



## Long-term Trends in Consecutive Dry Days and the Decline of Zagros Forests in Kermanshah and Khorramabad Provinces

Somayeh Mirzaei<sup>1</sup> | Pedram Attarod<sup>1\*</sup> | Mehdi Pourhashemi<sup>2</sup> |  
Abbas Arghavani<sup>3</sup> | Samira Beiranvand<sup>1</sup>

1. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
3. Kashan Meteorological Bureau, Esfahan, Iran.  
Corresponding E-mail: [attarod@ut.ac.ir](mailto:attarod@ut.ac.ir)

### Article Info

### Abstract

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 06 Nov. 2025

Revised: 26 Dec. 2025

Accepted: 31 Dec. 2025

Published online: 01 Jul. 2026

#### Keywords:

Dieback,  
Climate change,  
Mann–Kendall,  
Precipitation,  
Synoptic station.

The aim of the study was to evaluate long-term trends in precipitation and consecutive dry days (CDD), and their association with the decline in Zagros forests. Daily meteorological data were obtained from Kermanshah and Khorramabad synoptic weather stations and analyzed for a 49-year period (1975-2023). The Mann-Kendall (MK) test was used to assess the trends in precipitation and CDD, and the t-test was applied to compare the mean values. For this purpose, precipitation values less than 0.1 mm for rainy days and less than 1 mm for dry days were excluded, respectively. The mean annual precipitation ( $\pm$ SD) was  $418 \pm 104$  in Kermanshah and  $485 \pm 130$  in Khorramabad, and no significant trend was detected. Before the decline, mean annual precipitation was  $438 \pm 107$  mm and  $501 \pm 121$  mm in Kermanshah and Khorramabad, respectively. In the period after the decline, annual precipitation reduced to  $390 \pm 95$  mm in Kermanshah and  $465 \pm 143$  mm in Khorramabad, with no significant trend detected. The mean annual number of dry days exhibited a significant increasing trend in both Kermanshah ( $Z_{MK} = 4.54$ ) and Khorramabad ( $Z_{MK} = 4.25$ ). The mean maximum annual CDD was 142 days (maximum: 202) in Kermanshah and 145 days (maximum: 195) in Khorramabad. We detected statistically significant increasing trends in the mean annual CDD at both stations ( $Z_{MK} = 4.15$  in Kermanshah and 3.04 in Khorramabad). Annual precipitation changes are not the main driver of oak decline in the Zagros. Longer and more constant dry periods, reflected in the CDD index, along with rising temperatures, have increased water stress and reduced forest resilience.

**Cite this article:** Mirzaei, S., Attarod, P., Pourhashemi, M., Arghavani, A., Beiranvand, S. (2026). Long-term trends in consecutive dry days and the decline of Zagros forests in Kermanshah and Khorramabad Provinces. *Journal of Range & Watershed Management*, 79 (2), 205-220. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2026.407983.1860>



## EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** Climate change, as a major global challenge, has led to long-term alterations in temperature and precipitation patterns. Iran, with an annual emission of 616 million tons of CO<sub>2</sub>, is recognized as the world's seventh-largest greenhouse gas producer. The Zagros Forest habitat spans six million hectares and is dominated by the *Quercus* species. In recent decades, this region has experienced widespread oak decline, a phenomenon affecting more than 1.35 million hectares of this area. The Consecutive Dry Days (CDD) index is considered an important indicator for assessing oak decline and its associated risks. Despite the importance of this index, few studies in the Zagros region have performed standardized quantitative analysis of its long-term trends. Therefore, the objective of this research was to analyze the long-term trends of the CDD index and to investigate its association with oak forest decline in the Kermanshah and Khorrarnabad provinces of the central Zagros. Given that such an analysis is essential, it is necessary to understand forest ecosystem responses to climate change and to develop effective adaptive management strategies. The driver of the decline is complex and emerges from the interaction of multiple factors. However, existing evidence suggested that climatic changes including decreased precipitation and rising temperatures coupled with anthropogenic pressures such as overgrazing, have severely reduced the resilience of this semi-arid ecosystem.

