

Analysis of drought status and its relationship with climate change, Case study: Sarableh oak decline sites, Ilam province

S. Lotfi Nasab Asl^{1*}, F. Dargahian², A. Gohardoust³, A. Hatam Baharvand⁴ and S. Razavizadeh⁵

1*- Corresponding author, Assistant Professor, Desert Research division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: s.lotfinasab@gmail.com

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

3- Researcher, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

4- Researcher, Natural Resources and Watershed Management, Ilam, Iran.

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

Received: 12/07/2022

Accepted: 05/2/2023

Abstract

Background and Objective

Over the past decade, the Zagros region, specifically its Zagros oak trees, has experienced significant impacts from droughts and climate change. Climate change has resulted in heightened desertification and oak forest decline. This study examines and analyzes meteorological droughts and their correlation with climate change. This is a prominent contributing factor to oak tree decline in Ilam Province. The focus is on study sites in the northern and southern Serabaleh regions, where oak decline has been observed.

Methodology

For this study, comprehensive data on daily precipitation and minimum and maximum temperature were obtained from the synoptic station in Ilam, covering the period from its establishment until 2019. The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPI) and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) were developed to assess meteorological drought and identify wetter and drier years. The SPI measures the deviation of precipitation from the mean value and normalizes it by the standard deviation. In contrast, the SPEI considers the discrepancy between precipitation and evapotranspiration. These indices were calculated on various time scales, including 3, 6, 12-month, and annual periods, and drought status was analyzed based on their respective classifications. To examine the role of climate change and identify influential precipitation and temperature patterns in drought occurrence, a set of four precipitation indices and eight temperature indices were calculated using ClimPACT software. These indices, developed by climate change experts, capture changes in mean or extreme weather conditions. The analysis also included wind speed. The relationship between drought indices and climate change was assessed through regression analysis and the Pearson correlation coefficient. Moreover, the study employed the Mann-Kendall and Pettitt Test to identify change points or significant abrupt changes in the time series. These tests were conducted at 5% significance and 95% confidence levels.

Results

The study findings indicate a decreasing trend in the highest consecutive 5-day rainfall since 1995. In addition, there are insignificant reductions in the annual sum of wet days and the highest rainfall



events of one or two days since 1998. This decrease in rainfall has been accompanied by increased maximum air temperatures since 1998, with a significant intensification observed from 2007 to 2015. Additionally, there has been a slight increase in minimum temperatures since 2002 and a significant wind speed since 1996. These factors have contributed to increased evaporation since 1998 and the occurrence of droughts on different time scales, ranging from six and twelve months since 1998 to three months since 2003. Global warming has influenced droughts. Three-month droughts have resulted in milder six- and twelve-month droughts, but more severe three-month droughts in oak decline, primarily due to significant changes in maximum temperatures since 2007. The occurrence of these droughts has been associated with an increase in the percentage of days with temperatures above the average since 2007, leading to more severe droughts from 2007 to 2015, with the peak in 2008 coinciding with the highest level of oak decline during the study period and under the influence of climate change phenomena.

Conclusion

The SPEI drought index indicates a higher frequency and longer duration of droughts during the study periods, albeit with less severity than the SPI index. This suggests that the rising temperatures during cold months, in addition to dry months, have played a role in influencing the drought conditions. The results demonstrate that drought and climate change are the primary influential factors contributing to oak tree dryness in the forests of Ilam Province. Considering the decreasing precipitation trend and increasing temperature trend observed in the studied region, the occurrence of climate and environmental hazards, such as heatwaves, droughts, and floods, may further increase.

Keywords: Climate Change Index, Drought Index, oak decline, Zagros, Ilam Province.

تحلیل وضعیت خشکسالی و ارتباط آن با رخداد تغییر اقلیم مطالعه موردی: محدوده سایت‌های زوال بلوط سرابله، استان ایلام

سکینه لطفی‌نسب اصل^{۱*}، فاطمه درگاهیان^۲، آزاده گوهردوست^۳، اسد حاتم بهاروند^۴ و سمانه رضوی‌زاده^۵

۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست‌الکترونیک: s.lotfinasab@gmail.com

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

۳- کارشناس، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- کارشناس، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری، ایلام، ایران

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

چکیده

سابقه و هدف

خشکسالی‌ها و تغییرات اقلیمی در چند دهه اخیر تأثیر مخربی بر جنگل‌های زاگرس و به‌ویژه درختان بلوط زاگرس داشته است. به‌طوری‌که خشکسالی‌های ناشی از تغییرات اقلیمی با تضعیف درختان و مساعد کردن شرایط برای حمله آفات و بیماری‌های گیاهی و از سویی ایجاد رخدادهای گردوغبار، یکی از عوامل اصلی شیوع زوال درختان بلوط محسوب می‌شود. در این مطالعه سعی شده تا به بررسی و تحلیل رخداد خشکسالی هواشناسی و ارتباط آن با رخداد تغییر اقلیم به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار، زوال بلوط در استان ایلام و در محدوده سایت‌های مطالعاتی زوال بلوط سرابله شمالی و جنوبی پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، اطلاعات روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر از ایستگاه سینوپتیک ایلام از بدو تأسیس تا پایان سال ۲۰۱۹ گرفته شد. به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی و تعیین سال‌های تر و خشک از شاخص‌های بارش استاندارد SPI (تفاوت بارش از میانگین و تقسیم آن بر انحراف معیار) و شاخص SPEI (از اختلاف بین میزان بارش با میزان تبخیر و تعرق) استفاده گردید. این شاخص‌ها در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه و سالانه محاسبه و بر اساس طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی تجزیه و تحلیل شدند. به منظور بررسی نقش تغییر اقلیم و شناسایی بارش‌ها و دماهای مؤثر در وقوع پدیده خشکسالی، ۴ شاخص بارشی و ۸ شاخص دمایی معرفی شده توسط تیم متخصص در زمینه شناسایی شاخص‌های تغییر آب و هوا که هر یک تغییرات میانگین یا حدی آب و هوا را توصیف می‌کنند توسط نرم‌افزار ClimPACT محاسبه و به همراه پارامتر سرعت باد تجزیه و تحلیل گردیدند. همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی و تغییر اقلیم، توسط آزمون رگرسیون و ضریب همبستگی پیرسون انجام شد. همچنین برای تعیین نقطه جهش یا تغییر ناگهانی مجموعه زمانی و معنی‌دار بودن پارامترها و همگنی آنها به ترتیب از آزمون آماری من‌کندال و آزمون Pettitt Test در سطح خطای ۵ درصد و سطح اطمینان ۹۵ استفاده شد.

نتایج

نتایج مطالعه نشان داد که میزان بیشترین بارش ۵ روز متوالی از سال ۱۹۹۵ و مجموع سالانه بارش روزهای مرطوب و بیشترین

بارش‌های یک و دو روزه از سال ۱۹۹۸ به شکل غیرمعتادار کاهش یافته است. کاهش بارندگی‌ها با افزایش حداکثرهای دمای هوا از سال ۱۹۹۸ و معتادار شدن و شدت یافتن آنها از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۵ و افزایش غیرمعتادار حداقل‌های دما از سال ۲۰۰۲ و معتادار سرعت باد از سال ۱۹۹۶ موجب افزایش میزان تبخیر از سال ۱۹۹۸ شده و موجب گردیده از سال ۱۹۹۸ تحت تأثیر گرمایش جهانی شاهد وقوع خشکسالی‌هایی در مقیاس شش و دوازده ماهه و از سال ۲۰۰۳ در مقیاس سه ماهه باشیم. این خشکسالی‌های سه ماهه به علت وقوع معتادار پدیده تغییر اقلیم در مقادیر حداکثرهای دما از سال ۲۰۰۷ موجب وقوع خشکسالی‌های خفیف‌تر شش و دوازده ماهه و شدیدتر سه ماهه در محدوده سایت‌های زوال بلوط شده است. وقوع این خشکسالی‌ها با افزایش معنی‌دار درصد وقوع روزهای با دمای بالاتر از میانگین دما از سال ۲۰۰۷ موجب بروز خشکسالی‌های شدیدتری از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۵ شده است، به طوری که به بیشترین مقدار خود در سال ۲۰۰۸ رسیده است که مصادف با اوج زوال درختان بلوط طی سال‌های مورد مطالعه و تحت تأثیر وقوع پدیده تغییر اقلیم بوده است.

نتیجه‌گیری

شاخص خشکسالی SPEI در دوره‌های مطالعه شده نشانگر فراوانی و تداوم بیشتر خشکسالی اما با شدت کمتر از میزان شاخص SPI می‌باشد. به عبارتی، بیانگر تأثیر افزایش دما در ماه‌های سرد سال علاوه بر ماه‌های خشک سال است که می‌توان چنین استنباط کرد که دمای ماه‌های سرد سال نیز در این فاصله زمانی رو به افزایش بوده است. نتایج نشان داد عامل خشکسالی و تغییر اقلیم، به عنوان عوامل اصلی تأثیرگذار بر خشکیدگی درختان بلوط در جنگلهای استان ایلام بوده است. با توجه به روند کاهشی بارش و افزایشی دما در منطقه مورد مطالعه، رخداد مخاطرات اقلیمی و محیطی ناشی از آن همانند امواج گرمایی، خشکسالی و سیل نیز می‌تواند در آینده افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: شاخص تغییر اقلیم، شاخص خشکسالی، زوال بلوط، زاگرس، استان ایلام.

