

Investigating the occurrence of drought in the forest ecosystem of Zagros due to its coincidence with the decline of oak forests

Fatemeh Dargahian^{1*}, Mehdi Pourhashemi², Sakineh Lotfinasabasi³

- 1* - Corresponding author, Associate Prof., , Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: dargahian@rifr-ac.ir
2- Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3- Assistant Prof., Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 18.06.2024

Accepted: 11.09.2024

Abstract

Background and objectives: Severe droughts and catastrophic floods are major challenges resulting from climate change in the Zagros forest ecosystem. Climatic anomalies such as heat waves and prolonged droughts can create favorable conditions for pest and disease outbreaks, leading to the decline of oak forests. The Zagros oak forests are situated in semi-humid and semi-arid climatic zones and, due to their location in the global dry belt, frequently experience recurrent droughts. The biodiversity and ecological role of these forests, acting as a protective belt and natural barrier, highlight their significance. Spanning 11 provinces and covering an area of 6 million hectares—accounting for 40% of Iran's forests—the management and planning of this ecosystem is highly complex due to its vast extent and the influence of various environmental factors. Identifying areas that experience more frequent, prolonged, and severe droughts can help forest managers mitigate damage and enhance adaptation to current and future climate changes.

Methodology: To assess drought occurrence in the Zagros ecosystem, the Standardized Precipitation Index (SPI) was utilized to analyze the temporal distribution of drought frequency, duration, and severity over a 28-year period across three selected stations in northern, central, and southern Zagros. Based on regional conditions and classifications from Iran's National Drought Center, the SPI was categorized into nine classes. The index was calculated for synoptic stations with a 28-year statistical record at 3-, 6-, and 12-month timescales using ClimPACT software. Given the vast study area, the Zagros region was divided into three sections (northern, central, and southern), and drought severity and duration were visualized through graphical representations. After evaluating drought intensity, duration, and frequency across all stations with more than 28 years of data, the percentage of drought-affected areas was calculated for the entire Zagros ecosystem over a common statistical period (1992–2019). The spatial distribution of drought severity during peak drought years was mapped using the ordinary kriging method in ArcGIS software. By identifying years when widespread drought affected the entire Zagros, regions experiencing severe and extreme droughts were classified as critical zones for conservation and research efforts.

Results: The findings indicate no significant difference in drought severity across northern, central, and southern Zagros; however, the timing of the most severe drought events varies. Across all timescales, the longest drought period occurred between 1999 and 2001, coinciding with the onset of forest decline in the Zagros. Notably, from 2007 to 2017, more than 40% of the Zagros region experienced prolonged drought. While droughts can extend over hundreds of kilometers, their intensity and duration are not necessarily uniform across the entire region. Analysis of drought extent from 1992 to 2019 revealed that during certain years, such as 2006 and 2018, no drought events occurred, and the entire Zagros experienced wet conditions. In some years, mild droughts affected less than 10% of the region. However, between 2007 and 2017, more than 40% of the Zagros suffered from prolonged droughts, with certain years, such as 2008, experiencing drought conditions across the entire ecosystem. During this period, in 2010, over 80%

of the Zagros region faced drought, and in 2017, this figure exceeded 70%. Notably, before this prolonged dry period, a relatively wet phase lasted for nearly five years.

Conclusion: While multiple factors have contributed to the decline of the Zagros forests, drought has been a primary driver, facilitating the impact of other stressors. The extended duration of droughts has hindered the recovery of trees, while the extreme severity of events—such as the 2008 drought, which affected the entire Zagros—has exacerbated forest decline. Although alternating wet and dry periods are characteristic of the Zagros climate, prolonged drought episodes have heightened ecosystem vulnerability. Severe droughts, when followed by a wet year, tend to have less impact compared to persistent mild droughts. Identifying areas subject to severe and continuous droughts can aid forest managers and policymakers in implementing effective conservation and restoration strategies.

Key words: Climate change, drought persistence, Zagros oak decline, SPI drought index

بررسی وقوع خشک‌سالی در اکوسیستم جنگلی زاگرس با توجه به همزمانی آن با زوال جنگل‌های بلوط

فاطمه درگاهیان^{۱*}، مهدی پوره‌اشمی^۲ و سکینه لطفی‌نسب‌اصل^۳

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

پست‌الکترونیک: dargahian@rifr-ac.ir

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

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: خشک‌سالی‌های شدید و سیل‌های مهیب ابرچالش‌های ناشی از تغییر اقلیم در اکوسیستم جنگلی زاگرس هستند. ناهنجاری‌های آب‌وهوایی مانند موج گرما و خشک‌سالی طولانی می‌تواند زمینه لازم را برای حمله آفات و بیماری‌ها فراهم کند و منجر به زوال جنگل بلوط شود. جنگل‌های بلوط زاگرس در شرایط آب‌وهوایی نیمه‌مرطوب و نیمه‌خشک هستند و با توجه به اینکه در کمربند خشک دنیا قرار دارند، با خشک‌سالی‌های پی‌درپی مواجه می‌باشند. تنوع زیستی و نقش بیولوژیکی جنگل‌های زاگرس، به‌عنوان یک کمربند حفاظتی و مانع طبیعی که در غرب کشور و در ۱۱ استان با ۶ میلیون هکتار وسعت گسترده شده و ۴۰ درصد از مساحت جنگل‌های ایران را تشکیل می‌دهد، اهمیت این بوم‌سازگان را بیش‌ازپیش نشان می‌دهد. مدیریت و برنامه‌ریزی برای آنها به‌دلیل گستردگی و تأثیر عوامل مختلف دشوار است. شناسایی مناطقی از این اکوسیستم جنگلی که با فراوانی، تداوم و شدت بیشتر خشک‌سالی مواجه شده است، به مدیران اکوسیستم جنگلی کمک می‌کند تا آسیب‌ها را کاهش دهند و با تغییرات آب‌وهوایی فعلی و آینده سازگارتر شوند.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی رخداد خشک‌سالی در اکوسیستم زاگرس با استفاده از شاخص SPI، توزیع زمانی فراوانی، تداوم و شدت آن در یک دوره آماری ۲۸ ساله در سه ایستگاه منتخب در زاگرس شمالی، میانی و جنوبی بررسی و مقایسه شد. در این تحقیق با توجه به شرایط منطقه و براساس طبقه‌بندی مرکز ملی خشک‌سالی ایران، این شاخص به ۹ کلاس تقسیم شد. این شاخص برای ایستگاه‌های سینوپتیک با دوره آماری ۲۸ سال در مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در نرم‌افزار ClimPACT محاسبه شد. با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه، زاگرس به سه قسمت شمالی، میانی و جنوبی تقسیم شد و شدت و مدت خشک‌سالی در قالب نمودار ترسیم گردید. پس از بررسی شدت، مدت و فراوانی خشک‌سالی در تمام ایستگاه‌هایی که بیش از ۲۸ سال طول دوره آماری داشتند، درصد مساحت طبقات خشک‌سالی در سال‌های مختلف در یک دوره مشترک آماری از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۹ برای کل محدوده اکوسیستم زاگرس به دست آمد. توزیع مکانی طبقات خشک‌سالی در سال‌های اوج خشک‌سالی پهنه‌بندی و در نرم‌افزار ArcGIS با روش کریجینگ معمولی تجزیه و تحلیل شد و به‌این‌ترتیب با بررسی سال‌هایی که کل زاگرس با خشک‌سالی فراگیر همراه بود، مناطقی که دچار خشک‌سالی‌های شدید و بسیار شدید شدند، به‌عنوان مناطق بحرانی برای هر گونه برنامه حفاظتی و تحقیقاتی شناسایی شد.

نتایج و یافته‌ها: نتایج نشان داد، در زاگرس شمالی، میانی و جنوبی از نظر شدت خشک‌سالی تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای وجود ندارد اما سال رخداد شدیدترین خشک‌سالی متفاوت است. در تمام مقیاس‌های زمانی بیشترین تداوم در سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ همزمان با شروع پدیده زوال در زاگرس است. اما از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ بیش از ۴۰ درصد مساحت زاگرس با یک دوره خشک‌سالی طولانی مواجه بوده است. خشک‌سالی می‌تواند در منطقه‌ای با وسعت چند صد کیلومتر اتفاق بیفتد، اما درعین‌حال امکان دارد، شدت و دوره تداوم آن در سراسر منطقه یکسان نباشد. بررسی وسعت خشک‌سالی در اکوسیستم زاگرس از سال ۱۹۹۲ تا سال ۲۰۱۹ نشان داد، در برخی سال‌های اول دوره و سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۸ در سراسر زاگرس هیچ‌یک از طبقات خشک‌سالی رخ نداده و کل

مساحت زاگرس صددرصد با ترسالی مواجه بوده است. در برخی سال‌ها هم تنها در کمتر از ۱۰ درصد مساحت زاگرس یک خشک‌سالی در حد خفیف رخ داده است. اما از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ بیش از ۴۰ درصد مساحت زاگرس با یک دوره خشک‌سالی طولانی مواجه بوده است که در برخی از سال‌های این دوره مانند سال ۲۰۰۸، صددرصد اکوسیستم با انواع طبقات خشک‌سالی مواجه بوده است. طی این دوره طولانی، سال ۲۰۱۰ بیش از ۸۰ درصد و سال ۲۰۱۷ بیش از ۷۰ درصد مساحت زاگرس با خشک‌سالی مواجه بوده است. این در حالی است که قبل از این دوره خشک‌سالی طولانی، یک دوره ترسالی تقریباً ۵ ساله بر زاگرس مستولی بوده است.

نتیجه‌گیری: علاوه بر عوامل متعدد دیگر که در زوال زاگرس مؤثر بوده‌اند، رخداد خشک‌سالی یکی از عوامل اصلی بوده که زمینه را برای سایر عوامل فراهم نموده است. از نظر مدت، یک دوره خشک‌سالی طولانی فرصت جبران خسارت‌های وارده به درختان را سلب کرده است. از نظر شدت، سال ۲۰۰۸ شدیدترین و فراگیرترین رخداد خشک‌سالی در زاگرس است، به طوری که صددرصد زاگرس با انواع طبقات خشک‌سالی مواجه بوده است. رخداد دوره‌های متناوب خشک‌سالی و ترسالی جزو ماهیت اقلیم زاگرس است، اما رخداد یک دوره طولانی خشک‌سالی در زاگرس آسیب‌پذیری آن را افزایش داده است. رخداد خشک‌سالی شدید در صورتی که سال بعد با ترسالی همراه باشد، اثرهای کمتری نسبت به خشک‌سالی‌های ضعیف و اما مداوم دارد. شناخت مناطقی از اکوسیستم جنگلی که با خشک‌سالی‌های شدید و مداوم همراه است، می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان اکوسیستم‌های جنگلی را برای برنامه‌های حفاظتی و احیایی یاری کند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، تداوم خشک‌سالی، زوال بلوط زاگرس، شاخص خشک‌سالی SPI.

مقدمه

خشک‌سالی و تغییرات اقلیمی از عوامل اولیه زوال بلوط هستند (Clatterbuck & Kauffman, 2006). کاهش جنگل ناشی از تغییرات آب‌وهوایی یک پدیده جهانی است که بسیاری از گونه‌های درختان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به طوری که، در مناطق مستعد خشک‌سالی در منطقه مدیترانه و در جنوب ایتالیا، چندین گونه بلوط از سال ۲۰۰۰ به دلیل تنش خشکی، علائم کاهش و افزایش مرگ‌ومیر را نشان داده‌اند (Colangelo *et al.*, 2018). زوال جنگل بلوط می‌تواند ناشی از افزایش ناهنجاری‌های آب‌وهوایی مانند موج گرما و خشک‌سالی باشد (Conte *et al.*, 2019). در دهه‌های گذشته، افزایش رویدادهای گزارش‌شده مربوط به مرگ‌ومیر درختان ناشی از خشک‌سالی نشان می‌دهد، چگونه تغییرات آب‌وهوایی در حال تغییر اکوسیستم‌های جنگلی در سراسر جهان است (Acacio *et al.*, 2021). در شرایط تغییرات آب‌وهوایی، شدت و مدت دوره‌های خشک‌سالی در بسیاری از مناطق به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش می‌یابد. در حوزه 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 & Sheffer, 2021). در جنگل‌های معتدله، زوال و کاهش رشد درختان بلوط می‌تواند با تغییرات آب‌وهوایی مانند دوره‌های خشک و سرد آغاز شود و با گرم شدن آب‌وهوا و افزایش تنش خشک‌سالی تقویت گردد (Camarero *et al.*, 2021). مقایسه پهنای حلقه‌های رویشی و اندازه و تعداد آوندها بر میزان ابتلای درختان به بیماری بین درختان سالم و زوال‌یافته بلوط در منطقه دالاب استان ایلام نشان داد، مرگ بیشتر درختان در سال ۱۳۸۷ رخ داده است (Najafi *et al.*, 2018). بررسی تغییر غلظت عناصر شیمیایی موجود در چوب درختان زوال‌یافته بلوط ایرانی نسبت به درختان سالم نشان داد، از میان عوامل متعدد بروز پدیده زوال، تأثیر عوامل آب‌وهوایی بیشتر است (Ostakh *et al.*, 2019). در مطالعه مقایسه بیماری‌زایی بیمارگرهای عامل سرخشکیدگی و زوال درختان بلوط در استان کرمانشاه، بررسی تأثیر دما بر رشد شعاعی گونه‌های بیمارگر نشان داد، هر سه گونه گرمادوست هستند و احتمال