**Materials and Methods:** This study aims to evaluate long-term trends in precipitation and CDD, and their association with oak decline in the Zagros forests. Daily meteorological data were obtained from the Kermanshah and Khorrarnabad synoptic weather stations and statistically analyzed over a 49-year period (1975–2023). The Mann-Kendall (MK) test was used to assess long-term trends, and the t-test was applied to compare mean values at a 95% confidence level. For this purpose, precipitation values less than 0.1 mm for rainy days and more than 1 mm for dry days were excluded, respectively. The climate type was determined using the De Martonne aridity index ( $I_{DM}$ ). The trends in precipitation and the CDD index were analyzed at the annual scale and across two periods: before the decline (1975–2002) and after that (2003–2023). Homogeneity of variances was also checked using Bartlett's test. All statistical analyses were conducted with Microsoft Excel software.

**Results and Discussion:** The results indicated that both Kermanshah and Khorrarnabad stations are characterized by a semi-arid climate. The mean annual precipitation during the 49-year period was 418 mm in Kermanshah and 485 mm in Khorrarnabad. Long-term trend analysis of annual precipitation showed no statistically significant trend at both stations based on the Mann-Kendall test ( $Z_{MK}=-1.27$  and  $-1.55$ ). Although mean annual precipitation and the number of precipitation events decreased at both stations after the onset of the oak decline (post-2003), from 438 to 390 mm in Kermanshah and from 501 to 465 mm in Khorrarnabad, these reductions were not statistically significant. The mean precipitation event size also remained relatively constant. These observations suggested that changes in precipitation alone cannot be considered the direct and exclusive driver of oak tree decline, and changes in other climatic variables, particularly temperature, have likely contributed to its acceleration. Analysis of the CDD index revealed more significant changes compared to precipitation. The mean annual number of dry days (precipitation <1 mm) was 313 days in Kermanshah and 309 days in Khorrarnabad, corresponding to 87% and 85% of the year, respectively. The long-term trend in the annual number of dry days showed a statistically significant increase at both stations ( $Z_{MK}=4.54$  in Kermanshah and  $4.25$  in Khorrarnabad). Moreover, the mean annual number of dry days increased significantly by approximately 13 days after the emergence of the decline. Interestingly, the mean annual number of dry periods decreased in the post-decline period, indicating that dry periods have become fewer in number but longer in duration. This pattern was confirmed by a statistically significant increasing trend in the mean annual CDD at both stations ( $Z_{MK}=4.15$  in Kermanshah and  $3.04$  in Khorrarnabad). In other words, prolonged and consecutive dry spells (considered a climate extreme indicator), have intensified. This shift in drought patterns may impose additional physiological stress on oak trees by reducing soil moisture, weakening trees, and potentially increasing susceptibility to pests and diseases. Although the impact of total precipitation on decline was not significant, the changes in the temporal pattern of precipitation and the extension of consecutive dry periods appeared as a key climatic factor in exacerbating oak decline in the Zagros Forests. These findings are consistent with global studies confirming the importance of the CDD index in monitoring forest health of arid and semi-arid regions. In summary, a combination of various factors, including rising temperatures, a slight decrease in precipitation, and most importantly, an increase in the length and intensity of consecutive dry periods, has reduced the resilience of the Zagros forest ecosystem and accelerated the emergence and spread of oak decline.

**Conclusion:** The study found that annual precipitation changes are not the main driver of oak decline in the Zagros, as the reduction was not statistically significant. However, longer and more constant dry periods, reflected in the CDD index, along with rising temperatures, have increased water stress and reduced forest resilience. Monitoring climate extreme indicators such as CDD is essential. Applying adaptive management measures such soil moisture conservation, runoff control, and using drought tolerant species alongside extending similar analyses to additional sites across the Zagros region.

**Keywords:** Dieback, Climate change, Mann-Kendall, Precipitation, Synoptic station

**Article Type:** Research Article



دوره ۷۹ (۲)

شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۵-۲۴۲۳

نشریه مرتع و آبخیزداری



## روند درازمدت روزهای خشک متوالی و زوال جنگل‌های زاگرس در کرمانشاه و خرم‌آباد

سمیه میرزایی<sup>۱</sup> | پدram عطارد<sup>۱\*</sup> | مهدی پورهاشمی<sup>۲</sup> | عباس ارغوانی<sup>۳</sup> | سمیرا بیرانوند<sup>۱</sup>

۱. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

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

۳. اداره هواشناسی کاشان، اصفهان، ایران.