مقدمه

مدل‌های آب و هوایی فعلی نشان می‌دهد که افزایش دما چرخه هیدرولوژی زمین را از نظر کاهش نزولات تشدید کرده و تبخیر را افزایش می‌دهد. افزایش تبخیر منجر به خشکی خاک و طوفان‌های مکرر و شدیدتر می‌شود، در نتیجه این بی‌نظمی‌های اقلیمی، مناطق تحت تأثیر طوفان ممکن است با افزایش بارندگی و افزایش خطر سیل مواجه شوند، در حالی که مناطقی که دور از مسیرهای طوفان قرار دارند احتمال بارش کمتر و افزایش خطر خشکسالی را دارند (Nasa, 2023). خشکسالی یک بلای طبیعی و تدریجی است و ممکن است چندین هفته، ماه یا حتی سال‌ها بگذرد تا آثار آن آشکار شود (Mouri et al., 2012). خشکسالی موجب کمبود رطوبت با اثرهای نامطلوب بر روی پوشش گیاهی، حیوانات و انسان می‌شود. با کاهش بارندگی، خاک‌ها خشک می‌شوند و پوشش‌های گیاهی از بین می‌روند. وقتی بارندگی برای چند هفته، ماه یا سال کمتر از حد معمول باشد، جریان رودها و رودخانه‌ها کاهش می‌یابد، سطح آب دریاچه‌ها و مخازن

کاهش یافته و عمق آب در چاه‌ها نیز افزایش می‌یابد. اگر آب و هوای خشک ادامه پیدا کند و مشکلات تأمین آب ایجاد شود، دوره خشکی می‌تواند به خشکسالی تبدیل گردد (Moreland, 1993).

اولین شواهد از خشکسالی معمولاً در مقادیر بارندگی مشاهده می‌شود و تعیین آغاز و پایان آن دشوار است، گاهی ممکن است دوره‌های خشکسالی حتی تا ۱۰ سال یا بیشتر طول بکشد (USGS, 2023).

از سوی دیگر، تغییرات آب و هوایی زمان دسترسی به آب را تغییر می‌دهد. دمای گرم‌تر زمستان باعث می‌شود که بارش کمتری به صورت برف در نیمکره شمالی بیارد (Trenberth et al., 2007). کاهش برف می‌تواند مشکل‌ساز باشد، حتی اگر کل بارندگی سالانه ثابت بماند، زیرا بسیاری از سیستم‌های مدیریت آب به ذوب برف بهاری متکی هستند. از آنجایی که برف به عنوان سطحی بازتابنده عمل می‌کند، کاهش سطح برف نیز دمای سطح را افزایش می‌دهد و خشکسالی را تشدید می‌کند.

داده‌اند، در حالی که تنها ۷/۴ درصد ایران را جنگل‌ها پوشانده‌اند. داده‌های موجود نشان می‌دهد که مساحت جنگل‌های جهانی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ به میزان ۳ درصد کاهش یافته است (Gooshbor *et al.*, 2016). وجود سرانه جنگل ۰/۱۵ هکتار در ایران (FAO, 2015) در مقابل میانگین جهانی ۰/۶۴ هکتار بیانگر این موضوع است که حفظ منابع جنگلی در ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جنگل‌های زاگرس به مساحت حدود پنج میلیون هکتار، حدود ۴۰ درصد از کل جنگل‌های ایران را تشکیل می‌دهند (Valipour *et al.*, 2014; Pourhashemi & Sagheb, 2021). در ایران گزارش‌های نگران‌کننده‌ای در مورد سلامت درختان بلوط که از گونه‌های درختی غالب جنگل‌های زاگرس به‌شمار می‌روند، منتشر شده که اولین آنها در سال ۱۳۸۸ (۲۰۰۸) از استان ایلام بوده که در آن وضعیت سلامت جنگل‌ها نسبت به سایر استان‌های ایران نگران‌کننده‌تر گزارش شده است (Imanyfar & hasanlou, 2017). در این جنگل‌ها بیماری جدی تحت عنوان «زوال بلوط» که علائم آن شامل تغییر رنگ غیرمعمول برگ، از دست دادن برگ و ترشح شیره از قسمت‌های آلوده درخت است (Mirabolfathy, 2013). زوال بلوط (Oak decline) یک بیماری یا پدیده منجر به مرگ درختان بلوط است که در اثر ارتباط پیچیده و متقابل عواملی از قبیل تغییرات اقلیمی، خشکسالی، وقوع ریزگردها، آفات متعدد، عوامل بیماری‌زای قارچی، کیفیت رویشگاه، ویژگی‌های خاک، وضعیت ژنتیکی و فیزیولوژیکی درختان، زمان، موقعیت جغرافیایی و عوامل انسانی و ... به وجود می‌آید و در طول ۳ تا ۵ سال درختان بلوط را به‌طور کامل خشک می‌کند. از سال ۱۹۰۰ میلادی تاکنون در مناطق وسیعی از جنگل‌های جهان نیز گزارش‌های مشابهی دریافت شده است (Mattson & Haack, 1987; Vannini *et al.*, 1996; Hoseini *et al.*, 2013; Tavakoli *et al.*, 2012; Pirouzi & Tavakoli, 2015). درختان هم‌اکنون در ایران در سطحی حدود ۱/۵ میلیون هکتار گسترش یافته است که یک فاجعه زیست محیطی بزرگ محسوب می‌شود (Zakeri *et al.*, 2013). طبق

برخی از مدل‌های اقلیمی نشان می‌دهند که گرم شدن هوا تنوع بارش را افزایش می‌دهد، به این معنی که دوره‌های بیشتری از بارش شدید و خشکسالی وجود خواهد داشت (Mouri *et al.*, 2012). این موضوع نیاز به افزایش ذخیره آب در طول سال‌های خشکسالی و افزایش خطر سیل و شکست سد در دوره‌های بارش شدید را ایجاد می‌کند. تغییرات آب و هوایی مناطق خاصی را خشک‌تر می‌کند. اگرچه تخمین تغییرات بارندگی فصلی یا سالانه در یک مکان خاص نسبت به تخمین‌های گرمایش زمین در آینده قطعی و ساده نیست (Jafari *et al.*, Lotfinasabasl *et al.*, 2019). با این حال، در مقیاس جهانی، دانشمندان مطمئن هستند که در نتیجه تغییرات اقلیمی مکان‌های نسبتاً مرطوب، مانند مناطق استوایی و عرض‌های جغرافیایی بالاتر، مرطوب‌تر می‌شوند، در حالی که مکان‌های نسبتاً خشک در مناطق نیمه گرمسیری بین عرض‌های ۲۳/۵ تا ۳۵ درجه (جایی که بیشتر بیابان‌های جهان در آن قرار دارند) خشک‌تر خواهند شد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با اعمال تنش‌های محیطی مانند کاهش دسترسی درخت به آب، قطر آوندهای چوبی و هدایت هیدرولیکی درخت کاهش می‌یابد (Levanic *et al.*, 2011) و در این‌گونه مواقع درخت با افزایش تعداد آوندها، برای جبران خسارت تلاش می‌کند (Nabeshima *et al.*, 2015). با این حال، اندازه آوند تأثیر به مراتب مهمتری از تعداد آنها در توان هدایت هیدرولیکی بافت چوبی دارد (Oladi *et al.*, 2016). گیاهان موجوداتی بی حرکت هستند و به‌همین علت معمولاً به عنوان اولین گروه از موجودات زنده تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرند. کمبود آب سبب کاهش میزان فتوسنتز و کاهش متابولیت‌های مورد نیاز گیاه و ضعیف شدن آنها از نظر فیزیولوژیکی می‌شود. به علت ضعیف شدن گیاه، معمولاً درختان مورد هجوم آفات و بیماری‌های متعددی قرار می‌گیرند، همچنین درخت ضعیف در برابر تنش‌های خاکی و آبی مقاومت کمتری دارد. تداوم خشکسالی شدید و تشدید آن در اثر رخداد تغییر اقلیم حتی بدون دخالت عوامل دیگر نیز می‌تواند با حذف آب مورد نیاز، سبب مرگ درختان گردد. حدود ۳۱ درصد از مساحت جهان را جنگل‌ها پوشش