عوامل متعددی است. بااهمیت‌ترین عوامل زوال درختان، عوامل بیرونی هستند که با ضعیف کردن درختان توان تقابل و ماندگاری آنها را در برابر تنش‌های رویشگاهی و عوامل بیماری‌زا کاهش می‌دهند (Bedrood *et al.*, 2021). کاهش مساحت و زوال اکوسیستم‌های جنگلی عارضه‌ای جهانی است که اکوسیستم جنگلی زاگرس با توجه به موقعیت جغرافیایی تهدیدپذیرش از این موضوع مستثنی نبوده بلکه با آسیب‌پذیری زیادی مواجه است. اکوسیستم زاگرس از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ با کاهش بارش، افزایش دما و یک دوره خشک‌سالی طولانی مواجه بوده است. مطالعات زیادی کاهش مساحت، زوال و خشکیدگی جنگل‌های زاگرس را نشان داده‌اند. کاهش تاج‌پوشش درختان بلوط در جنگل‌های دشت برم استان فارس (Nasari *et al.*, 2020)، کاهش بیش از ۴۲۸۰۴ هکتار از جنگل‌های بلوط استان لرستان در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ (Shiravand *et al.*, 2020)، کاهش ۴۲ درصد مساحت جنگل در استان ایلام (Rostam Zadeh *et al.*, 2017)، کاهش استان ایلام در فاصله سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ به میزان ۲۶۰۷۳ هکتار (Jafari & Hosseini, 2019)، کاهش مساحت جنگل‌های شهرستان رومشکان در سال ۲۰۱۷ به یک‌سوم خود نسبت به سال ۱۹۸۷ (Shehabi & Akbari, 2020)، کاهش تراکم چگالی کربن بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ مربوط به ریزش درختان بلوط به دلیل عوامل مختلفی مانند طوفان‌های گردوغبار، آفات و سایر بیماری‌ها (Safari & Sohrabi, 2019). تأثیر تغییر اقلیم بر زوال و کاهش مساحت جنگل‌های زاگرس شمالی (Maroufzadeh & Attarod, 2021). در مطالعه شناسایی مهمترین عوامل مؤثر بر خشکیدگی بلوط در استان ایلام، بیشترین وزن به معیار خشک‌سالی و تغییر اقلیم اختصاص یافت (Karamian & Mirzaei, 2020). تحلیل زمانی - فضایی خشک‌سالی و خشکیدگی درختان بلوط جنگل‌های زاگرس در استان ایلام نشان داد خشکیدگی درختان بلوط به صورت توده‌ای در حال گسترش است. همچنین، بین روند خشک‌سالی در ابعاد مکانی و زمانی و روند خشکیدگی بلوط در سال‌های اخیر

ارتباط این بیمارگرها با پدیده خشک‌سالی و گرمایش جهانی وجود دارد (Sabernasab *et al.*, 2020). مطالعه پاسخ بلوط به تغییرات آب‌وهوایی در Polissya نشان داد، برگ‌زدایی و مرگ‌ومیر سالانه درختان بلوط ناگهانی نیست و میراث خشک‌سالی را بیان می‌کند (Izquierdo *et al.*, 2021).

گرم شدن آب‌وهوا، شدت و مدت خشک‌سالی و موج گرما را افزایش می‌دهد. بنابراین، تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند نابودی جنگل را در بسیاری از اکوسیستم‌های جهان، به‌ویژه در جنگل‌های نیمه‌خشک افزایش دهد (Ogaya *et al.*, 2020). بررسی خشکیدگی جنگل‌های زاگرس میانی نشان داد، در سال ۱۳۹۱ درختان دارای خشکیدگی زیاد و خیلی زیاد ۱۳/۶ درصد بود که در سال ۱۳۹۳ به ۲۵/۴ درصد رسید (Fallah & Haidari, 2018) و این افزایش خشکیدگی ادامه دارد، زیرا تهیه نقشه مناطق حساس به زوال بلوط نشان داد، بیش از ۷۷ درصد جنگل‌های بلوط در زاگرس میانی بسیار مستعد زوال هستند (Motlagh *et al.*, 2021).

عوامل متعدد طبیعی از جمله امواج گرما و خشک‌سالی باعث زوال جنگل‌های زاگرس و درختان بلوط شده است، آنچه مسلم است زوال بلوط‌های زاگرس یکباره به وجود نیامده، بلکه فشارهای وارده بر این بوم‌سازگان مهم جنگلی طی سال‌های متمادی زمینه‌ساز بروز بحران شده است (Pourhashemi *et al.*, 2017). تنش‌های ناشی از خشک‌سالی‌های اخیر و نفوذ ریزگردها سبب ضعف فیزیولوژیک درختان بلوط شده است، به طوری که حمله حشرات و عوامل بیماری‌زا سبب خشکیدگی درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس شده است (Mahdavi *et al.*, 2015). کاهش مساحت جنگل و زوال درختان، ناشی از رخداد تغییر اقلیم یک نگرانی جهانی است و جنگل‌های ایران از این موضوع مستثنی نیستند، به همین دلیل یکی از چالش‌های بزرگ محیط‌های طبیعی ایران در دو دهه اخیر، زوال درختان به‌ویژه در ناحیه رویشی زاگرس بوده است (Pourhashemi & Sadeghi, 2020). این پدیده معلول

زوال جنگل‌های زاگرس در استان لرستان نشان داد، یکی از مهمترین دلایل زوال بوم‌سازگان جنگلی زاگرس، می‌تواند تغییر عوامل اقلیمی و تبخیر تعرق مرجع در طی زمانی کوتاه باشد (Attarod *et al.*, 2016). از دست رفتن سریع رطوبت خاک و تشدید اثر تنش‌های رطوبتی به‌وقوع پیوسته از عوامل مؤثر بر زوال بلوط ایرانی بوده است (Hosseinzade & Pourhashemi, 2017). به‌نحوی که بررسی پراکنش شدت زوال جنگل‌های بلوط همبستگی منفی با رطوبت خاک دارد (Mozafari *et al.*, 2019). بررسی وضعیت زوال درختان بلوط ایرانی در منطقه کوهمره استان فارس نشان داد، عامل رطوبت در ریزوسفر ریشه، نقش مهم و کلیدی در شیوع زوال درختان بلوط دارد (Zarafshar *et al.*, 2021). بررسی تغییرات محتوای رطوبت خاک با مدل بیلان آبی در جنگل‌های دچار خشکیدگی بلوط زاگرس (مطالعه موردی: جنگل مله‌سیاه-ایلام) نشان داد، کاهش رطوبت خاک در خشک‌سالی‌ها نقش مهمی در خشکیدگی پایه‌های بلوط داشته است (azami *et al.*, 2021). با استفاده از روش اقلیم‌شناسی درختی، در بررسی مهمترین عوامل مؤثر بر زوال جنگل‌های بلوط استان ایلام، بیشترین وزن به معیار خشک‌سالی و تغییر اقلیم اختصاص داشت (Karamian & Mirzaei, 2020). بررسی اثرهای خشک‌سالی هواشناسی در خشکیدگی جنگل‌های بلوط استان ایلام نشان داد، همبستگی بالایی بین خشکیدگی بلوط با خشک‌سالی هواشناسی وجود دارد (Jafari, 2025). از آنجایی که زوال جنگل‌های بلوط در زاگرس از اواخر دهه ۸۰ به‌صورت تک‌پایه‌ای شروع شده (Pourhashemi & Sadeghi, 2020)، بنابراین با رخداد خشک‌سالی شدید سال ۲۰۰۱-۱۹۹۹ همزمان بوده است. شدیدترین و فراگیرترین رخداد خشک‌سالی در زاگرس در سال ۲۰۰۸ بوده، در این سال بیش از یک میلیون هکتار از جنگل‌های زاگرس با بحران خشکیدگی مواجه بوده است. بررسی ارتباط میان خشک‌سالی‌های هواشناسی و خشکیدگی جنگل نشان داد، بیشترین کاهش سبزینگی در سال ۲۰۰۸ رخ داده است. در این تحقیق با استفاده از

در مناطق مختلف ایلام رابطه معنی‌داری وجود دارد (Asgari *et al.*, 2021). بنابراین، ظهور پدیده‌هایی مانند استمرار خشک‌سالی‌های اخیر و ریزگردها به همراه انواع بهره‌برداری‌های نامتناسب با توان اکولوژیکی زاگرس، منجر به زوال این بوم‌سازگان شده است. بررسی خشکیدگی تاجی درختان بلوط ایرانی در ارتباط با ویژگیهای فردی و رویشگاهی آنها نشان داد، صفات فردی و اجتماعی و شرایط محیطی تأثیر قابل‌توجهی بر سلامت تاجی درختان بلوط و نحوه واکنش آنها به خشک‌سالی‌های رخ داده اخیر داشته است (Hosseini *et al.*, 2024).

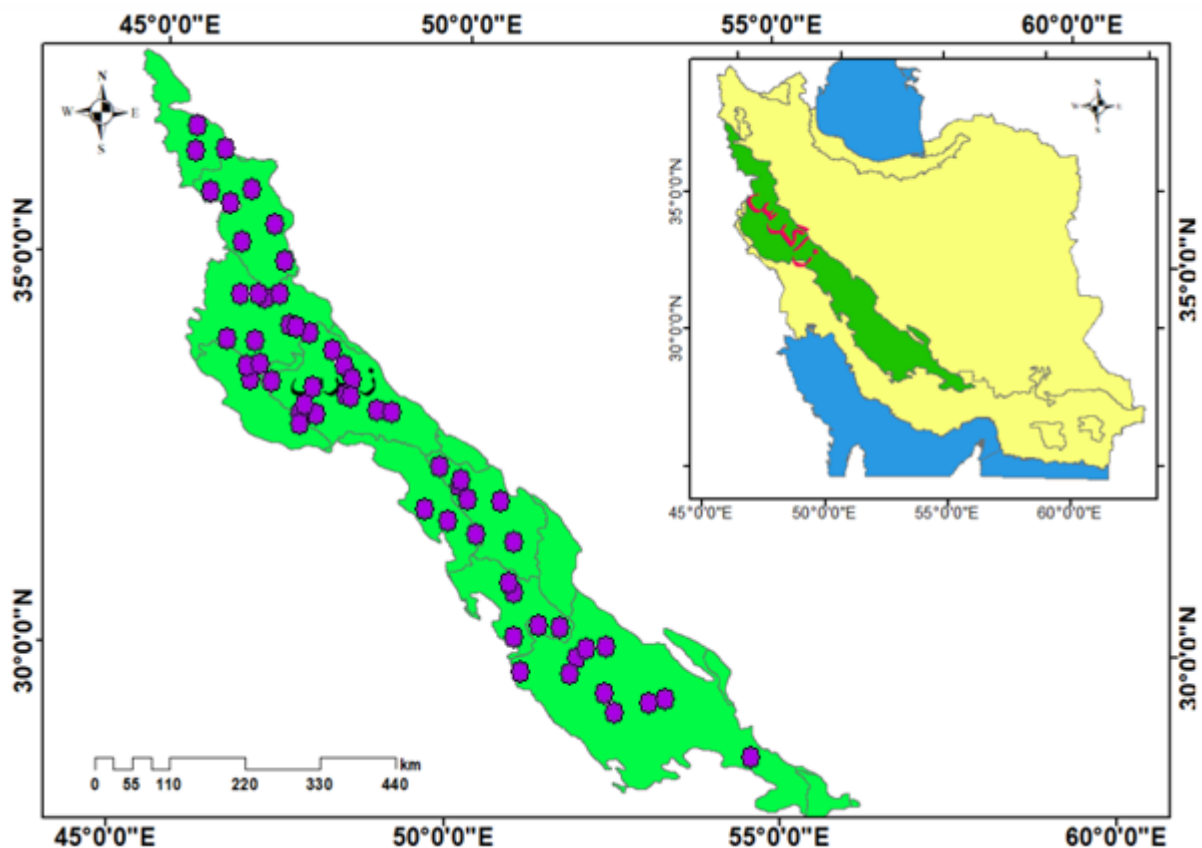
تنش‌های ناشی از خشک‌سالی و گردوغبار سبب ضعف فیزیولوژیک درختان بلوط شده است، به‌طوری که موجب تسهیل حملات حشرات و عوامل بیماری‌زا و درنهایت زوال درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس شده است (Mahdavi *et al.*, 2015). از مهمترین عوامل مؤثر بر زوال درختان زاگرس می‌توان به تغییر شاخص‌های اقلیمی اشاره کرد (Dolatshahi *et al.*, 2017; Attarod *et al.*, 2016, 2017). بررسی کاهش درختان بلوط منطقه مدیترانه نشان داد، علت اصلی آن، عوامل مختلفی از جمله خشک‌سالی و تغییرات آب‌وهوایی بوده است (Kim *et al.*, 2017). روابط بین ناهنجاری‌های آب‌وهوایی و زوال بلوط براساس مشاهدات میدانی در آپنین لوکانیان (جنوب ایتالیا) در سال ۲۰۱۷ میلادی نشان داد، کاهش شدید بارندگی در نیمه اول سال نقش مهمی در زوال درختان بلوط داشته است (Conte *et al.*, 2019). اثر متغیرهای اقلیمی دما و بارش بر پهنای حلقه‌های رویشی درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در ناحیه زاگرس مرکزی نشان داد، بارندگی و دما به‌ترتیب تأثیر مثبت و منفی بر رویش شعاعی درختان داشته‌اند (Sousani *et al.*, 2014). بررسی روند تغییرات پوشش‌های جنگلی استان ایلام نشان داد، یکی از عامل‌های 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 تبخیرتعرق مرجع با

میلی متر متغیر است و به طور کلی هرچه از شمال زاگرس به طرف جنوب شرقی آن حرکت کنیم، از میزان رطوبت و سردی هوا کاسته شده و بر میزان خشکی زمین و گرمای هوا افزوده می شود. درختان این اکوسیستم جنگلی به ویژه بلوط به دلایل مختلف و از همه مهمتر وقوع تغییرات آب و هوایی و وقوع خشک سالی های طولانی دچار خشکیدگی شده اند. پدیده خشکیدگی در سراسر این اکوسیستم به دلیل عوامل متعدد مؤثر بر این پدیده دارای شدت و ضعف متفاوتی است. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های سینوپتیک در محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. مشخصات ایستگاه های سینوپتیک مورد استفاده با طول دوره آماری مناسب در جدول ۱ قابل مشاهده است.