رایانامه: [attarod@ut.ac.ir](mailto:attarod@ut.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

هدف این پژوهش، بررسی روندهای بلندمدت بارش و روزهای خشک متوالی (Consecutive Dry Days: CDD) و ارتباط آن با زوال جنگل‌های زاگرس بود. داده‌های روزانه ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد طی ۴۹ سال (۱۹۷۵-۲۰۲۳) تجزیه و تحلیل شدند. برای تعیین روند تغییرات بارش و روزهای خشک متوالی از آزمون من-کندال و برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون تی-استیودنت استفاده شد. در محاسبه تعداد روزهای بارانی و روزهای خشک متوالی، به ترتیب روزهای با بارش کمتر از ۰/۱ میلی‌متر و بیش از یک میلی‌متر در نظر گرفته نشدند. میانگین بارش سالانه  $\pm$  انحراف معیار در کرمانشاه و خرم‌آباد به ترتیب  $418 \pm 104$  و  $485 \pm 130$  میلی‌متر، پیش از زوال،  $438 \pm 107$  و  $501 \pm 121$  میلی‌متر و پس از زوال،  $390 \pm 95$  و  $465 \pm 143$  میلی‌متر بود. در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها، روندهای بارش در مقیاس سالانه و نیز پیش و پس از زوال معنی‌دار نبود. میانگین تعداد روز خشک سال در کرمانشاه ( $Z_{MK}=4/54$ ) و خرم‌آباد ( $Z_{MK}=4/25$ )، روند معنی‌دار افزایشی داشت. میانگین بیشترین تعداد روز خشک متوالی سال در کرمانشاه و خرم‌آباد به ترتیب ۱۴۲ (بیشینه: ۲۰۲) و ۱۴۵ (بیشینه: ۱۹۵) روز ثبت شد. روند میانگین روزهای خشک متوالی سال در دوره ۴۹ ساله در هر دو ایستگاه کرمانشاه ( $Z_{MK}=4/15$ ) و خرم‌آباد ( $Z_{MK}=3/04$ ) در سطح پنج درصد، افزایشی معنی‌دار بود. تغییر در بارش سالانه، عامل زوال جنگل‌های زاگرس محسوب نمی‌شود بلکه افزایش روزهای خشک متوالی همراه با افزایش دما باعث ایجاد تنش آبی برای درختان زاگرس و کاهش تاب‌آوری این جنگل‌ها شده است.

### نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰

### کلیدواژه‌ها:

ایستگاه همدیدبانی،

بارش،

تغییر اقلیم،

خشکیدگی،

من-کندال.

**استناد:** میرزایی؛ سیمیه، عطارد؛ پدram، پورهاشمی؛ مهدی، ارغوانی؛ عباس، بیرانوند؛ سمیرا (۱۴۰۵). روند درازمدت روزهای خشک متوالی و زوال جنگل‌های زاگرس در کرمانشاه و خرم‌آباد.

نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۹ (۲)، ۲۰۵-۲۲۰.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2026.407983.1860>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیط زیستی پیش روی بشر، به تغییرات بلندمدت در الگوهای دما و بارش اطلاق می‌شود (IPCC, 2014). طبق تعریف کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل<sup>۱</sup>، این پدیده شامل تغییراتی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده و منجر به تغییر ترکیب اتمسفر جهانی می‌شود. براساس گزارش IPCC، میانگین دمای سطح زمین در دهه ۲۰۲۰-۲۰۱۱، حدود ۱/۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ۱۹۰۰-۱۸۵۰ افزایش یافته است (IPCC, 2023). روند افزایش دما و تغییرات اقلیمی اثرات زیادی بر بوم‌سازگان‌ها و شرایط اقتصادی-اجتماعی در سطح جهان داشته است. از پیامدهای آن می‌توان به ذوب یخ‌های قطبی و بالا آمدن سطح آب دریاها، تغییر در توزیع گونه‌های گیاهی و جانوری و تهدید معیشت جوامع انسانی اشاره کرد (IPCC, 2021). تحلیل داده‌های ۱۱۰ ایستگاه همدیدی کشور، بیانگر روند افزایشی دما و تا حدی کاهش بارش است که نشان می‌دهد پدیده تغییر اقلیم به‌طور محسوس در حال وقوع است (Abkar et al., 2013). میانگین دمای کشور بین سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶، حدود ۱/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (Attarod et al., 2023). ایران، با انتشار سالانه بیش از ۶۱۶ میلیون تن دی‌اکسیدکربن، بزرگ‌ترین تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای در خاورمیانه و هفتمین کشور در سطح جهان است (Mansouri Daneshvar et al., 2019). مهم‌ترین عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور، توسعه صنایع نفت و گاز است که اثر قابل توجهی بر محیط زیست و اقلیم دارد (Mansouri Daneshvar et al., 2019; Bid Hendi et al., 2021). این درحالی است که گزارش‌های هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم<sup>۲</sup> تأکید دارند که مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران، از آسیب‌پذیری بیشتری در برابر تغییر اقلیم برخوردارند و نیازمند اقدامات فوری در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سازگاری با شرایط جدید اقلیمی هستند (IPCC, 2021).