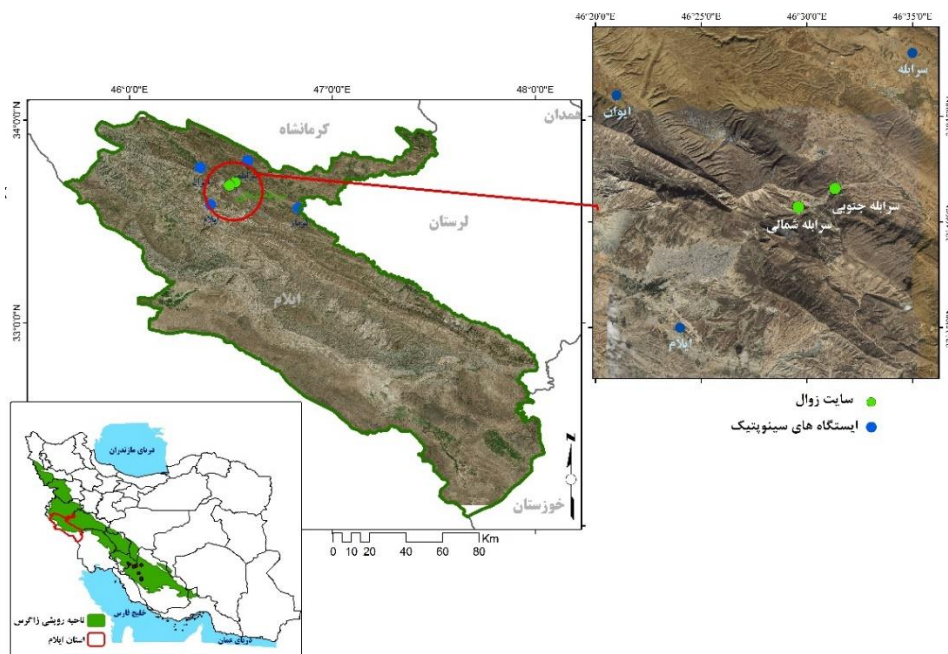
جنوب غربی ایران واقع شده است که به دلیل وضعیت خاص توپوگرافی، تفاوت زیاد عرض جغرافیایی و اقلیم های متنوع آب و هوایی از نظر نوع و تراکم پوشش گیاهی، نواحی کاملاً متمایزی در آن وجود دارد، به طوری که بخش های وسیعی از ناحیه میانی و شمالی استان که پوشیده از درختان جنگلی است (Jafari *et al.*, 2013) در ناحیه رویشی زاگرس قرار دارند. سهم جنگل از مساحت استان ۶۴۱۶۶۷ هکتار (برابر ۳۲ درصد) می باشد که بیش از ۹۰ درصد گونه های جنگلی استان از نوع بلوط هستند که مانند سایر بخش های ناحیه رویشی زاگرس دچار زوال و خشکیدگی شده است. محدوده پژوهش در ناحیه رویشی زاگرس و نواحی شمالی استان ایلام واقع شده که به منظور بررسی رخداد خشکسالی در این ناحیه از طرق جنگل گردی و استفاده از تجارب کارشناسان منطقه سعی شد مناطقی انتخاب شوند که بیانگر ویژگی های اصلی جنگل های این ناحیه باشند.

تحقیقات انجام شده، تغییرات اقلیمی در چند دهه اخیر تأثیر مخربی بر جنگل های بلوط داشته است، به طوری که خشکسالی ناشی از تغییرات اقلیمی با تضعیف درختان و مساعد کردن شرایط برای حمله آفات و بیماری های گیاهی و از سویی ایجاد رخداد های گردوغبار یکی از عوامل اصلی شیوع زوال درختان بلوط محسوب می شود (Thomas *et al.*, 2002). در این مطالعه سعی شده تا به بررسی و تحلیل رخداد خشکسالی هواشناسی و ارتباط آن با رخداد تغییر اقلیم به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار و شروع کننده زوال بلوط در استان ایلام و در محدوده سایت های مطالعاتی زوال بلوط سرابله شمالی و جنوبی پرداخته شود.

مواد و روش ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان ایلام با مساحتی در حدود ۱۹۷۲۸ کیلومتر مربع که ۱/۲ درصد وسعت کشور را شامل می شود در



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و سایت های زوال

Figure 1- Location of the study area and deterioration sites

کردند. شاخص SPI کمیتی را برای مشخص کردن خشکسالی جاری فراهم می‌کند. شاخص SPI برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی متفاوت طراحی شده و بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و بعد تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید. این شاخص به دلیل اینکه یکی از جامع‌ترین، ساده‌ترین و پرکاربردترین روش مطالعه خشکسالی و ترسالی و ویژگی‌های آنها محسوب می‌شود برای بررسی وضعیت منطقه از نظر خشکسالی استفاده شد.

شاخص خشکسالی Standardized (SPEI) precipitation-evapotranspiration index

شاخص دیگری که در این مطالعه بررسی شد، شاخص SPEI می‌باشد. از آنجاکه مناطق با بارش مناسب اما با ناهنجاری مثبت دما ممکن است در محدوده مناطق دارای خشکسالی قرار بگیرند، در محاسبه این شاخص از رابطه اختلاف بین میزان بارش با میزان تبخیر و تعرق استفاده شد.

شاخص‌های حدی و میانگین آشکارسازی تغییر اقلیم به منظور بررسی نقش تغییر اقلیم و شناسایی بارش‌ها و دماهای مؤثر در وقوع پدیده خشکسالی ۴ شاخص بارشی و ۸ شاخص دمایی معرفی شده توسط تیم متخصص در زمینه شناسایی شاخص‌های تغییر آب و هوا (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) (ETCCDI) (Alexander chair, 2015). (جدول ۲) که هر یک تغییرات میانگین یا حدی آب و هوا را توصیف می‌کنند توسط نرم‌افزار ClimPACT محاسبه و به همراه پارامتر سرعت باد تجزیه و تحلیل شدند. نرم‌افزار ClimPACT مبتنی بر نرم‌افزار RclimDEX است که توسط سازمان‌های WMO/CCI/CLIVAR/JCOMM و تیم متخصص در زمینه شناسایی شاخص‌های تغییر آب و هوا (ETCCDI) تهیه شده است (Karl et al., 1999). هدف این تیم، تعیین مجموعه استاندارد از شاخص‌هایی

در این مطالعه، سایت سرابله در دو جهت شمالی (شیب ۴۰٪) و جنوبی (شیب ۵۰٪) با طول و عرض جغرافیایی که در منطقه قرق واقع شده است انتخاب گردید (شکل ۱). گونه غالب در این دو سایت بلوط ایرانی (Quercus brantii) و زالزالک (Crataegus Pontica) بوده که به ترتیب ارتفاع آنها در مرکز سایت از سطح دریا برابر ۱۵۸۰ و ۱۴۱۶ متر می‌باشد. در نهایت به منظور دستیابی به اهداف مطالعه، در این محدوده دو سایت انتخاب گردید. ایستگاه سینوپتیک ایلام واقع در فرودگاه شهر ایلام با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا و بارش متوسط ۵۸۳ میلی‌متر به‌عنوان نزدیک‌ترین و مناسب‌ترین ایستگاه انتخاب و از آمار و اطلاعات روزانه عناصر اقلیمی بارش و دمای به ثبت رسیده آن برای بررسی وقوع رخداد خشکسالی‌ها در این سایت‌ها استفاده شد.

روش تحقیق

داده‌ها (Dataset)

در این تحقیق اطلاعات روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی، از بدو تأسیس تا پایان سال ۲۰۱۹ گرفته شد. پس از بررسی آنها، داده‌های گم‌شده شناسایی شده و با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش نسبت‌ها بازسازی گردید.

شاخص‌های خشکسالی

در این تحقیق به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی و تعیین سال‌های تر و خشک از دو شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص (SPEI) استفاده شد. این شاخص‌ها در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه و سالانه محاسبه و بر اساس طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی ارائه شده توسط McKee و همکاران (۱۹۹۵) (جدول ۱) تجزیه و تحلیل شدند.

شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده Standardized (SPI) Precipitation Index

McKee و همکارانش (۱۹۹۵) شاخص SPI را ارائه

می‌باشند، فرض مخالف آن (H1) در واقع همگنی داده‌ها را رد می‌کند و نقاط تغییر در داده‌ها را مشخص می‌کند. در صورتی که مقدار p-value محاسبه شده توسط آزمون بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد فرض صفر تأیید می‌شود و داده‌ها همگن هستند.

آزمون آماری من‌کندال

برای بررسی روند پارامترها و تعیین شیب سن، از آزمون‌های آماری من‌کندال در سطح خطای ۵ درصد و سطح اطمینان ۹۵ استفاده شد. آزمون من‌کندال - ابتدا توسط Mann (۱۹۴۵) و بعد توسط Kendal (۱۹۷۵) توسعه داده شد (Serrano et al., 1999). این آزمون جزو آزمون‌های ناپارامتری است که معمولاً برای شناسایی روند در مجموعه‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیک به‌کار می‌رود (Lettenmaier et al., 1994). فرض صفر (H0) این آزمون تصادفی بودن و عدم وجود روند در مجموعه زمانی داده‌ها را نشان می‌دهد و فرض وجود یک روند در مجموعه داده‌ها را به اثبات می‌رساند.

است که بتوان توسط آن ویژگی‌های تغییر اقلیم در مناطق مختلف را بررسی و مقایسه کرد.

