورد مطالعه ۲۷ روز افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۱۲۵ روز خیلی گرم رسیده است. بررسی شاخص تعداد روزهای خیلی گرم در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص با شیب خط 1.219 و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌داری داشته است (شکل ۷). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۳۷ روز افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۱۲۲ روز خیلی گرم رسیده است.

شاخص روزهای فوق‌العاده گرم (SU35)

بررسی شاخص روزهای فوق‌العاده گرم در ایستگاه سینوپتیک



شکل ۸. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای فوق‌العاده گرم در سایت‌های زوال چیگو - قلعه سماع



شکل ۹. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص روزهای فوق‌العاده گرم در سایت‌های زوال رحیم‌آباد و گل سفید

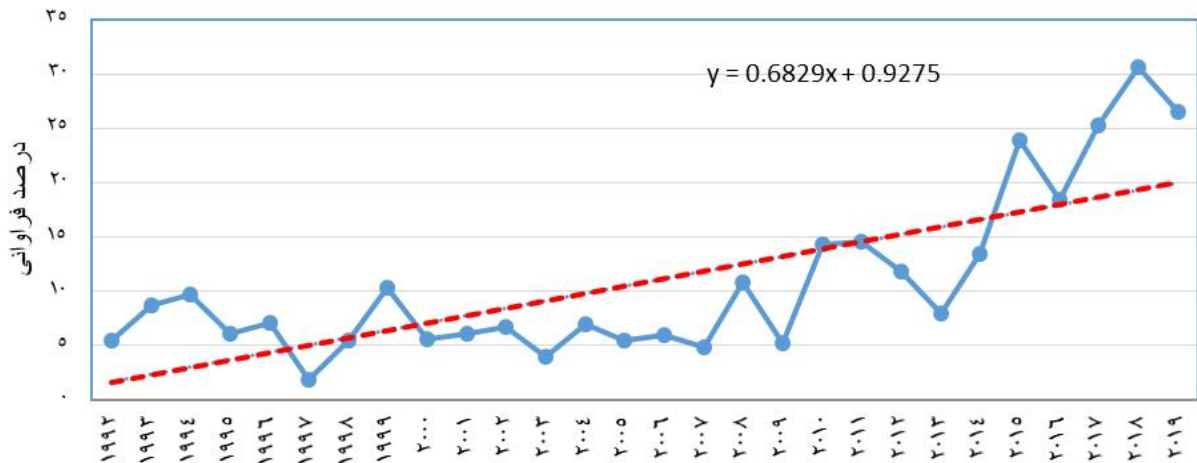
۱۱). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۵ رخداد آن حداکثر و به ۲۷ درصد رسیده است.

شاخص درصد فراوانی روزهای گرم (TX90p)

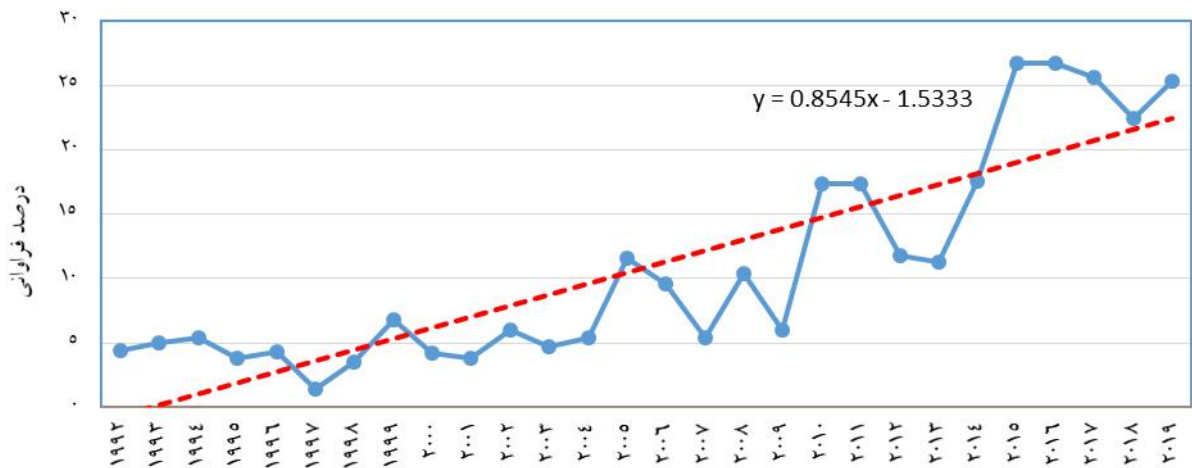
بررسی شاخص تغییرات روند درصد وقوع روزهای گرم در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت قلعه سماع و چیگو این شاخص با شیب خط ۰/۴۸۱ و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌داری داشته است (شکل ۱۲). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۱۴/۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به

شاخص درصد فراوانی شب‌های گرم (TN90p)