تخریب جنگل‌ها و بوم‌سازگان‌های طبیعی، علاوه بر افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو (حدود ۲۰ درصد)، موجب کاهش ظرفیت جذب کربن طبیعی زمین نیز می‌شود (NASA, 2023; IPCC, 2014). تغییر در الگوی بارش و افزایش فراوانی و شدت خشکسالی‌ها، چالش‌های جدی برای بوم‌سازگان‌های جنگلی ایجاد کرده است. بدین ترتیب، جنگل‌ها بیش از پیش در معرض تنش کمبود آب قرار می‌گیرند و موجب تضعیف درختان و آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر بیماری‌ها و آفات می‌شود (Millar & Stephenson, 2015). رویشگاه جنگلی زاگرس که در امتداد رشته‌کوه زاگرس از پیرانشهر در شمال غرب تا فیروزآباد در جنوب غرب ایران کشیده شده است، حدود شش میلیون هکتار از استان‌های غربی و جنوب‌غربی کشور را در برمی‌گیرد (Sagheb Talebi et al., 2014). گونه غالب این جنگل‌ها، بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) است که در بیشتر نواحی به‌صورت خالص رشد می‌کند و به همراه آن، گونه‌های وی‌ول (*Q. libani*) و مازودار (*Q. infectoria*) نیز حضور دارند. در دهه‌های اخیر، این بوم‌سازگان با پدیده زوال بلوط (Oak decline) مواجه شده است که به‌عنوان یکی از جدی‌ترین تهدیدهای جنگل‌های زاگرس شناخته می‌شود.

زوال در درختان، یک سندروم پیچیده و چند عاملی است که شامل مجموعه‌ای از علائم و روندهای نشان دهنده کاهش تدریجی شادابی و توان زیستی درخت است و اغلب به مرگ درخت منتهی می‌شود. این علائم، شامل نازک شدن تاج (crown thinning)، ریزبرگی یا کوچک شدن برگ‌ها، کلروز (زردشدگی)، خشکیدن شاخه‌ها (dieback)، ترکیدن یا پوسیدگی شاخه یا پوست درخت و در نهایت افزایش مرگ و میر درختان است (Jamali et al., 2024). طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴، بیش از ۱/۳۵ میلیون هکتار از جنگل‌های زاگرس دچار خشکیدگی شده‌اند (Attarod et al., 2015). نخستین نشانه‌های زوال گسترده درختان بلوط، در اوایل دهه‌ی هشتاد از استان ایلام گزارش شد (Attarod et al., 2021). علت دقیق پدیده زوال، به دلیل تعامل پیچیده عوامل زیستی و غیرزیستی، به روشنی مشخص نیست. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی همراه با فشارهای انسانی از جمله چرا و بهره‌برداری بی‌رویه، منجر به کاهش شدید تاب‌آوری