آزمون رگرسیون

بی‌نظمی دمای بلندمدت منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های متوسط بلندمدت دمای ایستگاه سینوپتیک ایلام استخراج و محاسبه شد.

آزمون همگنی داده‌ها

این آزمون برای تعیین نقطه جهش یا تغییر ناگهانی یک مجموعه زمانی بکار می‌رود و معنی‌دار بودن تغییر را بررسی می‌کند و به‌طور گسترده برای تشخیص در مجموعه‌های زمانی آب و هوایی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. در این تحقیق به‌منظور بررسی همگنی داده‌ها از آزمون بررسی همگنی Pettitt Test در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای کلیه پارامترها استفاده شد. بدین ترتیب که در این آزمون دو فرض صفر و یک به‌منظور تعیین همگنی داده‌ها بررسی شد. فرض صفر (H0) در صورت تأیید نشان می‌دهد که داده‌ها همگن هستند و فاقد نقطه شکست و تغییر

جدول ۱- طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI

Table 1- Classification of drought situation based on SPI and SPEI indices

SPI&SPEI	Classification of drought
0- -0.49	Normal
-0.5 تا -0.99	Mild dry
-1 تا -1.49	Moderately dry
-1.5 تا -1.99	Severely dry
-2 تا -2.5	Extremely dry
>2.5	Very Extremely dry

جدول ۲- شاخص‌های شناسایی تغییر آب و هوای ارائه شده توسط ETCCDI
Table 2- Climate change detection indicators provided by ETCCDI

Indicator	Definition of index	Indicator	Definition of index	
Temperature	T n	Average daily Min Temperatures	precipitation	
	Tx	Average daily Max Temperatures		
	Tmean	Average daily Temperatures		
	TNn	Min Monthly Min Temperatures	RX1day	Monthly maximum consecutive 1-day precipitation
	TNx	Max and Min monthly Temperatures	RX2day	Monthly maximum consecutive 2-day precipitation
	TXn	Monthly minimum value of daily TN	RX5day	Monthly maximum consecutive 5-day precipitation
	TXx	Monthly maximum value of daily TX	PRCPTOT	Total annual precipitation of wet days
	TX50p	Percentage of days of days where TX>50th percentile	Wind	FG (Average daily wind speed (m/s

نتایج

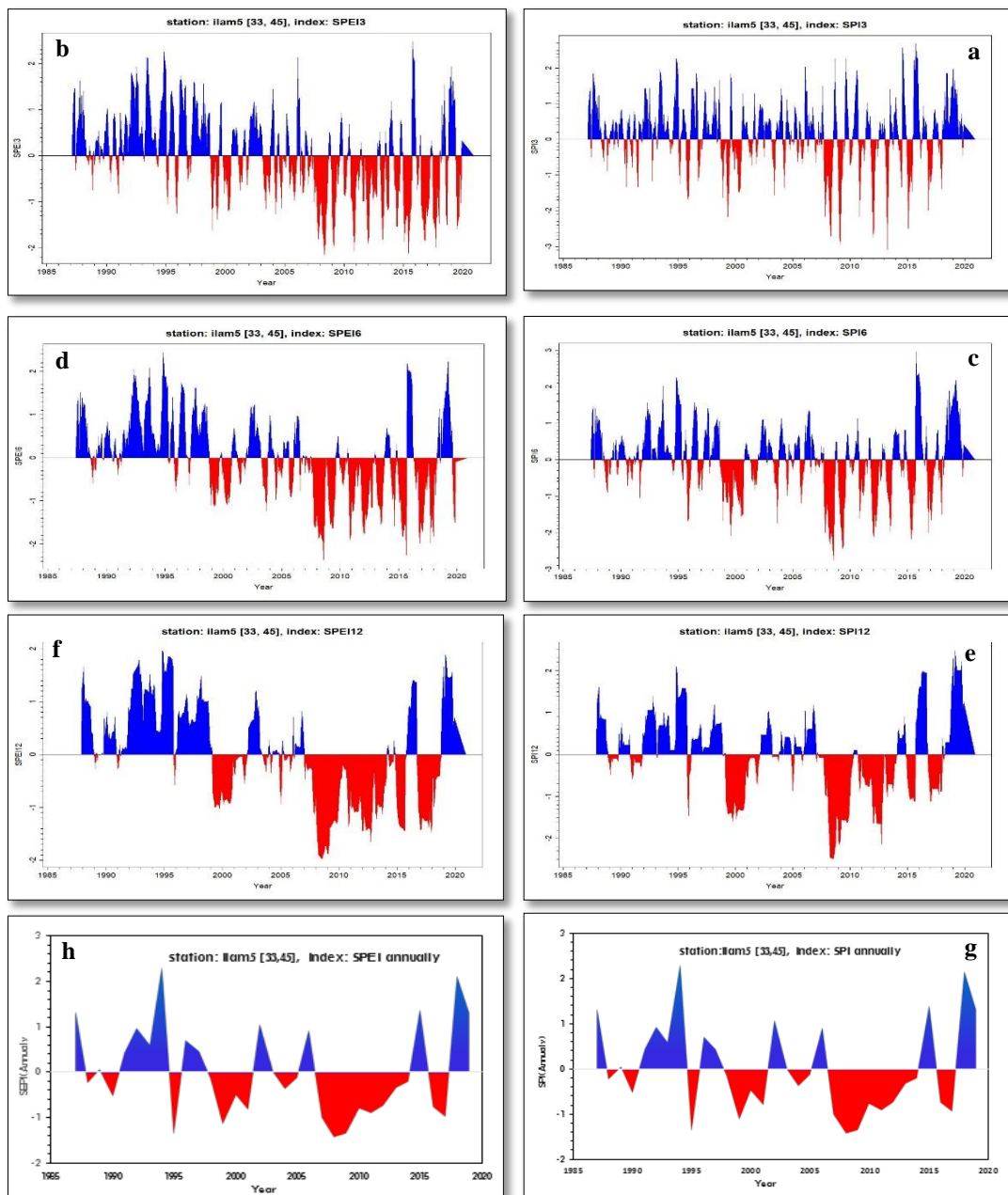
فراوانی، شدت و تداوم خشکسالی

فراوانی، شدت و تداوم خشکسالی‌ها در سایت‌های مورد مطالعه به کمک شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI و SPEI و در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه و سالانه در ایستگاه سینوپتیک ایلام بررسی شده است و با مقایسه نتایج به دست آمده با جدول ۲ شدت خشکسالی هر سال را برای مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه محاسبه و در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است.

نتایج محاسبه و بررسی شاخص‌های SPI و SPEI در مقیاس سالانه در ایستگاه سینوپتیک ایلام در شکل‌های ۲

g و h در محدوده سایت‌های زوال سراب شمالی و جنوبی طی سال‌های مورد مطالعه نشان داد که تعداد چهار دوره خشکسالی در این فاصله زمانی رخ داده است که به طور میانگین طول دوره‌های خشک ۳/۷۵ سال می‌باشد. بیشترین تداوم و شدت دوره خشکسالی مربوط به سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ و شدیدترین خشکسالی مربوط به سال ۲۰۰۸ با مقدار ۱/۴۲- واحد است.

نتایج محاسبه فراوانی تعداد ماه‌های خشک بر اساس شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI و مقیاس‌های زمانی در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- فراوانی، شدت و تداوم خشکسالی براساس شاخص‌های خشکسالی a: SPI3, b: SPEI3, c: SPEI6: d, SPEI6: e, SPI12, f: SPEI12: g: SPI سالانه, h: SPEI سالانه در ایستگاه سینوپتیک ایلام

Figure 2- Frequency, severity and duration of drought based on drought indices a: SPI3, b: SPEI3, c: SPEI6: d, SPEI6, e: SPI12, SPEI12: f, g: annual SPI, h: annual SPEI, in Ilam synoptic station

جدول ۳- فراوانی تعداد ماه‌های خشک بر اساس شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI و مقیاس‌های زمانی

Table 3- Frequency of the number of dry months based on SPI and SPEI drought indices and time scales

Station	Time scales	Drought Indices	Condition وضعیت				
			wet	dry	normal		
Iiam	3Months	SPI	Number	152	84	160	
			Percent	38.4	21.2	40.4	
		SPEI	Number	128	131	137	
			Percent	32.3	33.1	34.6	
		6Months	SPI	Number	117	108	171
				Percent	29.5	27.3	43.2
	SPEI		Number	121	115	160	
			Percent	30.6	29.0	40.4	
	12Months	SPI	Number	114	113	169	
			Percent	28.8	28.5	42.7	
		SPEI	Number	129	120	47	
			Percent	32.6	30.3	37.1	

شدت خشکسالی افزوده می‌شود و این موضوع بیانگر افزایش تداوم شرایط خشک است. از سویی مطالعه شاخص SPEI طبق جدول ۴ نیز بیانگر همین مطلب می‌باشد، با این تفاوت که در مطالعه شاخص SPEI از درصد وقوع خشکسالی‌های ضعیف کاسته شده و بر میزان خشکسالی‌های متوسط تا شدید افزوده می‌گردد؛ به عبارتی شاخص SPEI بیانگر وقوع خشکسالی‌های شدیدتر با تداوم بیشتر در دوره مورد مطالعه تحت تأثیر کاهش بارندگی و افزایش میزان تبخیر ناشی از افزایش دما می‌باشد.