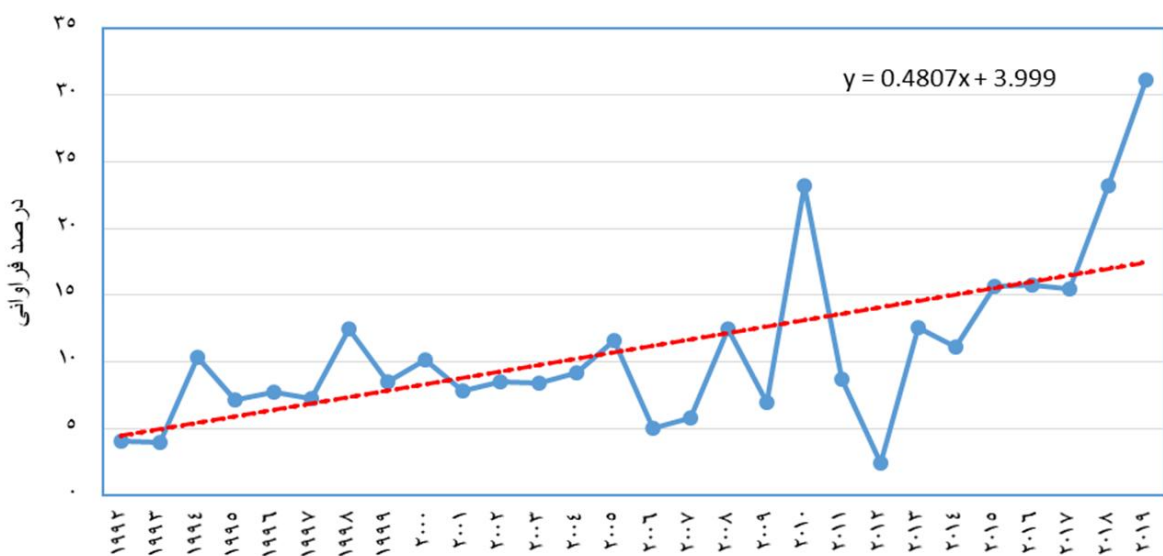
بررسی شاخص تغییرات روند درصد وقوع شب‌های گرم در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو این شاخص با شیب خط ۰/۶۸۳ و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌داری داشته است (شکل ۱۰). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۰ درصد افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۸ رخداد آن حداکثر و به ۳۰ درصد رسیده است. بررسی شاخص تغییرات روند درصد وقوع شب‌های گرم در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص با شیب خط ۰/۸۵۵ و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌داری داشته است (شکل



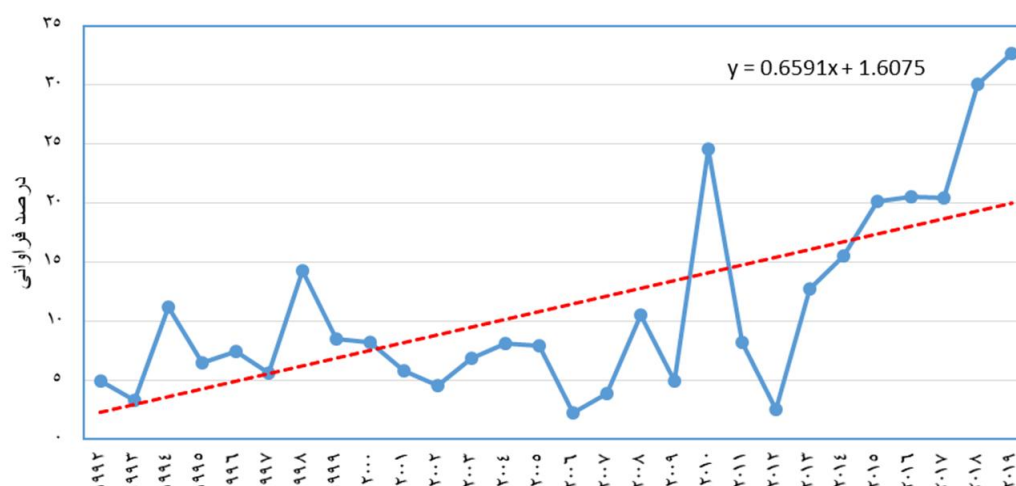
شکل ۱۰. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص درصد فراوانی رخداد شب‌های گرم در سایت‌های زوال چیگو-قلعه سماع



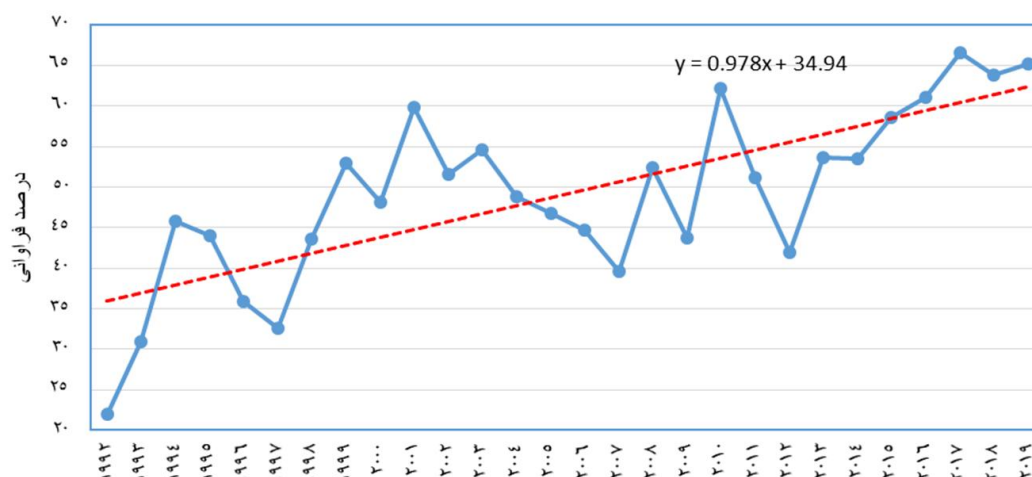
شکل ۱۱. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص درصد فراوانی رخداد شب‌های گرم در سایت‌های زوال رحیم‌آباد و گل سفید