شاخص خشک سالی هواشناسی شدت، مدت و فراوانی خشک سالی برای کل زاگرس استخراج و نقشه پهنه بندی انواع طبقات خشک سالی برای کل زاگرس در سال هایی که خشک سالی فراگیر بود، استخراج شد و مناطقی که به احیا و حفاظت بیشتری نیاز دارند شناسایی گردید.

منطقه مورد مطالعه

جنگل های زاگرس در غرب ایران حدود ۱۲۶۵ کیلومتر طول و در پهن ترین نقاط حدود ۲۰۰ کیلومتر عرض دارند. جنگل های زاگرس با گستردگی در ۱۱ استان کشور با ۶ میلیون هکتار مساحت، ۴۰ درصد جنگل های ایران را تشکیل می دهند. بلوط ها حدود ۷۰ درصد تیپ گونه های جنگلی زاگرس را شامل می شوند. میانگین بارندگی سالانه این عرصه از ۳۰۰ تا ۸۰۰



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Location of the study area

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده

Table 1. Location of used synoptic stations

Synoptic Station	province	Latitude	Longitude	elevation
Piranshahr	Azarbyjan	36.70	45.15	1443.50
Sardasht	Azarbyjan	36.15	45.49	1556.80
Mahabad	Azarbyjan	36.75	45.72	1351.80
Oshnaviyeh	Azarbyjan	37.06	45.14	1415.90
Thrush	Kordestan	36.22	46.31	1522.80
Sanandaj	Kordestan	35.25	47.01	1373.40
Marivan	Kordestan	35.50	46.15	1287.00
Baneh	Kordestan	36.01	45.90	1600.00
Kermanshah	Kermanshah	34.35	47.15	1318.50
Islamabad	Kermanshah	34.12	46.47	1348.80
Ravansar	Kermanshah	34.72	46.65	1380.00
Yasouj	Kahgiloueh_Boyerahmad	30.70	51.56	1816.30
Sisakht	Kahgiloueh_Boyerahmad	30.84	51.47	2133.40
Darehshahr	Ilam	33.14	47.41	670.00
Dehloran	Ilam	32.68	47.30	232.00
Ilam	Ilam	33.59	46.40	1337.00
Ivan	Ilam	33.76	46.36	1290.00
Ezeh	Khozestan	31.85	49.85	767.00
Kohrang	Chaharmahal_Bakhtiari	32.46	50.13	2365.00
Borujen	Chaharmahal_Bakhtiari	31.98	51.30	2260.00
Farsan	Chaharmahal_Bakhtiari	32.26	50.56	2062.00
Ardal	Chaharmahal_Bakhtiari	32.01	50.66	1873.00
Lordegan	Chaharmahal_Bakhtiari	31.50	50.83	1611.00
Kohdasht	Lorestan	33.52	47.65	1197.80
Delfan	Lorestan	34.05	48.00	1859.00
Alashtar	Lorestan	33.82	48.25	1567.10
Poldokhtar	Lorestan	33.15	47.72	713.50
Khorrabad	Lorestan	33.44	48.28	1147.80
Nyritz	fars	29.19	54.35	1632.00
Sepidan	fars	30.23	52.00	2201.00
Noorabad	fars	30.07	51.54	972.00
Doroodzan	fars	30.21	52.42	1642.00
Zarghan	fars	29.78	52.70	1596.00
Shiraz	fars	29.56	52.60	1488.00
Kazeroun	fars	29.60	51.65	840.00

داده‌ها و روش کار

خشک‌سالی استفاده شده است. بدین منظور مجموع بارش سالانه در معرض برآزش توزیع‌های مختلف قرار گرفت و

در این پژوهش، ابتدا از شاخص SPI برای بررسی

تجمعی تجربی، به عنوان توزیع مناسب برای بارش انتخاب شد. تابع توزیع گاما به شرح زیر تعریف می شود.

$$\Gamma(x, \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (۲)$$

در رابطه فوق x^α داده های بارش، α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس، e عدد نپرین و Γ تابع گامای کامل است. به منظور برازش توزیع گاما بر داده ها، ابتدا باید پارامترهای تابع چگالی گاما $g(x)$ ، یعنی پارامترهای α و β تخمین زده شود. این پارامترها را می توان به روش های مختلفی مانند روش گشتاورها، روش بیشینه درست نمایی و غیره برآورد کرد. در این پژوهش از روش بیشینه درست نمایی برای برآورد پارامترها بهره گرفته شد که از طریق معادلات زیر حاصل می شود.

$$\alpha = \frac{1}{4 * A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4 * A}{3}} \right) \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}$$

وقوع بارندگی $G(x)$ به کار برده شدند. احتمال تجمعی مانند مقدار بارش x میلی متر از طریق رابطه زیر به دست می آید.

$$G(X) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (۴)$$

از طریق فرمول های زیر محاسبه می شود. در این مرحله برای محاسبه SPI سال هایی که احتمال تجمعی آنها (cdf) بزرگ تر از صفر و کمتر یا مساوی با ۰/۵ باشد، از رابطه زیر استفاده می کنیم.

$$z = spi = - \left[t - \frac{c_0 + c_1 * t + c_2 * t^2}{1 + d_1 * t + d_2 * t^2 + d_3 * t^3} \right] \quad 0 < G(x) \leq 0.5 \quad (۵)$$

در نهایت با آزمون نکوئی برازش به وسیله آزمون کلموگروف- اسمیرنف و در سطح اطمینان ۹۵ درصد توزیع گاما به عنوان مناسب ترین توزیع انتخاب شد. برای این منظور، ابتدا داده ها به صورت صعودی مرتب شد و بعد احتمال وقوع تجربی مشاهدات با استفاده از رابطه ویبول که به صورت زیر قابل محاسبه است، به دست آمد.

$$p = \frac{m}{n + 1} \quad (۱)$$

در این رابطه: m شماره ردیف مشاهدات و n تعداد مشاهدات مجموعه است. سپس مجموعه زمانی بارش به وسیله توزیع های مختلف برازش شد و احتمال تجمعی وقوع داده ها در توزیع های مختلف به دست آمد. پس از محاسبه تفاوت احتمال تجمعی برازش شده بر داده ها با احتمال تجمعی تجربی و با استفاده از آزمون نکوئی برازش به وسیله آزمون کلموگروف- اسمیرنف، احتمالات تجمعی توزیع گاما با داشتن کمترین تفاوت نسبت به احتمالات

$$A = \ln(\bar{x}) = - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (۳)$$

در این فرمول، n تعداد مشاهدات مجموعه و \bar{x} میانگین مجموعه است. پارامترهای یاد شده برای محاسبه فراوانی وقوع نسبی بارش $g(x)$ و محاسبه احتمال تجمعی

سپس با استفاده از این دو پارامتر احتمال تجمعی مقادیر بارش را برای توزیع گاما حساب می کنیم. به نحوی که تا این مرحله ما احتمال تجمعی بارش را با توزیع گاما حساب کردیم. پس از محاسبه احتمال تجمعی مانند مقادیر بارش $G(x)$ ، مقادیر z استاندارد یا SPI برای هر مقدار بارش (x)

در رابطه ذکر شده برای محاسبه t به طریق زیر عمل خواهیم کرد.

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad (6)$$

اگر مقادیر احتمال تجمعی بزرگ‌تر از ۰/۵ و رابطه زیر حساب می‌کنیم. کوچک‌تر و مساوی با ۱ باشد، SPI را با استفاده از (۰/۵)

$$z = spi = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 * t + c_2 * t^2}{1 + d_1 * t + d_2 * t^2 + d_3 * t^3} \right] \quad 0.5 < G(x) \leq 1 \quad (7)$$

که در آن t با توجه به مقادیر $G(x)$ از یکی از روابط زیر به دست می‌آید.

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \quad (8)$$

در روابط ذکر شده ضرایب ثابت به شرح زیر تعریف می‌شوند.

$$\begin{aligned} d_1 &= 1.432788 & d_2 &= 0.189269 & d_3 &= 0.001308 \\ c_0 &= 2.515517 & c_1 &= 0.802853 & c_2 &= 0.010328 \end{aligned}$$

جدول ۲- مقادیر شاخص SPI

Table 2. SPI index values

SPI Range	Drought and wet classification
- 0.49 < SPEI < +0.49	Near normal
- 0.99 < SPEI < -0.5	Mild dry
- 1.49 < SPEI < -1	Moderately dry
- 1.99 < SPEI < -1.5	Severely dry
SPEI < -2	Extremely dry
+0.5 < SPEI < +0.99	Mild wet
+1 < SPEI < +1.49	Moderately dry
+1.5 < SPEI < +1.99	Very wet
+2 < SPEI	Extremely wet

شاخص SPI نتیجه تحقیقات و کار انجام‌شده در سال ۱۹۹۲ در دانشگاه ایالتی کلرادو در ایالات متحده توسط McKee و همکارانش است که برای اولین بار در هشتمین کنفرانس هواشناسی کاربردی در ژانویه ۱۹۹۳ ارائه شد

این شاخص به ۷ کلاس تقسیم شد. ۳ کلاس خشک‌سالی، ۳ کلاس ترسالی و یک کلاس با شرایط عادی و نرمال. اما در این تحقیق با توجه به شرایط منطقه و براساس طبقه‌بندی مرکز ملی خشک‌سالی

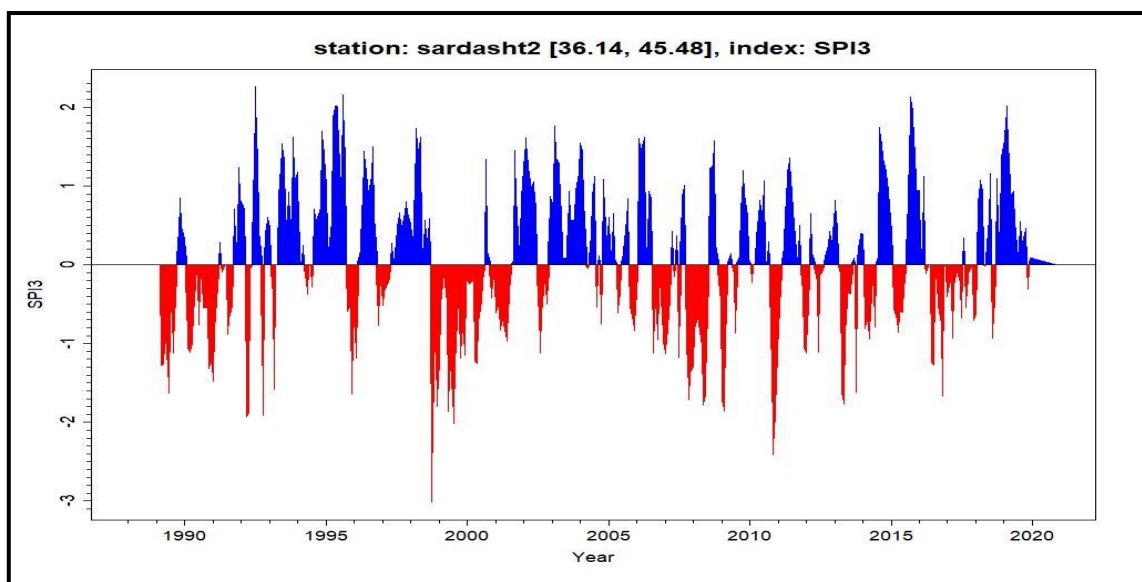
McKee et al., 1993). این شاخص به ۷ کلاس تقسیم شد. ۳ کلاس خشک‌سالی، ۳ کلاس ترسالی و یک کلاس با شرایط عادی و نرمال. اما در این تحقیق با توجه به شرایط منطقه و براساس طبقه‌بندی مرکز ملی خشک‌سالی

خشک‌سالی فراگیر همراه بود مناطقی که دچار خشک‌سالی‌های شدید و بسیار شدید شدند، به‌عنوان مناطق بحرانی برای هرگونه برنامه عملیاتی و تحقیقاتی شناسایی شد.