در این تحقیق به بررسی روند پارامترهای مورد بررسی، تعیین میانگین و حدود تغییرات سالانه آنها (شیب سن) (upper and lower limits of confidence interval) با استفاده از آزمون آماری من‌کنندال در سطح خطای ۵ درصد و سطح اطمینان ۹۵ درصد پرداخته شده است و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

بر اساس نتایج جدول ۳ بررسی فراوانی خشکسالی‌ها بر اساس شاخص‌های خشکسالی و بازه زمانی نشان داد که درصد وقوع خشکسالی‌ها در ایستگاه ایلام به ترتیب برابر است با $SPI3 > SPI6 > SPI12$ و $SPEI3 > SPEI12 > SPEI6$. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در ایستگاه ایلام وقوع فراوانی خشکسالی‌ها در بازه‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه بیشتر به چشم می‌خورد.

نتایج محاسبه شدت، فراوانی و درصد فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه ایلام در جدول ۴ قابل مشاهده است.

همانطور که نتایج مطالعه شاخص SPI مطابق با جدول ۴ نشان می‌دهد سایت‌های زوال در بازه‌های کوتاه مدت (سه ماهه) درگیر خشکسالی‌های ضعیف تا متوسط شده و در بازه‌های شش و دوازده ماهه بر شدت خشکسالی‌ها افزوده شده و دچار خشکسالی‌های متوسط تا شدید شده‌اند. به عبارتی در خشکسالی‌های شش و دوازده ماهه بر میزان و

جدول ۴- شدت، فراوانی و درصد فراوانی خشکسالی براساس شاخص‌های SPI و SPEI در ایستگاه ایلام

Table 4- Intensity, frequency and percentage of drought based on SPI and SPEI indicators in Ilam station

severity	Index	Number	of total	% of total dry	Index	Number	% of total	% of total dry	Index	Number	% of total	% of total
Drought		Month	status	state		Month	status	state		Month	status	dry state
Mild dry	SPI ₁₂	47	11.9	41.6	SPI ₆	48	12.1	44.4	SPI ₃	36	9.1	42.9
Moderately dry		36	9.1	31.9		26	6.6	24.1		29	7.3	34.5
Severely dry		19	4.8	16.8		20	5.1	18.5		8	2.0	9.5
Extremely dry		11	2.8	9.7		13	3.3	12.0		4	1.0	4.8
Very Extremely dry		0	0.0	0.0		1	0.3	0.9		7	1.8	8.3
Mild dry	SPEI ₁₂	45	11.4	37.5	SPEI ₆	50	12.6	43.5	SPEI ₃	64	16.2	48.9
Moderately dry		61	15.4	50.8		31	7.8	27.0		43	10.9	32.8
Severely dry		14	3.5	11.7		32	8.1	27.8		22	5.6	16.8
Extremely dry		0	0.0	0.0		2	0.5	1.7		2	0.5	1.5
Very Extremely dry		0	0.0	0.0		0	0.0	0.0		0	0.0	0.0

جدول ۵- نتایج آزمون آماری روندیابی من کندال و شیب سن برای پارامترهای مورد بررسی در ایستگاه ایلام

Table 5- The results of Menkendall's statistical trend and age slope test for the investigated parameters in Ilam station

Significant Trend	Confidence interval:		Sen's slope	p-value	Tt	Variable- <u>Ilam</u>
	lower	upper				
No	-0.001	0.000	0.000	0.23	-0.04	SPI3
Decreasing	-0.005	-0.003	-0.004	< 0.0001	-0.30	SPEI3
Decreasing	-0.002	0.000	-0.001	0.02	-0.08	SPI6
Decreasing	-0.004	-0.003	-0.004	< 0.0001	-0.30	SPEI6
Decreasing	-0.002	-0.001	-0.002	< 0.0001	-0.14	SPI12
Decreasing	-0.005	-0.004	-0.004	< 0.0001	-0.33	SPEI12
No	0.000	0.000	0.000	0.823	-0.01	RX5day
No	0.000	0.000	0.000	0.791	-0.01	RX2day
No	0.000	0.000	0.000	0.717	-0.01	RX1day
No	0.000	0.000	0.000	0.518	-0.02	PRCPTOT
No	-0.002	0.008	0.003	0.403	0.03	Ave- tmean
No	-0.008	0.002	-0.003	0.348	-0.03	Ave- tmin
Increasing	0.003	0.014	0.009	0.022	0.08	Ave-tmax
No	-0.008	0.000	0.000	0.571	-0.02	TNn
No	-0.004	0.004	0.000	0.990	0.00	TNx
No	0.000	0.014	0.007	0.095	0.06	TXn
Increasing	0.000	0.014	0.008	0.013	0.08	TXx
Increasing	0.101	0.129	0.115	< 0.0001	0.37	TX50p
Increasing	0.007168	0.011494	0.009317	< 0.0001	0.26	Wind Speed

۷ و شکل ۳ نشان داده شده است.

بررسی همگنی خشکسالی‌ها و تعیین نقاط تغییر
نتایج بررسی همگنی شاخص‌های خشکسالی در جدول

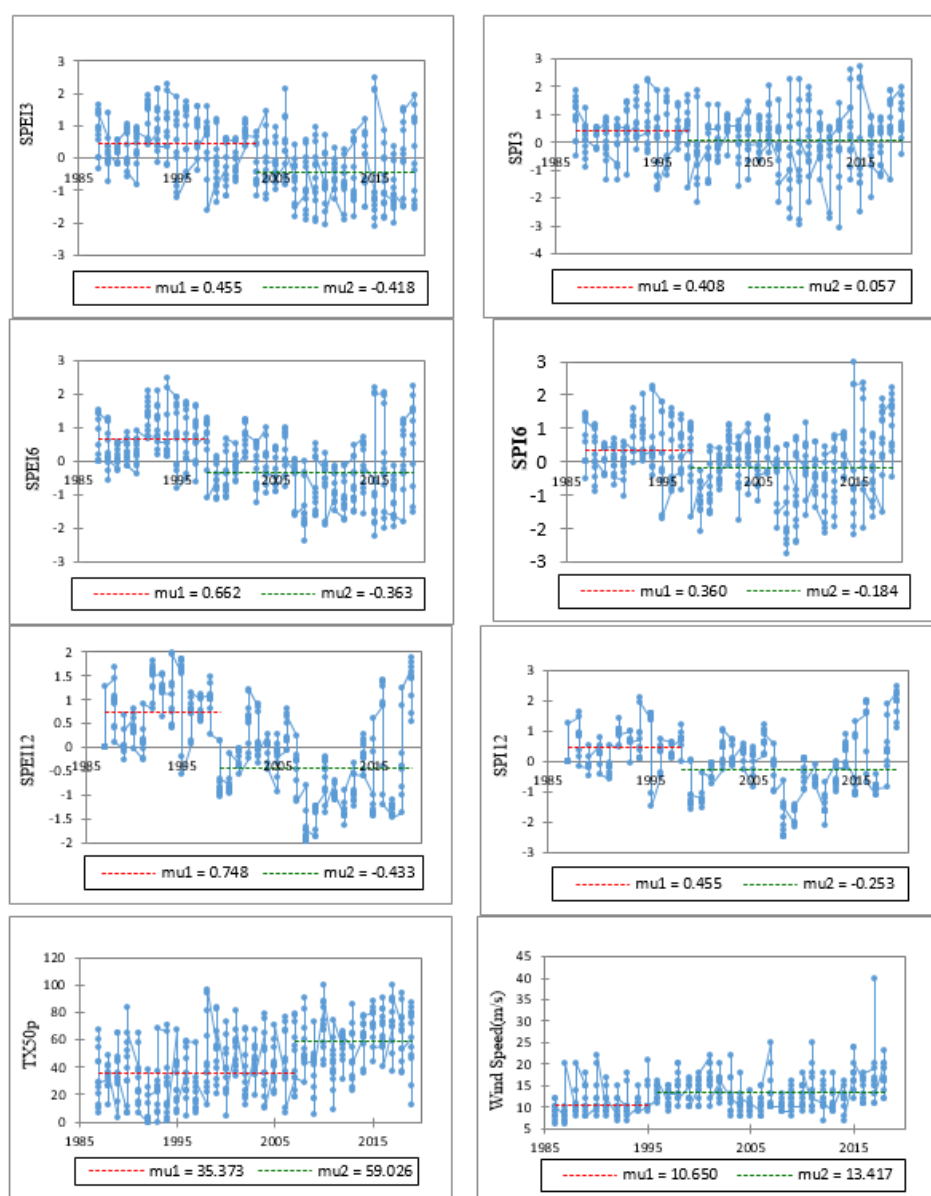
جدول ۶- نتایج آزمون همگنی Pettitt Test برای کلیه پارامترها در ایستگاه ایلام