شکل ۱۲. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص درصد فراوانی رخداد روزهای گرم در سایت‌های زوال چیگو-قلعه سماع



شکل ۱۳. شیب تغییرات روند و معنی داری شاخص درصد فراوانی رخداد روزهای گرم در سایت‌های زوال رحیم‌آباد و گل سفید



شکل ۱۴. شیب تغییرات روند و معنی داری شاخص درصد فراوانی دمای بالاتر از میانگین دمای حداکثر سالانه در سایت‌های زوال چیگو - قلعه سماع

با دمای بالاتر از میانگین دمای حداکثر سالانه ایستگاه لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو این شاخص با شیب خط 0.978 و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی دار داشته است (شکل ۱۴). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه $29/3$ درصد افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال 2016 رخداد آن حداکثر و به 68 درصد رسیده است بررسی تغییرات روند تغییرات درصد وقوع روزهای با دمای بالاتر از میانگین سالانه در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص با شیب خط $1/167$ و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی دار داشته است (شکل ۱۵). این شاخص در طول دوره

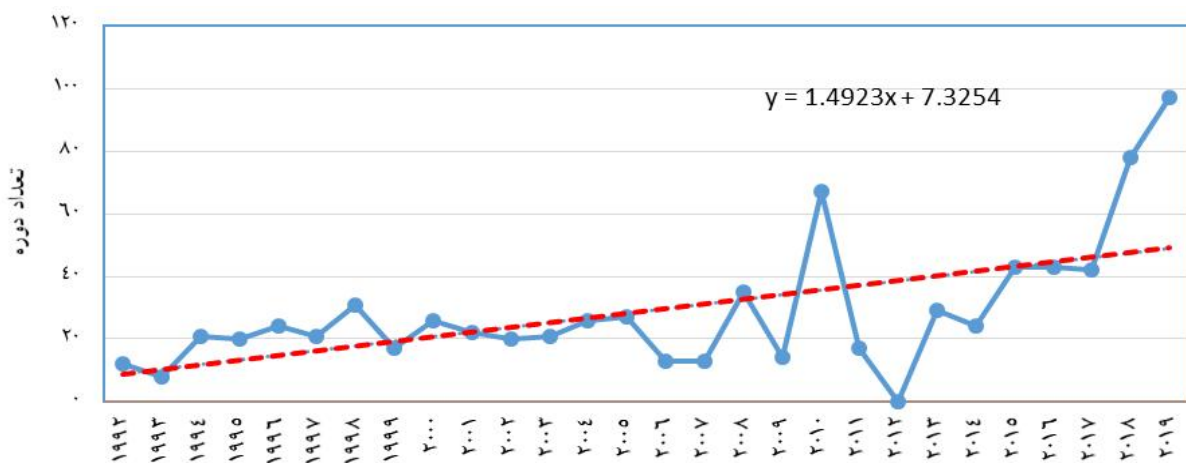
30 درصد رسیده است. بررسی شاخص تغییرات روند درصد وقوع روزهای گرم در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص با شیب خط 0.660 و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی داری داشته است (شکل ۱۳). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه 20 درصد افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال 2019 رخداد آن حداکثر و به 33 درصد رسیده است.

شاخص درصد فراوانی دمای بالاتر از میانگین دمای حداکثر سالانه (TX50p)

بررسی شاخص تغییرات روند تغییرات درصد وقوع روزهای



شکل ۱۵. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص درصد فراوانی دمای بالاتر از میانگین دمای حداکثر سالانه در سایت‌های زوال رحیم‌آباد و گل سفید



شکل ۱۶. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دوره گرم دو روزه در سایت‌های زوال چیگو-قلعه سماع

۹۹ روز رسیده است. بررسی شاخص روند تغییرات تعداد روزهای گرم دو روزه در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص روند افزایشی و معنی‌دار داشته است (شکل ۱۷). این شاخص با شیب خط $p = 0.0$ و $1/922$ در طول دوره آماری مورد مطالعه ۵۸ روز افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۱۰۵ روز رسیده است

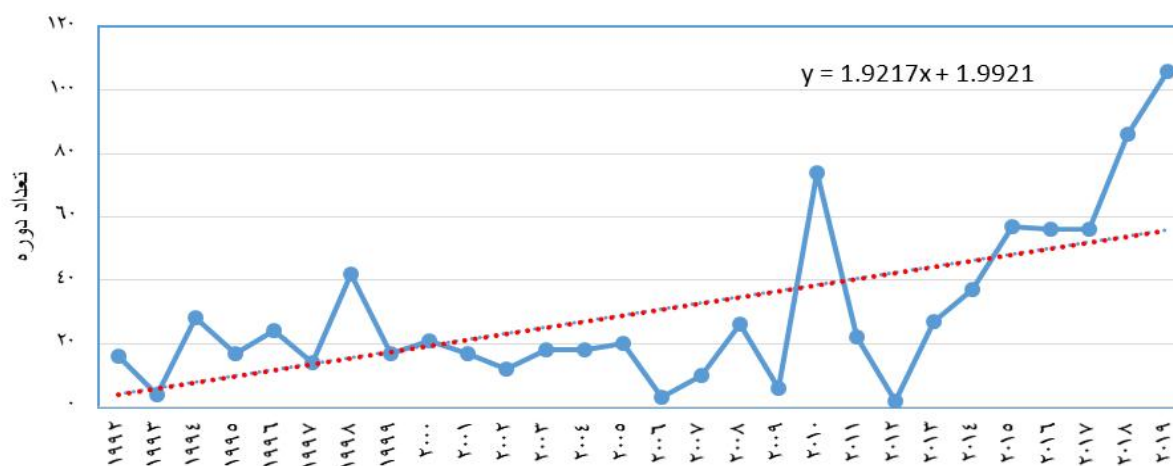
شاخص دوره گرم شش روزه (WSDI6)