بحث و نتایج

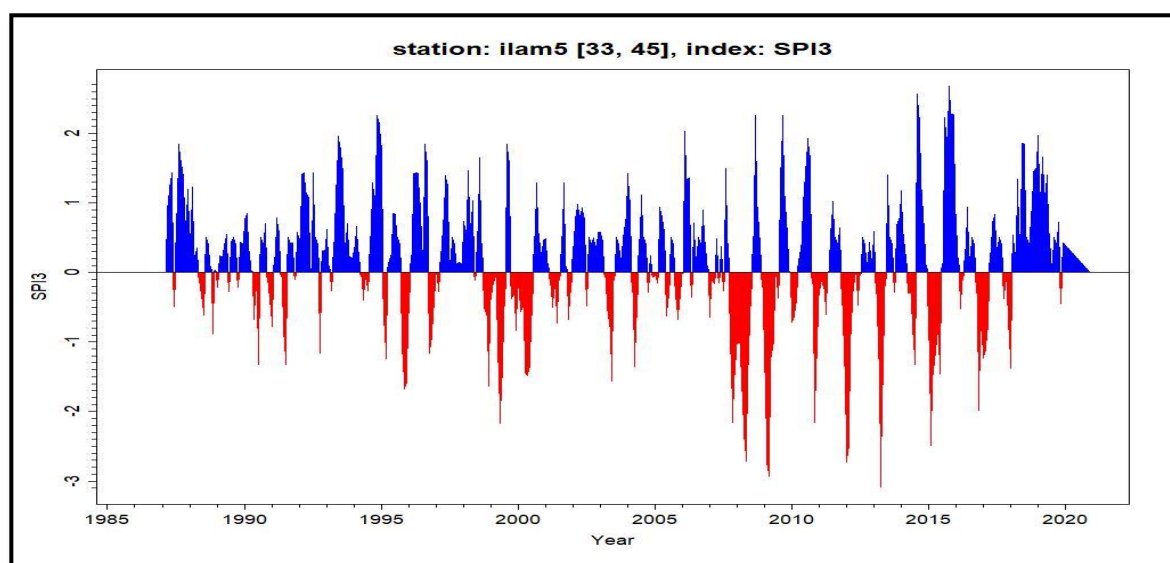
بررسی رخداد خشک‌سالی در زاگرس شمالی (سردشت) نشان داد، در مقیاس زمانی ۳ ماهه بیشترین فراوانی و تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ است و شدیدترین خشک‌سالی در سال ۱۹۹۹ به مقدار $۳/۲-$ می‌باشد. در زاگرس میانی (ایلام) در مقیاس زمانی ۳ ماهه از سال ۱۹۹۹ به بعد به کرات با وقوع خشک‌سالی‌های ۳ ماهه مواجه بوده، اما بیشترین فراوانی و تداوم خشک‌سالی ۳ ماهه مربوط به سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ است، به‌عبارتی فراوانی خشک‌سالی‌های شدید و بسیار شدید در این مقیاس زمانی از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ زیاد شده است. شدیدترین خشک‌سالی به مقدار $۳/۱-$ نیز در سال ۲۰۱۳ مشاهده شد. در زاگرس جنوبی (لردگان) در مقیاس زمانی ۳ ماهه بیشترین فراوانی و تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ است و شدیدترین خشک‌سالی در سال ۲۰۰۸ به مقدار $۳/۲-$ می‌باشد.

ایران، این شاخص به ۹ کلاس تقسیم شد (Dargahian *et al.*, 2020). این شاخص برای ایستگاه‌های سینوپتیک با دوره آماری ۲۸ سال در مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در نرم‌افزار ClimPACT محاسبه گردید. با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه برای بررسی و مقایسه، زاگرس به سه قسمت شمالی، میانی و جنوبی تقسیم شد و شدت و مدت خشک‌سالی در قالب نمودار ترسیم گردید. پس از بررسی شدت، مدت و فراوانی خشک‌سالی در تمام ایستگاه‌هایی که بیش از ۲۸ سال طول دوره آماری داشتند، درصد مساحت طبقات خشک‌سالی در سال‌های مختلف برای یک دوره مشترک آماری از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۹ برای کل محدوده اکوسیستم زاگرس به دست آمد. توزیع مکانی طبقات خشک‌سالی در سال‌های اوج خشک‌سالی پهنه‌بندی و در نرم‌افزار ArcGIS با روش کریجینگ معمولی تجزیه و تحلیل شد. روش‌های کریجینگ، به‌ویژه کریجینگ معمولی در بین روش‌های درون‌یابی به دلیل ایجاد خطای کمتر و تولید حداقل واریانس ممکن، محبوبیت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها دارد (Timurzadeh *et al.*, 2019). به این ترتیب با بررسی سال‌هایی که کل زاگرس با



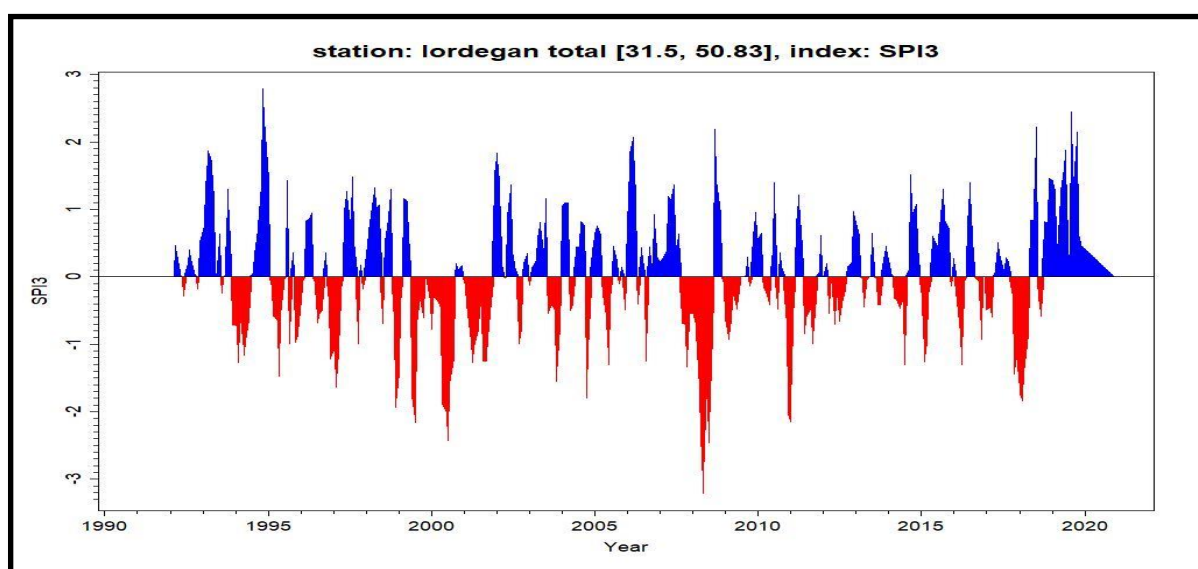
شکل ۲- فراوانی، شدت و تداوم خشک‌سالی براساس شاخص SPI ۳ ماهه در زاگرس شمالی ایستگاه سینوپتیک سردشت

Figure 2. Frequency, intensity and duration of drought based on 3-month SPI index in North Zagros (sardasht)



شکل ۳- فراوانی، شدت و تداوم خشک‌سالی براساس شاخص SPI ۳ ماهه در زاگرس میانی (ایلام)

Figure 3. Frequency, intensity and duration of drought based on 3-month SPI index in Middle Zagros (Ilam)



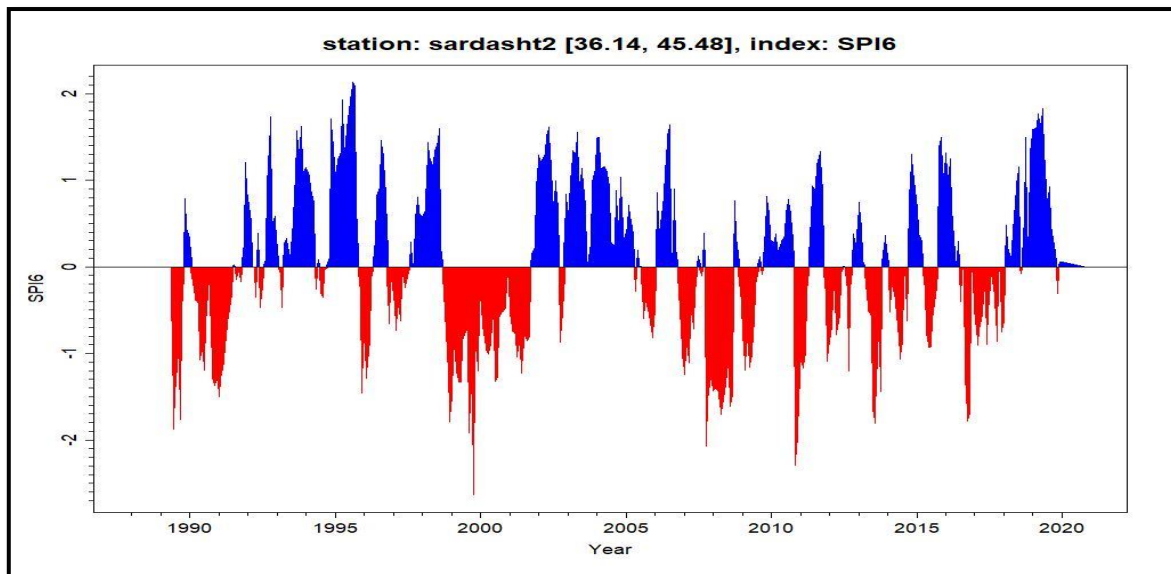
شکل ۴- فراوانی، شدت و تداوم خشک‌سالی براساس شاخص SPI ۳ ماهه در زاگرس جنوبی (لردگان)

Figure 4. Frequency, intensity and duration of drought based on 3-month SPEI index in South Zagros (Lordegan)

خشک‌سالی در سال ۲۰۰۸ به مقدار $3/2$ - می‌باشد (شکل ۵). در زاگرس میانی، بیشترین فراوانی و تداوم خشک‌سالی ۶ ماهه مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ است و شدیدترین خشک‌سالی رخ داده با مقدار $2/77$ - نیز

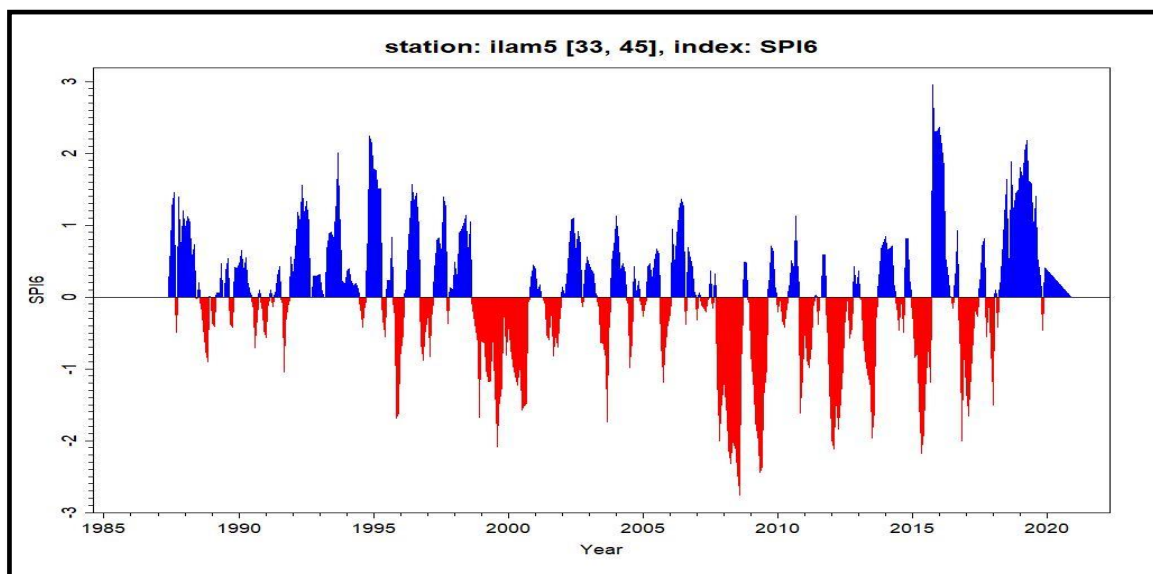
بررسی رخداد خشک‌سالی در زاگرس شمالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه نشان داد، بیشترین فراوانی رخداد خشک‌سالی در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ و بیشترین تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ است و شدیدترین

در آگوست سال ۲۰۰۸ مشاهده شد (شکل ۶). در زاگرس جنوبی بیشترین تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ است و شدیدترین خشک سالی در سال ۲۰۰۸ به مقدار $-۳/۲$ می باشد (شکل ۷).