Table 6- Results of homogeneity test of Pettitt Test for all parameters in Ilam station

Significance of the change point	p-value	Time	Std. deviation	Mean	Maximum	Minimum	Variable-Ilam
Yes	0.013	1998	1.00	0.18	2.69	-3.10	SPI3
Yes	< 0.0001	2003	0.97	0.01	2.48	-2.12	SPEI3
Yes	< 0.0001	1998	0.98	0.01	2.96	-2.77	SPI6
Yes	< 0.0001	1998	0.98	0.00	2.44	-2.37	SPEI6
Yes	< 0.0001	1998	0.97	0.00	2.48	-2.49	SPI12
Yes	< 0.0001	1999	0.96	0.00	1.97	-1.97	SPEI12
No	0.876	1995	43.83	32.18	397	0.00	RX5day
No	0.970	1998	32.30	23.82	343	0.00	RX2day
No	0.935	1995	25.24	18.14	282.00	0.00	RX1day
No	0.785	1998	64.14	49.11	431.31	0.00	Sum-prcp
No	0.898	1998	8.90	16.99	31.65	0.43	Ave- tmean
No	0.206	2002	8.02	10.98	25.76	-4.44	Ave- tmin
No	0.136	1998	9.87	23.00	38.86	3.94	Ave-tmax
No	0.400	2002	9.00	5.48	22	-14.00	TNn
No	0.904	2002	7.56	16.68	31	1.00	TNx
No	0.359	1998	11.18	16.74	36	-4.00	TXn
No	0.078	2007	9.06	28.33	44	9.00	TXx
Yes	< 0.0001	2007	23.55	44.27	100	0.00	TX50p
Yes	< 0.0001	1995	3.87	12.58	40	6.00	Wind Speed

شاخص SPI6 و SPEI6 از سال ۱۹۹۸ دچار تغییر معنی دار شده و به ترتیب میانگین آنها از ۰/۳۶ و ۰/۶۶ به ۰/۱۸ و ۰/۳۶- کاهش یافته است. به عبارتی کاهش بارندگی‌ها از سال ۱۹۹۸ و افزایش تدریجی دما از سال ۱۹۹۸ به بعد موجب بروز خشکسالی‌های بلندمدت در مقیاس شش ماهه شده است. نتایج نشان می‌دهد در ایستگاه ایلام شاخص SPI12 و SPEI12 دوازده به ترتیب از سال ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ دچار تغییر معنی دار شده و به ترتیب میانگین آنها از ۰/۴۶ و ۰/۷۵ به ۰/۲۳- و ۱۹۹۸ و افزایش دما از سال ۱۹۹۹ موجب بروز خشکسالی‌های بلندمدت در مقیاس دوازده ماهه شده است.

نتایج بررسی همگنی شاخص‌های خشکسالی در طی سال‌های مورد بررسی در ایستگاه ایلام مطابق با شکل ۳ حکایت از آن دارد که تغییرات ناگهانی و کاهشی در مجموعه زمانی گسسته شاخص‌های SPI و SPEI در تمامی مقیاس‌ها معنی دار بوده و کلیه شاخص‌های خشکسالی دارای نقاط تغییر بوده‌اند، به طوری که شاخص SPI3 از سال ۱۹۹۸ دچار تغییر معنی دار شده و میانگین آن از ۰/۴ به ۰/۰۵ کاهش یافته و این در حالی است که شاخص SPEI3 از سال ۲۰۰۳ تغییر یافته و میانگین آن از ۰/۴۵ به ۰/۴ رسیده است. به عبارتی کاهش بارندگی‌ها از سال ۱۹۹۸ و افزایش دما در سال ۲۰۰۳ موجب بروز خشکسالی در مقیاس سه ماهه شده است. نتایج نشان می‌دهد که



شکل ۳- همگنی شاخص‌های خشکسالی در طی سال‌های مورد بررسی در ایستگاه ایلام

Figure 3- The homogeneity of drought indicators during the investigated years in Ilam station

نتیجه‌گیری

فراوانی، شدت و تداوم خشکسالی

خشکسالی به‌طور مستقیم با محدود کردن منابع آب در دسترس گیاه و تأخیر در آبرسانی به گیاه موجب تنش خشکی شدید برای جوامع گیاهی می‌شود. این تنش از یکسو و برهم خوردن برنامه فنولوژی درختان ناشی از تغییر و جابجایی دما و بارش از سوی دیگر باعث افزایش فراوانی

رخدادهای حدی اقلیمی مانند بارش‌های رگباری و تگرگ، سیلاب‌ها، امواج گرم و سرد شدید همگی منجر به تضعیف و زوال تدریجی درختان می‌شود (Wang et al., 2017). تأثیر کمبود بارندگی بر منابع آب به‌طور قابل توجهی در مقیاس زمانی برای اجزای مختلف ذخیره آب سیستم هیدرولوژیکی متفاوت است، در نتیجه این مقیاس‌های زمانی، برخورد خشکسالی را نسبت به دسترسی منابع

۲۰۰۸ مشاهده شد.

شاخص خشکسالی SPEI در دوره‌های زمانی سه ماه، شش ماه و دوازده ماه نشانگر فراوانی و تداوم بیشتر خشکسالی اما با شدت کمتر از میزان شاخص SPI می‌باشد. به عبارتی افزایش تداوم خشکسالی‌ها بوسیله شاخص SPEI بیانگر تأثیر افزایش دما در ماه‌های سرد سال علاوه بر ماه‌های خشک سال است که می‌توان چنین استنباط کرد که دمای ماه‌های سرد سال نیز در این فاصله زمانی رو به افزایش بوده است. وقوع خشکسالی‌های رخ داده در ماه‌های سرد سال و فصل بهار در نتیجه کاهش بارندگی موجب تخلیه رطوبتی خاک شده و می‌تواند سبب وارد شدن تنش خشکی به گونه‌های دائمی و به‌ویژه گونه‌های درختی بلوط و سایر گونه‌های درختچه‌ای و مرتعی به‌ویژه در سایت‌های زوال سراب شمالی و جنوبی گردد که وقوع و تداوم زیاد خشکسالی‌های رخ داده در طی سال‌های مورد مطالعه علاوه بر کاهش آب در آبراهه‌ها و کاهش جریان‌های سطحی در سایت‌های زوال بلوط سراب شمالی و جنوبی شده است؛ این موضوع موجب از دسترس خارج شدن این بخش از منابع آبی برای رشد و بقای پوشش گیاهی، به‌ویژه بلوط‌های بلوط‌های ایرانی در ناحیه مورد مطالعه باشد. همچنین موجب شده که منابع آب زیرزمینی کاهش یافته و گونه‌های بلوط را با عدم بهره‌مندی از آب‌های عمیق زمین بوسیله ریشه‌دوانی عمیق این گونه گیاهی که یکی از امتیازات آن در پایداری آنها در محیط می‌باشد مواجه نماید. نتایج این بخش با نتایج Asgari و همکاران (۲۰۲۱) در زمینه تحلیل فضایی ارتباط خشکیدگی جنگل‌های بلوط با خشکسالی‌های اخیر در استان ایلام همسوست.

بررسی روند شاخص‌های خشکسالی و پارامترهای مورد بررسی

پارامترهای مختلف اقلیمی، از جمله بارش در یک محل، جزء عواملی می‌باشد که بر اقلیم آن منطقه تأثیرگذار است. با توجه به محدودیت منابع آبی، ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بر میزان بارندگی می‌تواند مبنایی در جهت پیشگیری از شرایط

مختلف آب بازگو می‌نمایند، به طوری که رطوبت خاک به ناهنجاری‌های بارش در مقیاس نسبتاً کوتاه پاسخ می‌دهد؛ به عبارتی واکنش رطوبت خاک نسبت به وضعیت بارش کوتاه مدت است، در حالی که جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و مخازن ذخیره آنها ناهنجاری‌های بارندگی طولانی مدت را منعکس می‌کنند، به عبارتی پاسخ جریان رودخانه‌ها، سطح آب‌های زیرزمینی و ذخیره منابع آب نسبت به کمبود بارش، فرایندی بلندمدت است. متغیر خشکسالی هواشناسی تابعی از متغیر بارش است، بنابراین یکی از نتایجی که در این تحقیق حاصل شد بر اساس شاخص استاندارد SPI و SPEI برای دوره‌های زمانی سه ماه، شش ماه و دوازده ماه برای ایستگاه ایلام، شدت و تداوم خشکسالی تعیین شد. بررسی رخداد خشکسالی در مقیاس زمانی ۳ ماهه از سال ۱۹۹۹ به بعد محدوده زوال سراب شمالی و جنوبی به دفعات با وقوع خشکسالی‌های ۳ ماهه مواجه بوده اما بیشترین فراوانی و تداوم خشکسالی ۳ ماهه مربوط به سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ است، به عبارتی خشکسالی که از اکتبر ۲۰۰۷ آغاز گردیده، موجب بروز رخداد خشکسالی به بزرگی ۱۵/۵۳ در فاصله زمانی مذکور شده است. بررسی رخداد خشکسالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه نشان داد بیشترین فراوانی و تداوم خشکسالی مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ است، به عبارتی خشکسالی که از نوامبر ۱۹۹۸ آغاز شده است و در آگوست ۱۹۹۹ به بیشترین مقدار خود (۲/۱-) رسیده و تا اکتبر ۲۰۰۰ ادامه داشته است و موجب بروز رخداد خشکسالی به بزرگی ۲۵/۲ در فاصله زمانی مذکور شده است. بررسی رخداد خشکسالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نشان داد که بیشترین فراوانی و تداوم خشکسالی مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ است، به عبارتی خشکسالی که از مارچ ۱۹۹۹ آغاز شده است و در اکتبر همان سال به بیشترین مقدار خود (۱/۶-) رسیده و تا فوریه ۲۰۰۲ ادامه داشته است و موجب بروز رخداد خشکسالی به بزرگی ۳۲/۲۸ در فاصله زمانی مذکور شده است. شدیدترین خشکسالی رخ داده در طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ با مقدار ۲/۵- نیز در ژولای سال