بررسی شاخص تعداد روزهای گرم شش روزه در ایستگاه

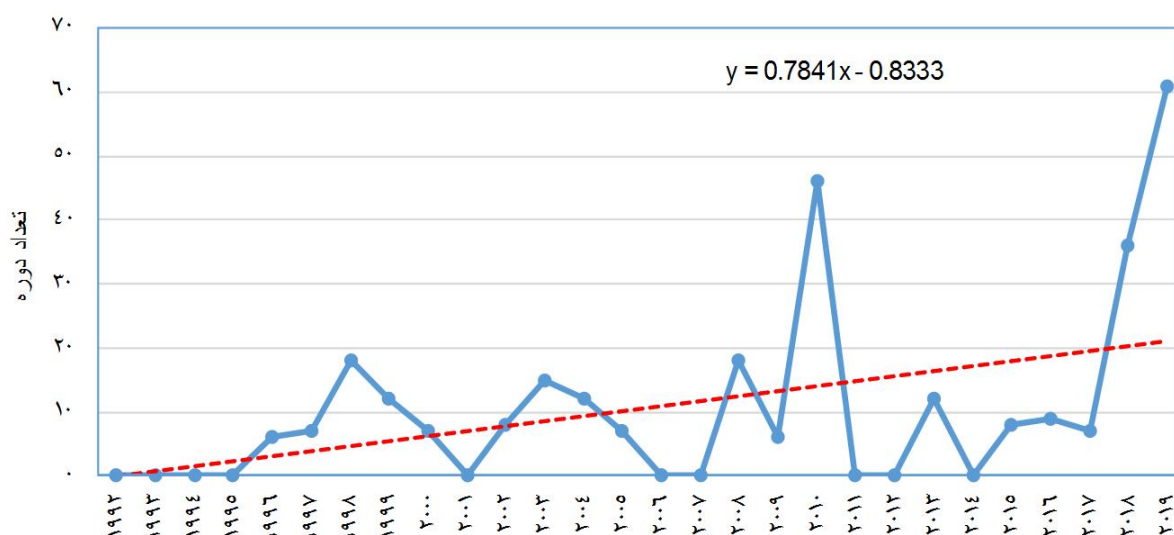
آماري مورد مطالعه ۳۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۷ رخداد آن حداکثر و به ۷۵ درصد رسیده است.

شاخص دوره گرم دو روزه (WSDI2)

بررسی شاخص روند تغییرات تعداد روزهای گرم دو روزه در ایستگاه سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو این شاخص با شیب خط $1/492$ و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌دار داشته است (شکل ۱۶). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۴۹ روز افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به



شکل ۱۷. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دوره گرم دو روزه در سایت‌های زوال گل سفید و رحیم‌آباد



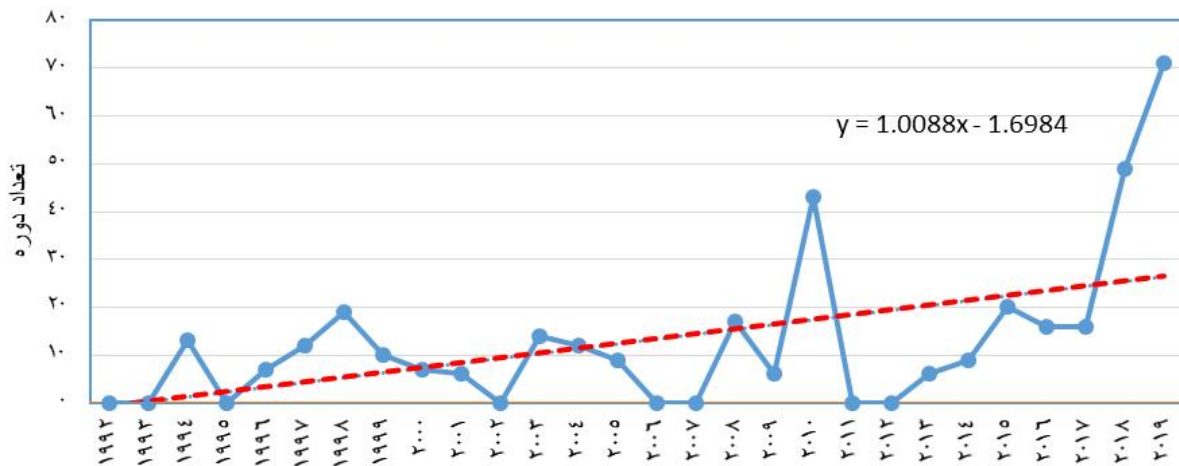
شکل ۱۸. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دوره گرم شش روزه در سایت‌های زوال چیگو-قلعه سماع

نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۷۰ روز رسیده است.