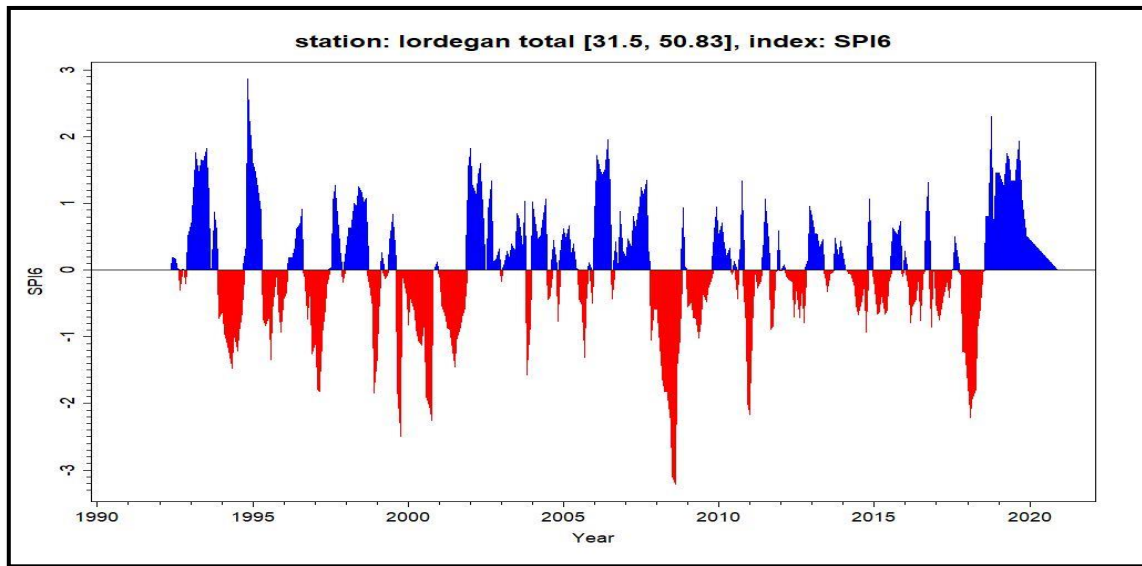
شکل ۵- فراوانی، شدت و تداوم خشک سالی براساس شاخص SPI ۶ ماهه در زاگرس شمالی ایستگاه سینوپتیک سردشت

Figure 5. Frequency, intensity and duration of drought based on 6-month SPI index in North Zagros (sardasht)



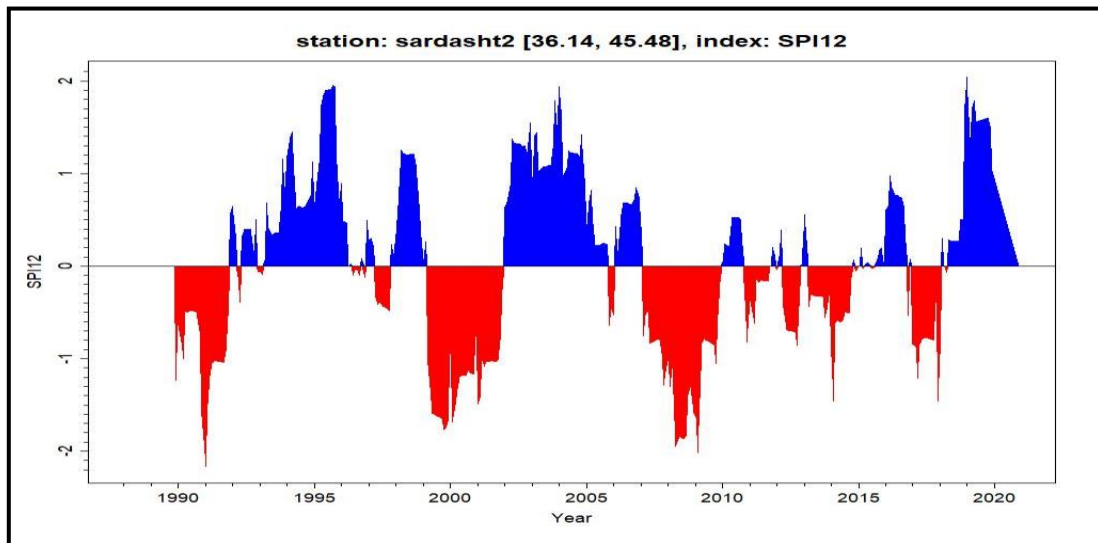
شکل ۶- فراوانی، شدت و تداوم خشک سالی براساس شاخص SPI ۶ ماهه در زاگرس میانی (ایلام)

Figure 6. Frequency, intensity and duration of drought based on 6-month SPI index in Middle Zagros (Ilam)



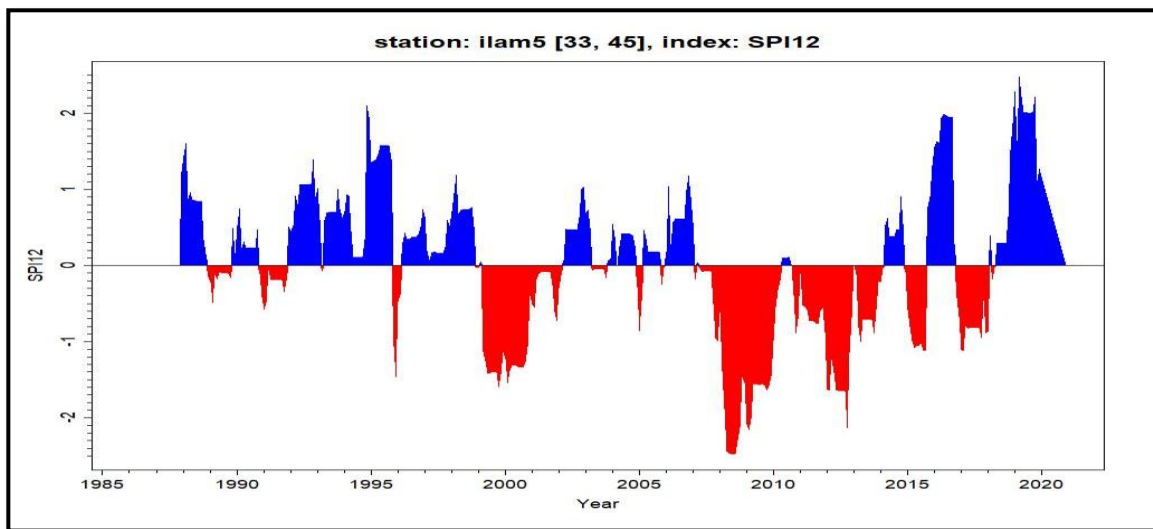
شکل ۷- فراوانی، شدت و تداوم خشک‌سالی براساس شاخص SPI ۶ ماهه در زاگرس جنوبی (لردگان)

Figure 7. Frequency, intensity and duration of drought based on 6-month SPEI index in South Zagros (Lordegan)



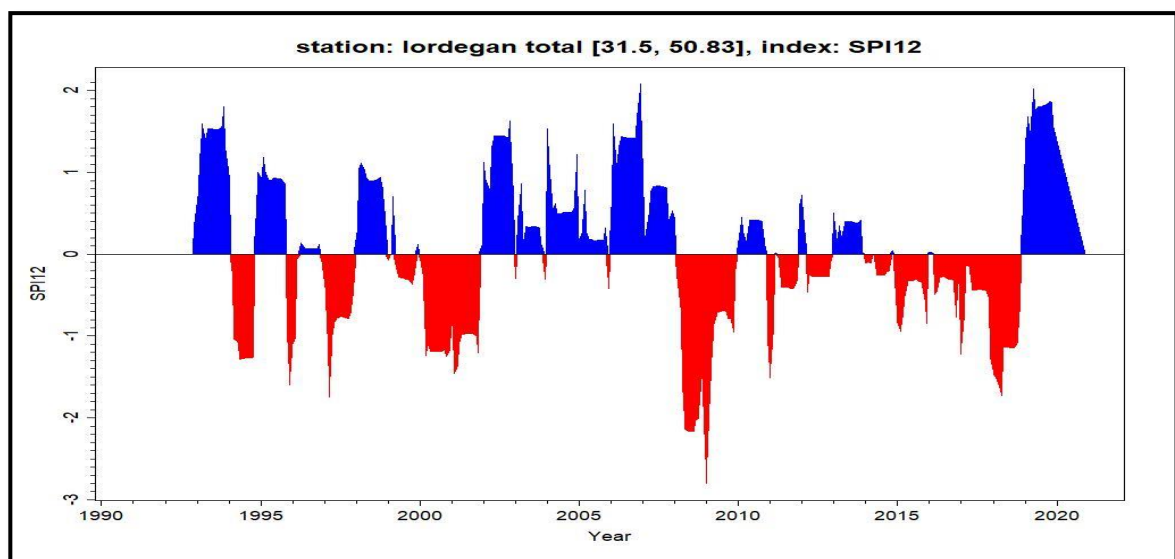
شکل ۸- فراوانی، شدت و تداوم خشک‌سالی براساس شاخص SPI 12 ماهه در زاگرس شمالی ایستگاه سینوپتیک سردشت

Figure 8. Frequency, intensity and duration of drought based on 12-month SPI index in North Zagros (sardasht)



شکل ۹- فراوانی، شدت و تداوم خشک‌سالی براساس شاخص SPI 12 ماهه در زاگرس میانی (ایلام)

Figure 9. Frequency, intensity and duration of drought based on 12-month SPI index in Middle Zagros (Ilam)



شکل ۱۰- فراوانی، شدت و تداوم خشک‌سالی براساس شاخص SPI 12 ماهه در زاگرس جنوبی (لردگان)

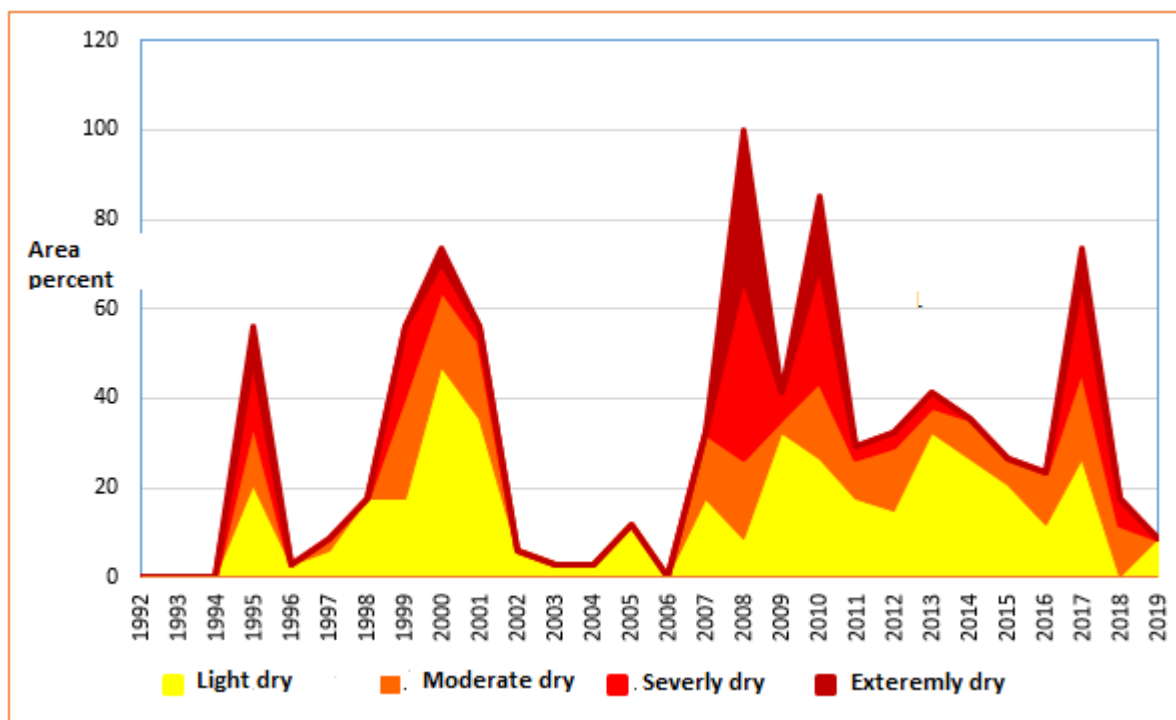
Figure 10. Frequency, intensity and duration of drought based on 12-month SPEI index in South Zagros (Lordegan)

سال ۲۰۰۸ به مقدار $3/2-$ می‌باشد (شکل ۸). در زاگرس میانی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بیشترین فراوانی و تداوم خشک‌سالی ۱۲ ماهه مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ و شدیدترین خشک‌سالی رخ داده در سال‌های با مقدار $2/5-$

بررسی رخداد خشک‌سالی در زاگرس شمالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نشان داد، بیشترین فراوانی رخداد خشک‌سالی از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ و بیشترین تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ است و شدیدترین خشک‌سالی در

خشک‌سالی طولانی مواجهه بوده است که در برخی از سال‌های این دوره مانند سال ۲۰۰۸ صددرصد اکوسیستم با انواع طبقات خشک‌سالی مواجه بوده است. طی این دوره طولانی، سال ۲۰۱۰ بیش از ۸۰ درصد زاگرس و سال ۲۰۱۷ بیش از ۷۰ درصد مساحت زاگرس با خشک‌سالی مواجه بوده است. این در حالی است که قبل از این دوره خشک طولانی یک دوره ترسالی تقریباً ۵ ساله بر زاگرس مستولی بوده است. اما آنچه مهم است، تداوم خشک‌سالی حتی خشک‌سالی ضعیف امکان جبران خسارت‌ها را از بین می‌برد. بنابراین، رخداد خشک‌سالی شدید، در صورتی که سال بعد با ترسالی همراه باشد، اثرهای کمتری نسبت به خشک‌سالی‌های ضعیف و اما مداوم دارد. در سال ۲۰۰۰ نیز بیش از ۷۰ درصد مساحت زاگرس و در سال ۱۹۹۵ نیز بیش از ۶۰ درصد مساحت زاگرس با خشک‌سالی مواجه بوده است (شکل ۱۱).