دما (TX50p) در طی سال‌های مورد مطالعه نیز رو به افزایش است. به عبارتی شاخص‌های دمایی مبتنی بر دمای حداکثر بیانگر تغییر قابل ملاحظه‌ای به سمت گرم‌تر شدن دارند. در حالی که شاخص‌های مبتنی بر دمای حداقل روند قابل توجهی را نشان نمی‌دهند اما نشانگر افزایش حداقل‌های دما بعد از سال ۲۰۰۸ تحت تأثیر ادامه روند رخداد تغییر اقلیم هستند. بررسی روند سرعت باد در ایستگاه ایلام نشان داد طی سال‌های مورد مطالعه سرعت باد نیز افزایش یافته که این موضوع مبین افزایش شیب گرادیان دمایی به دلیل افزایش در مقادیر حداکثر دماهای حداکثر می‌باشد. بررسی روند شاخص‌های خشکسالی در سطح اطمینان ۹۵٪ در ایستگاه ایلام نشان داد که بجز شاخص SPI3 روند سایر شاخص‌ها روندی معنی‌دار، کاهش و به سمت مقادیر منفی‌تر بوده که این موضوع نشان می‌دهد که کاهش بارندگی در ابتدا موجب بروز خشکسالی‌ها در مقیاس طولانی‌تر شده و با ادامه روند و افزایش تدریجی دما از سوی دیگر خشکسالی‌های کوتاه‌مدت موقوع پیوسته‌اند. بررسی همگنی خشکسالی‌ها در ایستگاه ایلام نشان داد که میزان بیشترین جمع بارش سالانه و بیشترین مقدار بارش ۵ روز متوالی از سال ۱۹۹۵ کاهش یافته، در حالی که میزان بیشترین بارش ۲ روز متوالی و بارش روزانه از سال ۱۹۹۸ کاهش یافته که البته هیچیک از این تغییرات معنی‌دار نیست. نتایج نشان می‌دهد در ایستگاه ایلام دماهای میانگین، دماهای حداکثر و حداقل و حداکثر دماهای حداکثر از سال ۱۹۹۸ افزایش یافته که هیچیک از این تغییرات معنی‌دار نبوده است اما همین تغییرات افزایشی بدون معنی به‌ویژه در مقادیر حداقل دماهای حداکثر مبین وقوع بیشتر روزهای گرم و کاهش رطوبت خاک باشد و ایجاد تنش رطوبتی در گیاهان و درختان بلوط گردد که البته افزایش معنی‌دار درصد روزهای گرم با دمای بیش از دمای میانگین از سال ۱۹۹۸ (از میانگین ۳۵٫۳۷٪ به ۵۹٪) تأییدی بر این مطلب است. از سویی نتایج نشان داد که دماهای حداقل اعم از میانگین دماهای حداقل و حداکثر و حداکثر دماهای حداقل در این ایستگاه دچار تغییرات کاهش بدون معنی از سال ۲۰۰۲ شده است،

بحرانی در مدیریت آینده منابع آب باشد. بارندگی‌های شدید و رگباری به دلیل اثرهای مخرب و زیانبارشان بر طبیعت، لازم است مورد بررسی دقیق قرار گیرند و در مدت زمان برنامه‌ریزی برای امور مختلف کشاورزی، عمرانی و غیره بایستی از لحاظ شدت و مدت فراوانی کاملاً مورد توجه قرار بگیرند. نمایه بیشترین مقدار بارش‌های دو و پنج روزه در ماه بیانگر تداوم فعالیت سامانه‌های باران‌زا یا ناپایداری در دوره‌های چند روزه است. با توجه به اهمیت بارش به‌ویژه در تأمین منابع آب منطقه، بررسی نقش تداوم‌های بارش در تأمین آن ضروری می‌باشد. بنابراین فهم اینکه هر تداوم بارش، چه سهمی از روزهای بارش و مقدار بارش در منطقه را تولید می‌نماید ضروریست. بررسی روند پارامتر بیشترین میزان مجموع سالانه بارش در روزهای مرطوب (بارش ۱ میلی‌متر و بیشتر) در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۰۸ و شاخص‌های حدی بیشترین بارش یک، دو و پنج روزه در سال ۲۰۱۵ و کمترین در سال ۲۰۰۸ در سطح اطمینان ۹۵٪ در ایستگاه ایلام نشان داد که روند پارامترهای بارندگی طی سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ کاهش یافته که البته این روندها از نظر آماری معنی‌دار نیستند اما نتایج بررسی شاخص‌های بارش به‌طور کلی مبین ناهنجاری و نوسانهای نامنظم کاهش در مقادیر این شاخص‌ها در این ایستگاه هستند. یکی از ویژگی‌های رخداد تغییر اقلیم در منطقه، نوسان‌های شدید بارش می‌باشد که منجر به دو پدیده مخرب خشکسالی و سیل می‌شود و از پیامدهای تغییر اقلیم است. اما توجه به روند افزایشی و کاهش‌ی شاخص‌های تغییر اقلیم در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی، جنگل و مدیریت منابع آب کشور به‌ویژه با هدف حفاظت از عرصه‌های منابع طبیعی ضروریست. نتایج این قسمت با نتایج Sofi و Alijani (۲۰۱۲) که روند معنی‌داری را در سری مجموع بارش و فراوانی روزهای بارشی سالانه ایستگاه‌های زاگرس مشاهده نکردند، مطابقت دارد.

بررسی روند شاخص‌های دما در سطح اطمینان ۹۵٪ در ایستگاه ایلام نشان داد که مقادیر حداکثر شاخص‌های حداکثری دما (TXx) دارای روندی افزایشی و معنی‌دار بوده، به‌طوری‌که درصد وقوع روزهای با دمای بالاتر از میانگین

عوامل اصلی مؤثر بر خشکیدگی بلوط‌های ایرانی در استان ایلام و نتایج مطالعات Mansouri Daneshvar و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر وقوع خشکسالی‌های ناشی از پدیده تغییر اقلیم در استان ایلام، نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند. با توجه به مطالعات تغییر اقلیم در ایران و مطالعات جهانی، ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از این مطالعه با مطالعات Akbary و Sayad (۲۰۲۱) مطابقت دارد. با توجه به روند کاهشی بارش و روند افزایشی دما در منطقه مورد مطالعه، رخداد مخاطرات اقلیمی و محیطی ناشی از آن همانند امواج گرمایی، خشکسالی و سیل نیز می‌تواند در آینده افزایش یابد. بنابراین، تغییر اقلیم تهدیدی جدی برای انسان‌ها چه در زمینه اقتصادی و چه در زمینه‌های سیاسی و امنیتی خواهد بود (Sayad, Akbary & 2021).

منابع مورد استفاده

- Akbary, M. and Sayad, S., 2021. Analysis of climate change studies in Iran. *Physical Geography Research*, 53(1):37-74 (In Persian with English summary). DOI:10.22059/JPHGR.2021.301111.1007528.
- Alexander Chair, L., 2015. WMO CCI Expert Team on Sector-specific Climate Indices (ET SCI) Workshop, Nadi, Fiji 7th – 11th.
- Asgari, S., Razi, T., Hosseini, A. and Najafifar, A., (2021). Temporal-spatial analysis of drought and oak trees dieback of Zagros forests in Ilam Province. *Ecology of Iranian Forest*, 9(17): 86-96 (In Persian with English summary). Dor:20.1001.1.24237140.1400.9.17.10.4.
- FAO. 2015. Iran (Islamic Republic Of) - Global Forest Resources Assessment. Country Report. Rome, Italy.
- Gooshbor, L., Pir Bavaghar, M., Amanollahi, J. and Ghobari, H., 2016. Monitoring infestations of oak forests by tortrix viridana (Lepidoptera: tortricidae) using remote sensing. *Plant Protection Science*, 52(4): 270–276. DOI:10.17221/185/2015-PPS
- Hosseini, A., Hosseini, S.M., Rahmani, A. and Azadfar, D., 2013. Effect of tree mortality on structure of Brant's oak (*Quercus brantii*) forests of Ilam province of Iran. *Forest and Poplar Research*, 20(4): 577-565 (In Persian with English summary). DOI:10.22092/IJFPR.2012.107462.
- Imanyfar, S. and Hasanlou, M., 2017. Remote sensing analysis of the extent and severity of oak decline in

به عبارتی از وقوع شب‌های گرم به شکل غیرمعنی‌دار کاسته شده است اما میانگین سرعت باد از سال ۱۹۹۵ افزایش یافته و از میانگین ۱۰/۶۵ به ۱۳/۴ متر بر ثانیه رسیده که این تغییر در سطح خطای ۵ درصد معنی‌دار است.