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین چالش‌های منابع طبیعی ایران زوال جنگل‌های بلوط زاگرس است. افزایش دما در سال‌های اخیر، فصل رویش بلوط ایرانی را طولانی‌تر کرده و با توجه به نبود بارندگی، شدت استرس‌های آبی برای این گونه جنگلی افزایش یافته است (۳۱). عوامل متعددی در خشکیدگی و زوال جنگل‌های زاگرس موثر است. رخداد پدیده تغییر اقلیم در بوم سازگان

سینوپتیک لردگان نشان داد که در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو این شاخص با شیب خط 0.0784 و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌دار داشته است (شکل ۱۸). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۹ روز افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۱۶ رخداد آن حداکثر و به ۵۸ روز رسیده است. بررسی شاخص تعداد روزهای گرم شش روزه در ایستگاه سینوپتیک اردل نشان داد که در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص با شیب خط 1.9217 و $p = 0.0$ روند افزایشی و معنی‌دار داشته است (شکل ۱۹). این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۳۰ روز افزایش را



شکل ۱۹. شیب تغییرات روند و معنی‌داری شاخص دوره گرم شش روزه در سایت‌های زوال رحیم‌آباد- گل سفید

تغییر اقلیم (۱۷). زوال بلوط ایرانی در استان ایلام با تغییر اقلیم (۵) تحلیل فضایی ارتباط خشکیدگی جنگل بلوط ایرانی با خشکسالی‌های اخیر در استان ایلام (۳). خشکسالی و گرمایش جهانی در زوال جنگل‌های بلوط ایرانی استان کرمانشاه (۳۱). رابطه متغیرهای اقلیمی با غلظت عناصر شیمیایی چوب درختان سالم و زوال‌یافته بلوط ایرانی در استان لرستان (۲۵). تمام این مطالعات به ارتباط یک یا چند پارامتر اقلیمی و یا یک شاخص اقلیمی مانند خشکسالی با زوال درختان جنگل بویژه درختان بلوط پرداخته‌اند اما در پژوهش حاضر با استفاده از شاخص‌های استاندارد جهانی آشکار کننده رخداد تغییر اقلیم تعریف شده و مورد تایید سازمان جهانی هواشناسی و کمیته جهانی اقلیم شناسی، رخداد تغییر اقلیم در محدوده دو سایت پایش زوال در زاگرس مرکزی آشکارسازی شده است.

پایش محدوده‌های زوال پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان داد محدوده‌ای معادل ۳۳۹۳۷ هکتار از جنگل‌ها و مراتع استان در ۲۳ سال گذشته به پدیده زوال دچار شده است (۳۵). با توجه به ارتباط بین عوامل اقلیمی و رخداد زوال زاگرس این فرض که در این منطقه رخداد تغییر اقلیم رخ داده است یا نه در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم در استان چهارمحال و بختیاری در چهار

زاگرس یکی از مهم‌ترین این عوامل می‌باشد. تغییر اقلیم و بویژه تغییرات دما با افزایش تبخیر و کاهش رطوبت زمینه لازم برای حضور آفات و بیماری‌ها را فراهم نموده است (۳). ارتباط بین زوال بلوط و عوامل اقلیمی در تحقیقات پژوهشگران خارجی و داخلی کاملاً مشهود است. به عنوان نمونه: ارتباط زوال با خشکسالی و تغییرات اقلیمی (۶)، کاهش شدید بارندگی در نیمسال اول سال و زوال بلوط (*Q. cerris*; *Q. pubescens*; *Q. frainetto*) در آپنین لوکانیان (جنوب ایتالیا) (۹). ارتباط بین بارش بهار و زوال بلوط در جنگل‌های منطقه مدیترانه (۲۸). ارتباط برگ‌زدایی و مرگ و میر سالانه درختان بلوط همیشه سبز (*Q. ilex*) با میانگین دمای سالانه و شاخص استاندارد بارش-تبخیر و تعرق (۱۳)، افزایش تأثیر دما و بارندگی بر رشد شعاعی بلوط (*Q. robur*) و حساسیت درختان به تغییرات اقلیمی (۲۰). ارتباط بین عوامل اقلیمی و تبخیر/تعرق مرجع با زوال بلوط ایرانی در جنگل‌های استان لرستان (۴). از دست رفتن سریع رطوبت خاک و تشدید اثر تنش‌های رطوبتی و زوال بلوط (۱۶). ارتباط بین تغییر پارامترهای اقلیمی و تبخیر و تعرق مرجع با زوال اکوسیستم های جنگل در ناحیه زاگرس شمالی (۱۱). ارتباط ریزش جنگل در دورود استان لرستان با بارندگی و دما (۱۵). ارتباط زوال و خشکیدگی جنگل‌های بلوط ایرانی استان ایلام و خشکسالی و