نیز در سال ۲۰۰۸ مشاهده شد (شکل ۹). در زاگرس جنوبی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بیشترین و تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ است و شدیدترین خشک‌سالی در سال ۲۰۰۸ به مقدار ۲/۲- می‌باشد (شکل ۱۰). خشک‌سالی می‌تواند در منطقه‌ای با وسعت چند صد کیلومتر اتفاق بیفتد، اما درعین حال امکان دارد، شدت و دوره تداوم آن در سراسر منطقه یکسان نباشد. بررسی وسعت خشک‌سالی در اکوسیستم زاگرس، از سال ۱۹۹۲ تا سال ۲۰۱۹ نشان داد، در برخی سال‌های اول دوره و سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۸ در سراسر زاگرس هیچ‌یک از انواع طبقات خشک‌سالی رخ نداده و کل مساحت زاگرس صددرصد با ترسالی مواجه بوده است. در برخی سال‌ها هم تنها در کمتر از ۱۰ درصد مساحت زاگرس یک خشک‌سالی در حد خشک‌سالی خفیف رخ داده است. اما از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ بیش از ۴۰ درصد مساحت زاگرس با یک دوره

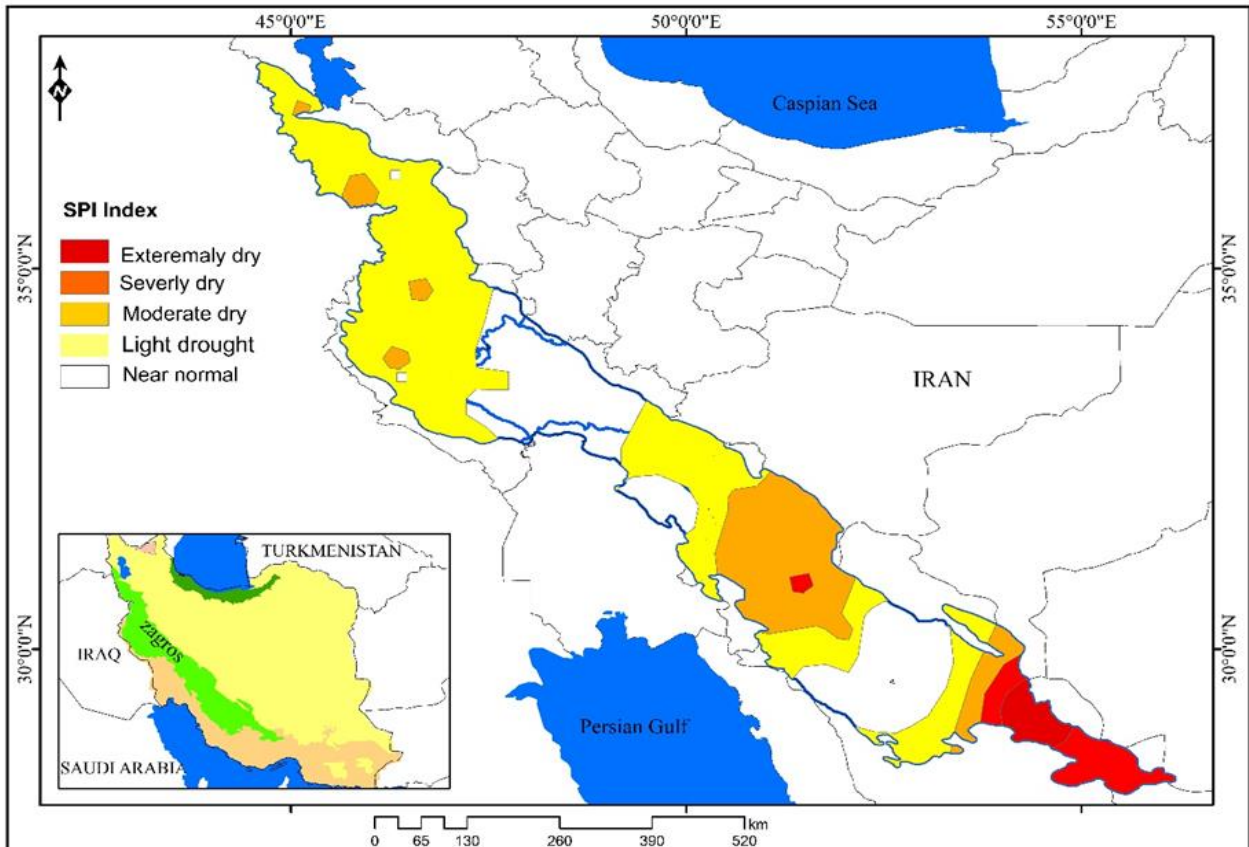


شکل ۱۱- درصد مساحت مواجه با خشک‌سالی در زاگرس ۱۹۹۲-۲۰۱۹

Figure 11. The percentage of the area-facing drought in Zagros, 1992-2019

بوده است. در این سال خشک‌سالی بسیار شدید و خشک‌سالی شدید در زاگرس جنوبی در محدوده استان فارس رخ داده است. مناطقی که با خشک‌سالی مواجه نبوده، دارای شرایط نزدیک به نرمال بوده‌اند. در مجموع، کل زاگرس شرایط خوبی نداشته است (شکل ۱۲).

توزیع مکانی خشک‌سالی‌های شدید و فراگیر زاگرس
توزیع مکانی رخداد خشک‌سالی سال ۲۰۰۰ در زاگرس
بررسی توزیع مکانی شدت رخداد خشک‌سالی در
سراسر زاگرس در سال ۲۰۰۰ نشان داد، در این سال حدود
۷۰ درصد مساحت آن با انواع طبقات خشک‌سالی مواجه
بوده است و بیشترین مساحت در طبقه خشک‌سالی خفیف



شکل ۱۲- توزیع مکانی رخداد خشک‌سالی فراگیر سال ۲۰۰۰ در زاگرس

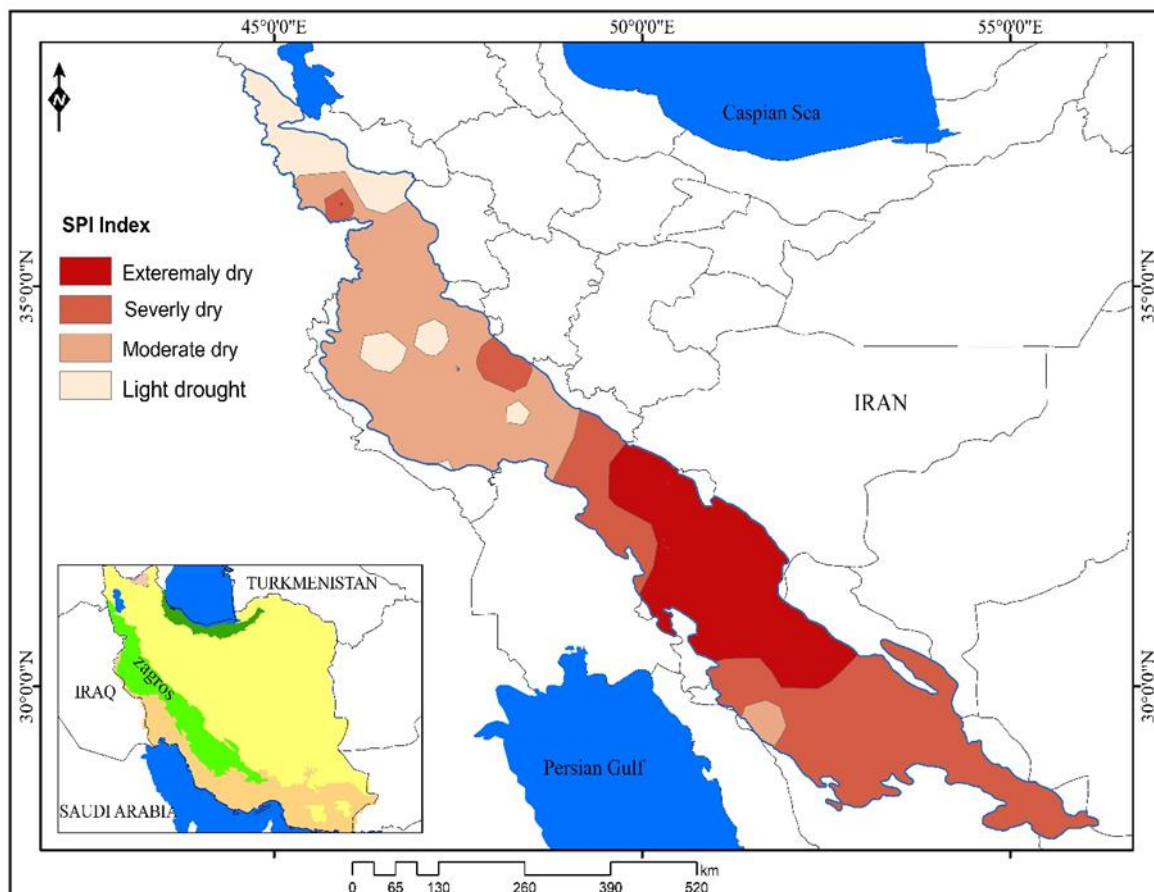
Figure 12. Spatial distribution of the widespread drought event in 2000 in Zagros

بیشترین فراوانی رخداد گردوغبار هم مواجه شده است. بررسی توزیع مکانی شدت رخداد خشک‌سالی در سراسر زاگرس در سال ۲۰۰۸ نشان داد، در این سال در حدود صد درصد مساحت آن با انواع طبقات خشک‌سالی مواجه بوده است و بیش از ۷۰ درصد مساحت زاگرس با خشک‌سالی شدید و بسیار شدید مواجه بوده است. در این سال، زاگرس جنوبی در محدوده استان‌های چهارمحال و

توزیع مکانی رخداد خشک‌سالی سال ۲۰۰۸ در زاگرس
سال ۲۰۰۸ پرمخاطره‌ترین سال زاگرس بوده است، در
این سال افزایش دما و کاهش شدید بارش و خشک‌سالی
شدید و فراگیر در خود زاگرس رخ داده و چون این
خشک‌سالی فراگیر بوده و کل کشورهای همسایه غربی را
هم فرا گرفته و منجر به فعال‌شدن بیشتر کانون‌های
گردوغبار آنها شده، بنابراین در این سال کل زاگرس با

میانی با خشک‌سالی متوسط و بخش‌هایی از زاگرس شمالی با خشک‌سالی خفیف مواجه بوده است (شکل ۱۳).

بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و فارس با خشک‌سالی شدید و بسیار شدید مواجه بوده است. زاگرس

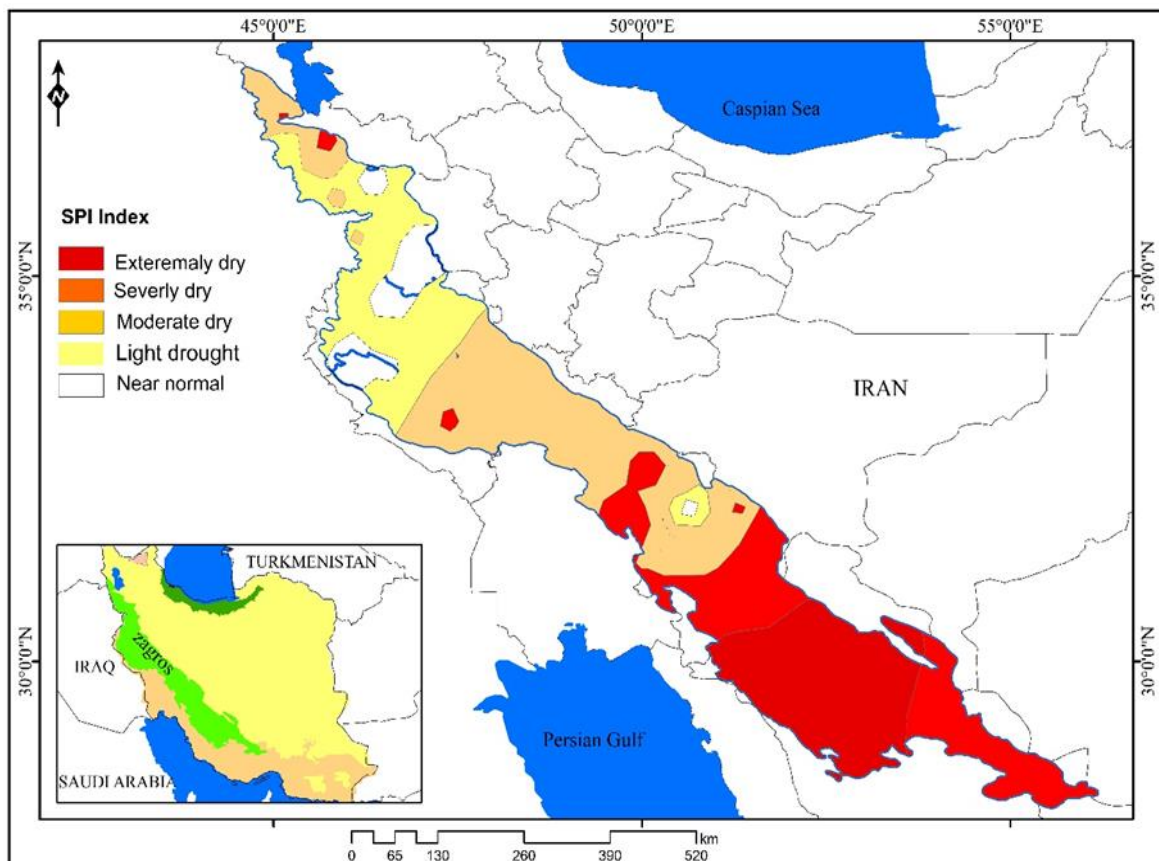


شکل ۱۳- توزیع مکانی رخداد خشک‌سالی فراگیر سال ۲۰۰۸ در زاگرس

Figure 13. Spatial distribution of the widespread drought event in 2008 in Zagros

استان چهارمحال و بختیاری و خوزستان در زاگرس جنوبی و استان‌های ایلام و لرستان در زاگرس میانی رخ داده است، قسمت‌هایی از زاگرس شمالی نیز با خشک‌سالی شدید و متوسط مواجه بوده است. در این سال، کمتر از ۲۰ درصد زاگرس با شرایط نزدیک به نرمال مواجه بوده است که بیشتر در زاگرس میانی و جنوب زاگرس شمالی رخ داده است (شکل ۱۴).

توزیع مکانی رخداد خشک‌سالی سال ۲۰۱۰ در زاگرس بررسی توزیع مکانی شدت رخداد خشک‌سالی در سراسر زاگرس در سال ۲۰۱۰ نشان داد، در این سال بیش از ۸۰ درصد مساحت آن با انواع طبقات خشک‌سالی مواجه بوده است. در این سال زاگرس جنوبی در محدوده استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و بخش‌هایی از استان چهارمحال و بختیاری با خشک‌سالی شدید و بسیار شدید مواجه بوده است و خشک‌سالی متوسط در بخش‌هایی از

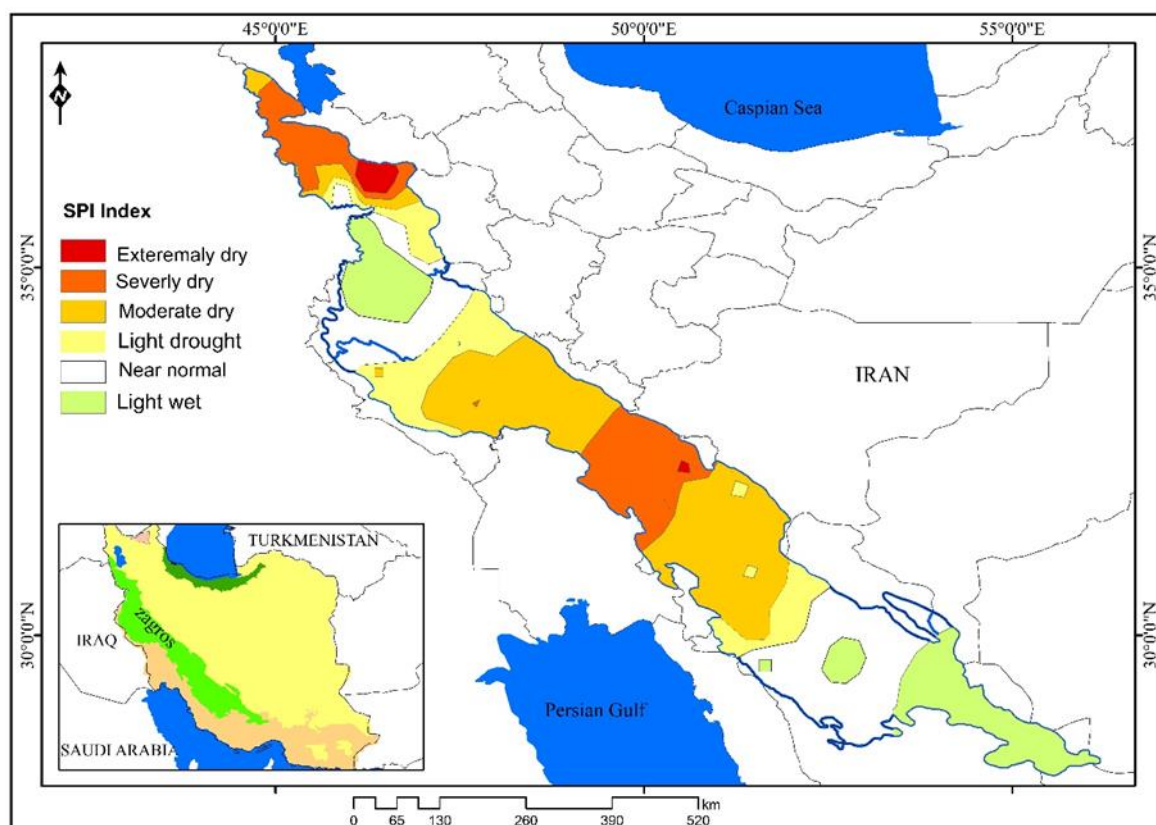


شکل ۱۴- توزیع مکانی رخداد خشک‌سالی سال ۲۰۱۰ در زاگرس

Figure 14. Spatial distribution of the widespread drought event in 2010 in Zagros

است. زاگرس جنوبی در محدوده استان چهارمحال و بختیاری و خوزستان با خشک‌سالی شدید مواجه بوده است. نیمه جنوبی زاگرس جنوبی در محدوده استان فارس و نیمه شمالی زاگرس میانی با شرایط نرمال و ترسالی خفیف مواجه بوده است (شکل ۱۵).

توزیع مکانی رخداد خشک‌سالی سال ۲۰۱۷ در زاگرس بررسی توزیع مکانی شدت رخداد خشک‌سالی در سراسر زاگرس در سال ۲۰۱۷ نشان داد، در این سال بیش از ۷۰ درصد مساحت آن با انواع طبقات خشک‌سالی مواجه بوده است. در این سال بخش‌های زیادی از زاگرس شمالی با خشک‌سالی شدید و بسیار شدید مواجه شده



شکل ۱۵- توزیع مکانی رخداد خشک‌سالی سال ۲۰۱۷ در زاگرس

Figure 15. Spatial distribution of the widespread drought event in 2017 in Zagros

نتیجه‌گیری

داد، وقوع خشک‌سالی‌های رخ داده در ماه‌های سرد سال و فصل بهار موجب تخلیه رطوبتی خاک می‌شود و می‌تواند سبب وارد آوردن تنش خشکی به گونه‌های دائمی و به‌ویژه گونه‌های درختی بلوط و سایر گونه‌های درختچه‌ای و مرتعی در فصل گرم در منطقه مورد مطالعه شود. به‌طوری‌که از دست رفتن سریع رطوبت خاک و تشدید اثر تنش‌های رطوبتی به‌وقوع پیوسته از عوامل مؤثر بر زوال بلوط ایرانی بوده است (Hosseinzade & Pourhashemi, 2017). توزیع زمانی فراوانی شدت و تداوم خشک‌سالی در محدوده زاگرس شمالی با توجه به داده‌های ایستگاه سینوپتیک سردشت نشان داد، بیشترین فراوانی و تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ است و شدیدترین خشک‌سالی در سال ۱۹۹۹ به مقدار ۳/۲- می‌باشد. در محدوده زاگرس میانی در ایستگاه ایلام بیشترین فراوانی

زوال جنگل‌های زاگرس می‌تواند اثرهای تغییر اقلیم در کشور، تغییرات کمی و کیفی منابع آب شیرین، گسترش بیابان‌زایی و فرسایش بادی، افزایش گردوغبار، تغییر جوامع گیاهی و حذف برخی از گونه‌های ارزشمند و پیامدهای اقتصادی را تشدید کند، جنبش‌های اجتماعی مانند مهاجرت جوامع روستایی را در پی داشته باشد و امنیت غذایی و سلامت را تهدید کند. امروزه زاگرس یکی از محیط‌های مهم طبیعی ایران است که با چالش‌های متعددی از جمله تغییر اقلیم و چالش‌های ناشی از آن از جمله سیل‌های مهیب مانند سیل ۲۰۱۹ و خشک‌سالی‌های شدید و مداوم در دو دهه اخیر مواجه است. بررسی رخداد‌های خشک‌سالی در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در زاگرس در یک دوره ۳۰ ساله بررسی شد. شاخص خشک‌سالی SPI سه ماهه نشان

خشک‌سالی‌های شدید و بسیار شدید در این مقیاس زمانی از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ زیاد شده است، به نحوی که شدیدترین خشک‌سالی رخ داده به مقدار ۳/۱- نیز در سال ۲۰۱۳ مشاهده شد. در زاگرس جنوبی، در ایستگاه لردگان بیشترین فراوانی و تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ است و شدیدترین خشک‌سالی در سال ۲۰۰۸ به مقدار ۳/۲- می‌باشد. شاخص خشک‌سالی SPI، ۶ ماهه نشان داد، وقوع و تداوم زیاد خشک‌سالی‌های رخ داده طی سال‌های مورد مطالعه باعث کاهش آب در آبراهه‌ها و کاهش جریان‌های سطحی شده که این موضوع موجب از دسترس خارج شدن این بخش از منابع آبی برای رشد و بقای پوشش گیاهی، به ویژه بلوط‌های ایرانی در اکوسیستم زاگرس شده است. در زاگرس شمالی در مقیاس زمانی ۶ ماهه بیشترین فراوانی در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ است و بیشترین تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ می‌باشد و شدیدترین خشک‌سالی در سال ۲۰۰۸ به مقدار ۳/۲- است، در زاگرس میانی بیشترین فراوانی و تداوم خشک‌سالی ۶ ماهه مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ است. شدیدترین خشک‌سالی رخ داده با مقدار ۲/۷۷- نیز در سال ۲۰۰۸ مشاهده شد. در زاگرس جنوبی بیشترین تداوم شدیدترین خشک‌سالی مانند مقیاس سه ماهه است. سال ۲۰۰۸ به مقدار ۳/۲- است. فراوانی و تداوم خشک‌سالی در مقیاس ۱۲ ماهه نشان می‌دهد، خشک‌سالی علاوه بر رطوبت خاک و جریان‌های سطحی، منابع آب زیرزمینی را نیز متأثر می‌کند، بنابراین زمانی که خشک‌سالی در این مقیاس رخ می‌دهد، باید نهایت احتیاط را در استفاده از آب‌های زیرزمینی داشت (Skiadarensis et al., 2021)، زیرا کاهش منابع آب زیرزمینی گونه‌های بلوط را با عدم بهره‌مندی از آب‌های عمیق زمین به وسیله ریشه بلند این گونه گیاهی روبه‌رو می‌کند. زاگرس شمالی در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بیشترین فراوانی را از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ داشته و بیشترین تداوم مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ است و شدیدترین خشک‌سالی در سال ۲۰۰۸ به مقدار ۳/۲- می‌باشد، در زاگرس میانی بیشترین تداوم

خشک‌سالی‌های ۱۲ ماهه مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ شدیدترین خشک‌سالی رخ داده طی سال ۲۰۰۸ با مقدار ۲/۵- نیز در سال ۲۰۰۸ مشاهده شد، در زاگرس جنوبی فراوانی تداوم و شدت مانند مقیاس ۳ و ۶ ماهه است. در زاگرس شمالی، میانی و جنوبی از نظر شدت خشک‌سالی تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای وجود ندارد، اما سال رخداد شدیدترین خشک‌سالی متفاوت است. در تمام مقیاس‌های زمانی بیشترین تداوم در سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ و بیشترین فراوانی در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ بوده است. اما از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ بیش از ۴۰ درصد مساحت زاگرس با یک دوره خشک‌سالی طولانی مواجه بوده است و در سال ۲۰۰۸ صددرصد اکوسیستم با انواع طبقات خشک‌سالی مواجه بوده است. طی این دوره طولانی، سال ۲۰۱۰ بیش از ۸۰ درصد زاگرس و سال ۲۰۱۷ بیش از ۷۰ درصد مساحت زاگرس با خشک‌سالی مواجه بوده است.