به‌طورکلی نتایج مطالعه و بررسی شاخص‌های خشکسالی، شاخص‌های تغییرات اقلیمی و بی‌نظمی دما در ایستگاه ایلام نشان می‌دهد که در محدوده سایت‌های زوال بلوط سراب شمالی و جنوبی میزان بیشترین بارش ۵ روز متوالی از سال ۱۹۹۵ و مجموع سالانه بارش روزهای مرطوب و بیشترین بارش‌های یک و دو روزه از سال ۱۹۹۸ کاهش یافته که در سطح خطای پنج درصد معنی‌دار نبوده‌اند اما همین کاهش‌های بدون معنی در تعداد روزهای مرطوب، حجم بارندگی و تداوم بارندگی به همراه افزایش غیرمعنادار حداکثرهای دمای هوا از سال ۱۹۹۸ و معنادار شدن و شدت یافتن آن از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۵ و افزایش غیرمعنادار حداقل‌های دما از سال ۲۰۰۲ و معنادار سرعت باد از سال ۱۹۹۶ موجب افزایش میزان تبخیر از سال ۱۹۹۸ شده و موجب گردیده از سال ۱۹۹۸ تحت تأثیر گرمایش جهانی شاهد وقوع خشکسالی‌هایی در مقیاس شش و دوازده ماهه (کاهش در مقادیر رواناب‌ها، منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و ذخایر آنها) و از سال ۲۰۰۳ در مقیاس سه ماهه (کاهش ذخیره رطوبتی خاک و ایجاد تنش رطوبتی) باشیم. این خشکسالی‌های سه ماهه به‌علت وقوع معنادار پدیده تغییر اقلیم در مقادیر حداکثرهای دما از سال ۲۰۰۷ موجب وقوع خشکسالی‌های خفیف‌تر شش و دوازده ماهه و شدیدتر سه ماهه در محدوده سایت‌های زوال سرابله شمالی و جنوبی شده است که این خشکسالی‌ها با افزایش معنی‌دار درصد وقوع روزهای با دمای بالاتر از میانگین دما از سال ۲۰۰۷ موجب بروز خشکسالی‌های شدیدتری از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۵ در این سایت‌ها شده است؛ به‌طوری‌که به بیشترین مقدار خود در سال ۲۰۰۸ رسیده است که مصادف با اوج زوال درختان بلوط طی سال‌های مورد مطالعه و تحت تأثیر وقوع پدیده تغییر اقلیم بوده است که مطالعات Karamian و Mirzaei (۲۰۲۰) با تأکید بر دو عامل خشکسالی و تغییر اقلیم به عنوان

- DOI:10.13140/2.1.3156.4161.
- Mouri, G., Shinoda, S., Golosov, V., Shiiba, M., Hori, T., Kanae, S., Takizawa, S. and Oki, T., 2012. Ecological and hydrological responses to climate change in an urban-forested catchment, Nagara River basin, Japan. *Urban Climate*, 1: 40-54. DOI:10.1016/j.uclim.2012.08.002.
 - Nabeshima, E., Kubo, T., Yasue, K., Hiura, T. and Funada, R., 2015. Changes in radial growth of earlywood in *Quercus crispula* between 1970 and 2004 reflect climate change. *Trees*, 29(4), 1273-1281. DOI:10.1007/s00468-015-1206-3.
 - Nasa. 2023. <https://gpm.nasa.gov/resources/faq/how-does-climate-change-affect-precipitation>.
 - Oladi, R., Nasiriani, S., Danekar, A. and Pourtahmasi, K., 2016. Inter-relations between tree-ring width and vessel features in black alder (*Alnus glutinosa*). *Iranian Journal of Wood and Paper Science*, 30(2): 278-288. DOI:10.22092/IJWPR.2015.12925.
 - Pirouzi, F. and M. Tavakoli, M., 2015. Investigating Effects of Dust as One of the Effective Factors on Decline of Oak Forest of Lorestan Province. Tehran. 815-825 (In Persian with English summary). DOI:0.1001.1.22516735.1399.10.39.2.4.
 - Pourhashemi, M. and Sagheb Talebi, K.H., 2021. Natural reproduction of oak. *Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran*, 300pp. (In Persian with English summary).
 - Serrano, A., Mateos, V.L. and Garcia, J.A., 1999. Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. *Physics Chem. Earth (B)*, 24(1-2): 85- 90. DOI:10.1016/S1464-1909(98)00016-1.
 - Sofi, M. and Alijani, B., 2012. Climate change in the Zagros region. *Geographical Territory*, 9(2): 47-66 (In Persian with English summary).
 - Tavakoli, M., Mohammadinejad, M.R. and Pirouzi, F., 2012. Investigating the state of decline and drying of oak trees in the forests of Lorestan province. 1st National Conference on Environmental and Natural Resources Law in Zagros. 15 November. (In Persian with English summary).
 - Thomas, F.M., Blank, R. and Hartmann, G., 2002. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology*, 32: 277-307. DOI:10.1046/j.1439-0329.2002.00291.
 - Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Tank, A.K. and Zhai, P., 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Malekshahi city, Ilam, Iran. Journal of Geospatial Information Technology*, 4 (4): 1-19. (In Persian with English summary). DOI:10.29252/jgit.4.4.1
 - Jafari, M., Zainvand, H. and Shirzadi, A., 2013, The role of climate change in the occurrence of drought and flood and the challenges facing it. 9th National Seminar on Watershed Management, Sciences and Engineering of Iran, City Yazd (In Persian).
 - 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. (In Persian with English summary). DOI: 10.52547/ifej.8.15.93.
 - Karl, T.R., Nicholls, N. and Ghazi, A., 1999. CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary, *Climatic Change*, 42: 3-7. DOI: 10.1023/A:1005491526870
 - Lettenmaier, D.P., Wood, E.F. and Wallis, J. R., 1994. Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88. *Journal of Climate*, 7(4): 586-607.
 - Levanic, T., Cater, M. and McDowell, NG., 2011. Associations between growth, wood anatomy, carbon isotope discrimination and mortality in a *Quercus robur* forest. *Tree Physiology*, 31(3), 298–308. DOI: 10.1093/treephys/tpq111
 - Lotfinasabasl, S., Khosroshahi. M., Saedefar, Z. and Dargahian, F., 2019. Precipitation Trend Analysis and Drought Assessment of Jazmorian Basin Using Trend Analysis Methods and Optimized Drought Indices. *Iranian journal of Range and Desert Research*, 25(4): 923-943. (In Persian with English summary). DOI:10.22092/ijdr.2019.118624
 - Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M. and Nejadsoleymani, H., 2019. An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental System Research*, 8(7):1-10. DOI:10.1186/s40068-019-0135-3.
 - Mattson, W.J. and Haack, R.A., 1987. The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *Bioscience*, 37: 110–118. DOI:10.2307/1310365.
 - Mckee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Jan 15-20, 1995, Dallas TX, pp. 233-236.
 - Mirabolfathy, M., 2013. Outbreak of Charcoal Disease on *Quercus* Spp and *Zelkova Carpinifolia* Trees in Forests of Zagros and Alborz Mountains in Iran (Short Article). *Iranian Journal of Plant Pathology*, 49 (2194): 257–263. (In Persian with English summary).
 - Moreland, J.A., 1993. Drought, United States Geological Survey. US Dept. of the Interior, 93-642.

- of drought and *Hypoxylon mediterraneum* on oak decline in the Mediterranean region. *Annals of Forest Science*, 53: 753–760. DOI:10.1051/forest:19960251
- Wang, T., Luo, Y. and Zhong, M., 2017. Comparison of recent precipitation tendency between Northwest and North China. *Journal of China Hydrology*, 37(1): 56–63. DOI: 10.22059/JRWM.2021.331351.1617
 - Zakari, F., Hojjati, S.M. and Kiadeliri, H., 2013. An analysis of the process of drying and deterioration of Zagros forests, *The 3rd Environmental Planning and Management*, Tehran, 26 November. (In Persian with English summary).
 - Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
 - USGS. 2023. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/droughts-things-know>
 - Valipour, A., Plieninger, T., Shakeri, Z., Ghazanfari, H., Namiranian, M. and Lexer, M.J., 2014. Traditional Silvopastoral management and its effects on forest stand structure in northern Zagros, Iran. *Forest ecology and management*, 327: 221-230. DOI:10.1016/j.foreco.2014.05.004
 - Vannini, A., Luisi, N. and Valentini, R., 1996. Impact