سایت پایش زوال آشکارسازی رخداد تغییر اقلیم مدل‌سازی و شاخص‌های دمایی گرم آشکارکننده تفکیک و تجزیه و تحلیل شد. شاخص دو روز و دو شب متوالی گرم در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو و دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد روند افزایشی و معنی‌داری داشته است. این شاخص در سال‌های اولیه مورد مطالعه مقدار آن صفر بوده و وجود نداشته و کم‌کم ظاهر شده است. تداوم رخداد گرما در این شاخص حائز اهمیت است و می‌تواند منجر به تنش خشکی در گیاهان و درختان جنگلی شود. شاخص تعداد روزهای گرم در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۲ روز افزایش داشت به طوری که در سال ۲۰۱۷ رخداد آن حداکثر و به ۱۶۶ روز گرم رسیده است در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص ۲۳ روز افزایش داشت و در سال ۲۰۱۰ تعداد رخداد آن حداکثر و به ۱۵۵ روز گرم و در سال ۲۰۱۹ به ۱۵۴ روز گرم رسیده است. شاخص روزهای خیلی گرم در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۷ روز افزایش را نشان داد به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۱۲۵ روز خیلی گرم رسیده است. در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص ۳۷ روز افزایش را نشان داد به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۱۲۲ روز خیلی گرم رسید. شاخص روزهای فوق العاده گرم در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۸ روز افزایش را نشان داد به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۵۰ روز فوق العاده گرم رسیده است. در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص ۲۳ روز افزایش را نشان داد به طوری که در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۳۷ روز فوق العاده گرم رسید. شاخص درصد فراوانی شب‌های گرم در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۰ درصد افزایش را نشان داد. در سال ۲۰۱۸ رخداد آن حداکثر و به ۳۰ درصد رسید. در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص ۲۶ درصد افزایش داشت و در سال ۲۰۱۵ رخداد آن حداکثر و به ۲۷ درصد رسید. شاخص درصد فراوانی

روزهای گرم در دو سایت قلعه سماع و چیگو در طول دوره آماری مورد مطالعه ۱۴/۴ درصد افزایش را نشان داد. در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۳۰ درصد رسیده است. در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص ۲۰ درصد افزایش داشت و در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۳۳ درصد رسید. شاخص درصد فراوانی دمای بالاتر از میانگین دمای سالانه در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۹/۳ درصد افزایش را نشان داد. به طوری که در سال ۲۰۱۶ رخداد آن حداکثر و به ۶۸ درصد رسید. در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص ۳۵ درصد افزایش داشت و در سال ۲۰۱۷ رخداد آن حداکثر و ۷۵ درصد بود. شاخص دوره گرم در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو در طول دوره آماری مورد مطالعه ۴۹ روز افزایش را نشان داد. در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۹۹ روز رسید. در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص ۵۸ روز افزایش را نشان داد. در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۱۰۵ روز بوده است. شاخص دوره گرم شش روزه در دو سایت زوال قلعه سماع و چیگو این شاخص در طول دوره آماری مورد مطالعه ۲۹ روز افزایش را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۶ رخداد آن حداکثر و به ۵۸ روز رسیده است. در دو سایت زوال گل سفید و رحیم‌آباد این شاخص ۳۰ روز افزایش را نشان داد و در سال ۲۰۱۹ رخداد آن حداکثر و به ۷۰ روز رسید.

تمام شاخص‌های دمایی گرم آشکارکننده تغییر اقلیم در تمام سایت‌های زوال در استان چهارمحال و بختیاری دارای روند افزایشی و معنی‌دار هستند. در بین شاخص‌های گرم آشکارکننده تغییر اقلیم شاخص دو روز و دو شب متوالی گرم قبلاً در سایت‌های زوال وجود نداشته اما از سال ۲۰۰۵ همزمان با زوال درختان بلوط با شیب تندی ظهور پیدا کرده است. تمام شاخص‌هایی دمایی گرم بیشترین افزایش را در دهه اخیر بویژه سال ۲۰۱۹ تجربه کرده‌اند. شاخص درصد فراوانی شب‌های گرم براساس دما حداقل شبانه نسبت به شاخص درصد فراوانی روزهای گرم که براساس دمای حداکثر روزانه محاسبه می‌شود،

بنابراین مدیران و برنامه‌ریزان اکوسیستم جنگلی باید راهکارهای سازگاری با این تغییرات را جهت حفظ و احیاء در دستور کار برنامه‌های اجرایی خود داشته باشند تا زاگرس بتواند بعنوان یک اکوسیستم جنگلی ادامه حیات داشته باشد. باوجودیکه رخداد پدیده تغییر اقلیم یکی از مهمترین عوامل خشکیدگی و زوال جنگل‌های زاگرس است اما حفاظت و احیاء اکوسیستم‌های جنگلی بلوط می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم کمک کند (۳۶) و در صورت بهینه‌سازی استراتژی‌های مدیریت محلی در کاهش گرمایش زمین نقش داشته باشند (۲۹).

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه ملی آشکارسازی روند تغییر اقلیم و پایش خشکسالی و گردوغبار در سایه‌های زوال جنگل‌های زاگرس مصوب موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور می‌باشد که بدینوسیله از مسئولین ذیربط قدردانی بعمل می‌آید.