زوال جنگل‌های بلوط در زاگرس از اواخر دهه ۸۰ به صورت تک‌پایه‌ای شروع شده (Pourhashemi & Sadeghi., 2020) که همزمان با رخداد خشک‌سالی شدید سال ۲۰۰۱-۱۹۹۹ بوده است. شدیدترین و فراگیرترین رخداد خشک‌سالی در زاگرس در سال ۲۰۰۸ بوده، در این سال بیش از یک میلیون هکتار از جنگل‌های زاگرس با بحران خشکیدگی مواجه بوده است. بررسی ارتباط میان خشک‌سالی‌های هواشناسی و خشکیدگی جنگل نشان داد، بیشترین کاهش سبزی‌نگی در سال ۲۰۰۸ رخ داده است (Zand et al., 2021). در منطقه دالاب استان ایلام تا قبل از سال ۲۰۰۰ درختان زوال‌یافته با افزایش تعداد آوندها با خشکیدگی مقابله کردند (دوران کمون بیماری)، اما از ۲۰۰۰ تا زمان مرگ، درختان بیمار دیگر توان تولید آوند بیشتر را نداشتند (دوران ظهور بیماری). مرگ بیشتر درختان در سال ۲۰۰۸ رخ داده است (Najafi Harsini et al., 2018). بنابراین، علاوه بر عوامل متعدد دیگر که در زوال زاگرس مؤثر بوده‌اند، رخداد خشک‌سالی یکی از عوامل اصلی بوده که زمینه را برای سایر عوامل فراهم کرده است. روند کاهش درختان سالم و افزایش درختان

چالش‌های محیط‌زیستی در جنگل‌های زاگرس از دیدگاه مدیریتی ارزشمند است و به دلیل روشن شدن وضعیت منابع طبیعی و مسیر آینده آن، اهمیت زیادی دارد (Hosseini, 2024)، بنابراین، شناسایی مناطقی از این اکوسیستم جنگلی که با فراوانی، تداوم و شدت بیشتر خشک‌سالی مواجه شده است، به مدیران اکوسیستم جنگلی کمک می‌کند تا آسیب‌ها را کاهش دهند و با تغییرات آب‌وهوایی فعلی و آینده سازگارتر شوند.

دارای سطوح مختلف خشکیدگی بسیار نگران‌کننده است. به این دلیل، افزایش حفاظت و کاهش عوامل تخریب در این جنگل‌ها باید تشدید شود (Henareh *et al.*, 2024). تنوع زیستی و نقش بیولوژیکی جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یک کمر بند حفاظتی و مانع طبیعی در غرب کشور، در ۱۱ استان با ۶ میلیون هکتار وسعت، که ۴۰ درصد از مساحت جنگل‌های ایران را تشکیل می‌دهد، اهمیت این بوم‌سازگان را بیش‌ازپیش نشان می‌دهد. مدیریت و برنامه‌ریزی برای آنها به دلیل گستردگی و تأثیر عوامل مختلف دشوار است. از این رو،

بررسی

References

- Acacio, V., Dias, F.S., Catry, F.X., Bugalho, M.N. and Moreira, F., 2021. Canopy cover loss of Mediterranean oak woodlands: Long-term effects of management and climate. *Ecosystems*, 24(7): 1775-1791.
- 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*, (17): 86-96 (In Persian).
- Asgari, S., Razi, T., Jafari, M. and Noroozi, A.A., 2025. The effects of meteorological drought on the drying up of oak forests in Ilam province. 25(76).
- Attarod, P., Rostami, F., Dolatshahi, A., Sadeghi, S.M.M., Amiri, G.Z. and Bayramzadeh, V., 2016. Do changes in meteorological parameters and evapotranspiration affect declining oak forests of Iran?. *Journal of Forest Science*, 62(12): 553-561.
- Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Pypker, T.G. and Bayramzadeh, V., 2017. Oak trees decline; a sign of climate variability impacts in the west of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 15(4): 373-384 (In Persian).
- Azizi, G., Miri, M., Mohammadi, H. and Pourhashemi, M., 2015. Analysis of relationship between forest decline and precipitation changes in Ilam Province. *Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3): 502-515 (In Persian).
- Aazami, A., Hosseini, A., Soleimani, R. and Maleki, N., 2021. Evaluation of Soil Moisture Changes Using the Balance Model in Zagros Oak Drying Forests (Case study: Melah Siah Forest - Ilam). *Ifej*, 9 (18):138-146.
- Bedrood, F., Gh., H. and Valipour, A., 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.
- Colangelo, M., Camarero, J.J., Borghetti, M., Gentilella, T., Oliva, J., Redondo, M.A. and Ripullone, F., 2018. Drought and Phytophthora are associated with the decline of oak species in southern Italy. *Frontiers in plant science*, 9: 1595.
- Clatterbuck, W.K. and Kauffman, B.W., 2006. Managing oak decline. Professional hardwood notes, University of Kentucky's Cooperative Extension Publication FOR-099, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, 6p.
- Conte, A.L., Di Pietro, R., Iamónico, D., Di Marzio, P., Cillis, G., Lucia, D. and Fortini, P., 2019. Oak decline in the Mediterranean basin: a study case from the southern Apennines (Italy). *Plant Sociology*, 56(2): 69-80.
- Camarero, J.J., Colangelo, M., Gazol, A. and Azorín-Molina, C., 2021. Drought and cold spells trigger dieback of temperate oak and beech forests in northern Spain. *Dendrochronology*, 66: 125812.
- Dargahian, F., Ebrahimikhusfi, Z. and Kazemi, A., 2020. Investigation of drought intensity changes in watersheds leading to dust centers in Khuzestan province. *DEEJ*, 9(27): 13-24.
- Dolatshahi, A., Attarod, P., Zahedi, G., Sadeghi, M. and Bayramzadeh, V., 2017. Trends of meteorological parameters and reference evapotranspiration in the northern Zagros region. *Forest and Wood Products*, 70(2), 251-260 (In Persian).
- Fallah, A. and Haidari, M., 2018. Investigating the oak decline in different crown-dimensions in middle Zagros forests (case study: Ilam). *Ecology of Iranian Forest*, 6(12): 9-17.
- Gea-Izquierdo, G., Natalini, F. and Cardillo, E., 2021. Holm oak death is accelerated but not sudden and

- expresses drought legacies. *Science of the Total Environment*, 754: 141793.
- Hosseinzade, J. and Pourhashemi, M., 2017. Emergence of desiccation within Zagros forests decline. *Nature of Iran*, 2(4): 18-21 (In Persian).
- Hosseini, A., 2024. Environmental Challenges Facing Zagros Forests. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 9(1): 35-50. doi: 10.22047/srjasnr.2024.413377.1075
- Henareh, J., Jahanbazi Goujani, H., Pourhashemi, M. and Hashemi Khabir, Z., 2024. Monitoring the dieback of oak trees and its effect on leaf and acorn characteristics in the Zagros forests of Piranshahr, West Azerbaijan Province. *Forest and Wood Products*, 76(4): 329-339. doi: 10.22059/jfwp.2024.370039.1273
- Jafari, M. 2025. The effects of meteorological drought on oak forest dieback in Ilam province. *Applied researches in Geographical Sciences*, 25(76): 308-325.
- Jafari, M. and Hosseini, A., 2019. Identification and zoning of Dieback oak forests in Ilam province using RS and GIS. *Geographic Space*, 67(19): 43-60 (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).
- Kim, H.N., Jin, H.Y., Kwak, M.J., Khaine, I., You, H.N., Lee, T.Y. and Woo, S.Y., 2017. Why does *Quercus suber* species decline in Mediterranean areas?. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10(3): 337-341.
- Mahdavi, A., Mirzaei Zadeh, V., Niknezhad, M. and Karami, O., 2015. Assessment and prediction of oak trees decline using logistic regression model (Case study: Bivareh forest, Malekshahi-Ilam). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 13(1): 20-33.
- Mozafari, F., Karamshahi, A. and Heydari, M., 2019. Mapping Dieback Intensity Distribution in Zagros Oak Forests Using Geo-statistics and Artificial Neural Network. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 8(3): 31-44.
- Maroufzadeh, E. and Attarod, P., 2021. Are changes in forest cover in the North Zagros vegetation area in line with the trend of climatic parameters?. *Iranian Forest Journal*, 12 (4): 449-466.
- Motlagh, M.G. and Kiadaliri, M., 2021. Zoning of Areas with Susceptibility to Oak Decline in Western Iran. *Quaestiones Geographicae*, 40(1): 75-83.
- McKee, T.B.N., Doesken, J. and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Eight Conf. On Applied Climatology*. Anaheim, CA. American Meteor Society, 179-184
- Naseri, M., Shataee Jooibari, S., Mohammadi, J. and Ahmadi, S., 2020. 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*, 8(16): 72-80 (In Persian).
- Najafi Harsini, F., Oladi, R. and Pourtahmasi, K., 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.
- Ostakh, E., Soosani, J., Abdolkhani, A. and Naghavi, H., 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.
- Ogaya, R., Liu, D., Barbeta, A. and Peñuelas, J., 2020. Stem mortality and forest dieback in a 20-years experimental drought in a Mediterranean holm oak forest. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2: 89.
- Pourhashemi, M. and Sadeghi, S.M.M., 2020. Review on Ecological Causes of Oak Decline Phenomenon in Forests of Iran. *Ecology of Iranian Forest*, 8(16): 148-164 (In Persian).
- Pourhashemi, M., Jahanbazi Goujani, H., Hoseinzadeh, J., Bordbar, S., Iranmanesh, Y. and Khodakarami, Y., 2017. The history of oak decline in Zagros forests. *Iran Nature*, 2(1): 37-30.
- Rostam Zadeh, H., Darabi, S. and Shahabi, H., 2017. Change detection of Oak forests using object-based classification of multitemporal Landsat imageries (Case study: forests of the northern province of Ilam). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(2): 92-110 (In Persian).
- Safari, A. and Sohrabi, H., 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.
- Skiadareisis, G., Schwarz, J., Stahl, K., & Bauhus, J. (2021). Groundwater extraction reduces tree vitality, growth and xylem hydraulic capacity in *Quercus robur* during and after drought events. *Scientific Reports*, 11(1): 5149.
- Shehabi, H. and Akbari, E., 2020. Investigation and prediction on Forests Covers Changes Using Fuzzy Object-Based Satellite Image Classification and CA-Markov (case study: City of Romeshkan). *Journal of Environmental Research and Technology*, 6(6): 103 (In Persian).
- Sabernasab, M., Marefat, A. and Abbasi, S., 2020. Pathogenicity evaluation of pathogenic fungi

- causing of oak tree dieback in Kermanshah province. Iranian Journal of Plant Protection Science, 51(1): 79-92
- Shiravand, H., Khaledi, S., Behzadi, S. and Sanjabi, H.A., 2020. Monitoring and Assessing the Changes in the Coverage and Decline of Oak Forests in Lorestan Province using Satellite Images and BFAST Model. Researches in Geographical Sciences, 20(57): 265-280.
- Sousani, J., Radmeh, A., Ghalebahmani, S., Balapour, S. and Sepahvand, A., 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.
- Timurzadeh, S., Mirzaei Mohammadabadi, R. and Mohammadi, M., 2019. The application of experimental Bayesian kriging in the zoning of soil contamination with heavy metals (Case study: Esfrain city). Environmental Science and Technology, 21(7): 89-105.
- Waitz, Y. and Sheffer, E., 2021. Dynamics of mixed pine-oak forests. In Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Springer, Cham, pp. 345-362.
- Zarafshar, M., Negahdarsaber, M., Jahanbazi Gojani, H., Pourhashemi, M., Bordbar, S., Matinizedeh, M. and Abbasi, A., 2020. Dieback in pure stands of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in southern Zagros forests, Kohmareh Sorkhi region of Fars province. Iranian Journal of Forest, 12(2): 291-303 (In Persian).
- Zand, M., Miri, M., Razie, T. and Norouzi, A., 2021. Investigating the effects of meteorological drought on canopy level dieback of oak forests of Lorestan province, western Iran. Journal of Climate Research, 1400(46): 1-16.