افزایش بیشتری را نشان داده است که مبین افزایش بیشتر دماهای کمینه نسبت به دماهای بیشینه است که می‌تواند ناشی از افزایش جمعیت و شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی و یا کاهش پوشش جنگل و تبدیل آن به مرتع، کشاورزی و سایر کاربری‌ها و غیره باشد. در شاخص‌های مربوط به تداوم‌های دو روزه و ۶ روزه دوره گرم دو سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ در همه سایت‌ها از اهمیت و افزایش شایانی برخوردار است چرا که تداوم گرما استرس‌های ناشی از کم‌آبی و خشکی را افزایش داده موجب ضعف فیزیولوژی درختان شده و زمینه را برای حمله بیشتر آفات و خشکیدگی درختان فراهم می‌کند. با توجه به روند افزایش گرمایش جهانی و با توجه به موقعیت اکوسیستم جنگلی زاگرس در استان چهارمحال و بختیاری که نسبت به بسیاری از مناطق زاگرس با افزایش دمای بیشتری همراه است. رخداد تغییر اقلیم و افزایش دما منجر به از دست دادن رطوبت و خشکی بیش از حد گیاهان و درختان در زاگرس شده و به شدت و وسعت و فراوانی آتش‌سوزی‌ها، به هردلیل دیگری چه انسانی و چه طبیعی، در سال‌های اخیر کمک کرده است.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, R., H. Kiadaliri, A. Mataji and S. Kafaki. 2014. Oak forest decline zonation using AHP model and GIS technique in Zagros forests of Ilam province. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(3), 141-50.
- Ahmadi, R., H. Fathi, J. Nouri Nejad, and A. Jafarzadeh. 2018. 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*.
- Asgari, S., T. Razi, A. Hosseini and NajafifarA., 2021. Temporal-spatial analysis of drought and oak trees dieback of Zagros forests in Ilam Province. *Ecology of Iranian Forest*, (17):86-96. (In Persian)
- Attarod, P., S. M. Sadeghi, F. Taheri Sartshanizi, S. Saroei, P. Abbasian, M. Masihpoor, F. Kordrostami and A. Dirikvandi. 2016. The effect of climatic factors and evapotranspiration on the decline of Central Zagros forests in Lorestan province. *Research on Protection and Conservation of Forests and Rangelands of Iran*, 13 (2), 97-112. (In Persian)
- Bedrood, F., H. Ghazamfari and A. Valipour. 2021. Application of the Logical Framework Analysis for planning and evaluation of oak decline's forest management plan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 29(1), 53-64. (In Persian)
- Clatterbuck, W.K. and B.W. Kauffman. 2006. Managing oak decline. Professional hardwood notes, University of Kentucky's Cooperative Extension Publication FOR-099, *University of Tennessee, Knoxville, Tennessee*, 6p.
- 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), 3–8 April 2022 in Vienna, Austria.
- Colangelo, M., J. Camarero, M. Borghetti, T. Gentilesca, J. Oliva, M.A. Redondo and F. Ripullone. 2018. Drought and Phytophthora are associated with the decline of oak species in southern Italy. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1595.
- Conte, A. L., R. Di Pietro, D. Iamónico, P. Di Marzio, G. Cillis, D. Lucia, and P. Fortini. 2019. Oak decline in the Mediterranean basin: a study case from the southern Apennines (Italy). *Plant Sociology*, 56(2), 69-80.

10. Di Filippo, A., A. Alessandrini, F. Biondi, S. Blasi, L. Portoghesi, and G. Piovesan. 2010. Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy. *Annals of Forest Science*, 67(7), 706-706.
11. Dolatshahi, A., P. Attarod, G. Zahedi, M. Sadeghi and V. Bayramzadeh. 2017. Trends of meteorological parameters and reference evapotranspiration in the northern Zagros region. *Forest and Wood Products*, 70(2), 251-260. (In Persian)
12. Fallah, A. and M. Haidari. 2018. Investigating the oak decline in different crown-dimensions in middle Zagros forests (Case study: Ilam). *Ecology of Iranian Forest*, 6(12), 9-17.
13. Gea-Izquierdo, G., F. Natalini and E. Cardillo. 2021. Holm oak death is accelerated but not sudden and expresses drought legacies. *Science of the Total Environment*, 754, 141793.
14. García-Angulo, D., A. M. Hereş, M. Fernández-López, O. Flores, M.J. Sanz, A. Rey and J.C. Yuste. 2020. Holm oak decline and mortality exacerbates drought effects on soil biogeochemical cycling and soil microbial communities across a climatic gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 149, 107921.
15. Goodarzi, M., M. Pourhashemi and Z. Azizi. 2017. Investigation on Zagros forests cover changes under the recent droughts using satellite imagery. *Journal of Forest Science* 2019, 65(1), 9-17. (In Persian)
16. Hosseinzadeh, J and M. Pourhashemi. 2017. Emergence of desiccation within Zagros forests decline. *Nature of Iran*, 2 (4), 18-21. (In Persian)
17. Karamian M., Mirzaei J. 2020. The Most Important Factors Affecting Persian Oak (*Quercus brantii*) Decline in Ilam Province. *Ecology of Iranian Forest*, 8 (15), 93-103. (In Persian)
18. Kouh Soltani, S., A. Alesheikh, B. Ghermezcheshmeh and S. Mehri. 2018. An evaluation of potential oak decline Forest of the Zagros using GIS, RS, FAHP methods. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 5(2), 713-725.
19. Kim, H. N., H. Y. Jin, M.J. Kwak, I. Khaine, H.N. You, T.Y. Lee and S.Y. Woo. 2017. Why does *Quercus suber* species decline in Mediterranean areas? *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10(3), 337-341.
20. Koval, I., V. Meshkova, N. Maksymenko, C.C. Roibu and I. Obolonik. 2021. Assessment of Climate Change by Dendrochronological Methods in Polissya. In *SHS Web of Conferences* (Vol. 100, p. 05005). EDP Sciences.
21. Meyer, B. F., A. Buras, A. Rammig and C.S. Zang. 2020. Higher susceptibility of beech to drought in comparison to oak. *Dendrochronologia*, 64, 125780.
22. Moreno-Fernández, D., A. Ledo, D. Martín-Benito, I. Cañellas and G. Gea-Izquierdo. 2019. Negative synergistic effects of land-use legacies and climate drive widespread oak decline in evergreen Mediterranean open woodlands. *Forest Ecology and Management*, 432, 884-894.
23. Motlagh, M. G and M. Kiadaliri. 2021. Zoning of areas with susceptibility to oak decline in Western Iran. *Quaestiones Geographicae*, 40(1), 75-83.
24. Najafi Harsini, F., R. Oladi, K. Pourtahmasi. 2018. The Mutual Relationship between Early wood Vessel Features of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) and Tree Mortality. *Iranian Journal of Forest*, 10(2), 167-179.
25. Ostakh, E., J. Soosani, A. Abdolkhani and H. Naghavi. 2019. 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*, 27(4), 413-424. (In Persian)
26. Ogaya, R., D. Liu, A. Barbeta and J. Peñuelas. 2020. Stem mortality and forest dieback in a 20-years experimental drought in a Mediterranean holm oak forest. *Frontiers in Forests and Global Change*, 89, 1-9.
27. Poursartip, L., S. Naseri Karimvand1, M. Moradi and J. Susani. 2017. 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*, 7(4), 591-600. (In Persian)
28. Romagnoli, M., S. Moroni, F. Recanatesi, R. Salvati and G.S. Mugnozza. 2018. Climate factors and oak decline based on tree-ring analysis. A case study of peri-urban forest in the Mediterranean area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 17-28.
29. Safari, A. and H. Sohrabi. 2019. Effect of climate change and local management on aboveground carbon dynamics (1987–2015) in Zagros oak forests using Landsat time-series imagery. *Applied Geography*, 110, 102048.
30. Swanston, C., I. A. Brandt, M.K. Janowiak, S.D. Handler, P. Butler-Leopold, L. Iverson and P.D. Shannon, P. D. 2018. Vulnerability of forests of the Midwest and Northeast United States to climate change. *Climatic Change*, 146(1), 103-116.
31. Sabernasab, M., A. Marefat and S. Abbasi. 2020. Pathogenicity evaluation of pathogenic fungi causing of oak tree dieback in Kermanshah province. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 51(1), 79-92. (In Persian)
32. Shiravand, H., S. Khaledi, S. Behzadi and H.A. sanjabi. 2020. Monitoring and assessing the changes in the coverage and decline of oak forests in Lorestan Province using satellite images and BFAST model. *Researches in Geographical Sciences*, 20 (57):265-280.
33. Sousani, J., A. Radmeh, S. Ghalebahmani, S. Balapour and A. Sepahvand. 2014. 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*, 21(2), 43-60. (In Persian)
- 34.34. Valavi, R., H. Shafizadeh-Moghadam, A. Matkan, A. Shakiba, B. Mirbagheri and H. Kia. 2019. Modelling climate change effects on Zagros forests in Iran using individual and ensemble forecasting approaches. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(1), 1015-1025.
35. Yaghmaei, L., R. Jafari, S. Soltani and F. Hadian. 2021. Monitoring rangeland and forest fegetation decline regions in chaharmahal and bakhtiari province, using satellite imagery. *Journal of Applied Ecology*, 10 (2): 1-15
- 36.36. Yousefi, M., M. Khoramivafa, A. Mahdavi Damghani, G. Mohammadi and A. Beheshti Alagha. 2017. Assessment of carbon sequestration and its economic value in Iranian oak forests: case study Bisetoon protected area. *Environmental Sciences*, 15(3), 123-134. (In Persian)

Detection of Climate Change Based on Warm Temperature Indices in Zagros Forest Ecosystem; Chaharmahal and Bakhtiari Province

F. Dargahian^{1*} and M. Pourhashemi¹

(Received: October 17-2021; Accepted: February 06-2022)

Abstract

Although one of the most important factors affecting the decline and drying of Zagros forests is the occurrence of climate change, especially during the last two decades, the degradation and decline of Zagros forests can intensify the trend of climate change in this ecosystem. In order to detect the occurrence of climate change in the Zagros oak (*Quercus brantii*) forests of Chaharmahal and Bakhtiari province, daily data of minimum temperature, maximum temperature and precipitation parameters were used. Data were analyzed for quality and homogeneity and prepared to enter into the climate model that reveals the occurrence of climate change. Warm temperature indicators for climate change detection were calculated, using ClimPACT software in R 2.10 programming environment for the period of 1992-1999. Trend change, trend slope error and significance of changes were extracted at $p = 0.05$. The results showed that at all monitoring sites, hot temperature indices, including 2TX2TN SU35, SU30, SU25, TN90p, TX90p, TX50p, WSDI6, WSDI2, had a significantly increasing trend. Changes in the slope of the trend of these indicators coincided with the beginning of the decline phenomenon and have been more intense in the last two decades. Due to the increasing trend of temperature, this increasing trend of indicators will continue in the coming years and the forests of the region will face more drought stress. Awareness of the severity of the changes that have occurred and their continuation in the future can help managers and planners of the Zagros forest ecosystem in operational solutions in adapting to climate change to preserve and rehabilitate forests.

Keywords: Climate adaptation, Drought stress, decline and drying, Warm temperature indices

1. Research institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: fatemeh.dargahian@gmail.com