<sup>1</sup> United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

<sup>2</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

بوم‌سازگان‌های جنگلی مناطق نیمه‌خشک شده است (Maion, 1981; FAO, 2020). کاهش بارش و افزایش خشکی خاک، توان بازسازی طبیعی جنگل‌ها را محدود می‌کند و تنوع زیستی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین گونه‌هایی که توان مهاجرت یا سازگاری ندارند، در رقابت با گونه‌های مقاوم‌تر از بین می‌روند (FAO, 2009). کلیه این عوامل، به‌عنوان محرک زوال جنگل‌ها شناخته شده‌اند و در بسیاری از پژوهش‌ها، مرگ‌ومیر گونه‌های گیاهی در منطقه را به تغییرات اقلیمی نسبت داده‌اند (Maion, 1981). تغییرات اقلیمی، همراه با فشارهای انسانی، نظیر چرای مفرط دام و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع چوبی، تاب‌آوری بوم‌سازگان‌های جنگلی مناطق نیمه‌خشک مانند زاگرس را به‌شدت کاهش داده است (FAO, 2020). تأثیر اصلی تغییر اقلیم بر جنگل‌ها، مربوط به کاهش تنوع زیستی، به‌ویژه برای گونه‌هایی است که قادر به مهاجرت نیستند و کاهش این اثر به‌شدت وابسته به افزایش ظرفیت سازگاری جنگل‌ها در برابر تغییرات اقلیمی است. گونه‌های ضعیف یا ناسازگار ممکن است در پی تغییرات اقلیمی، به سادگی در رقابت با گونه‌های درختی یا پوشش گیاهی مناسب‌تر برای محل استقرار، مغلوب شوند (FAO, 2009).

یکی از پیامدهای مهم تغییر اقلیم، افزایش رویدادهای حدی یا فرین<sup>۳</sup> است. به‌طور کلی، رویداد حدی اقلیمی زمانی رخ می‌دهد که پارامترهای اقلیمی (مانند دما یا بارش) از یک آستانه مشخص فراتر روند (Becker, 2007). این وقایع، به شرایطی با احتمال وقوع کمتر از پنج درصد، اما با شدتی بسیار بیشتر یا کمتر از میانگین داده‌های اقلیمی ثبت شده در منطقه، اطلاق می‌شوند و تأثیرات قابل توجهی بر بوم‌سازگان‌های جنگلی دارند (IPCC, 1995; Morgan, 2001). این وقایع، معمولاً تأثیرات شدیدتر و مخرب‌تری بر بوم‌سازگان‌ها نسبت به تغییرات تدریجی پارامترهای اقلیمی دارند (IPCC, 1995).

شاخص روزهای خشک متوالی (Consecutive Dry Days, CDD) که به معنای تعداد روزهای پیاپی با بارش کمتر از یک میلی‌متر است، به‌دلیل توانایی در شناسایی دوره‌های خشکی متوالی، ابزاری حیاتی در مطالعات خطر خشکسالی محسوب می‌شود (Vicente-Serrano et al., 2010). افزایش روزهای خشک متوالی، اغلب با تشدید خطر خشکسالی و کاهش رطوبت خاک همراه است، پدیده‌ای که می‌تواند منجر به کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و افزایش خطر آتش‌سوزی‌های جنگلی شود (Hao & Aghakouchak, 2013). تحلیل‌های جهانی نشان داده‌اند که برخی مناطق خشک‌تر در طول دهه‌های گذشته با افزایش دوره‌های خشکی متوالی مواجه بوده‌اند که این امر پیامدهای قابل توجهی در حوزه امنیت غذایی و تأمین آب در پی دارد (IPCC, 2021). همچنین دوره‌های طولانی خشکی، باعث کاهش رواناب و نیز کاهش سطح آب‌های زیرزمینی می‌شوند که این موضوع بر کیفیت و کمیت منابع آب تأثیر منفی می‌گذارد (Mishra & Singh, 2010).

جنگل‌های زاگرس با کارکردهای حیاتی بوم‌شناختی و اقتصادی-اجتماعی، در سال‌های اخیر با تغییرات محسوس در الگوی رویدادهای حدی اقلیمی مواجه شده‌اند (Jahanshahi et al., 2024). مطالعه شاخص روزهای خشک متوالی در جنگل‌های زاگرس استان ایلام به‌عنوان یکی از کانون‌های اصلی زوال، نشان داد که تغییر اقلیم از طریق تشدید این شاخص و افزایش تعداد روزهای خشک متوالی، در تسریع پدیده زوال درختان بلوط نقش داشته است و سلامت بوم‌سازگان جنگلی زاگرس را به مخاطره انداخته است (Mirzaei et al., 2025). با این حال، اکثر مطالعات پیشین در زاگرس فاقد رویکردی کمی و استاندارد برای پایش این دوره‌های خشکی بوده‌اند و کمتر به شاخص‌های بین‌المللی پذیرفته‌شده‌ای مانند شاخص روزهای خشک متوالی پرداخته‌اند. بنابراین با توجه به این خلأ پژوهشی و اهمیت جهانی مطالعات دقیق شاخص‌های حدی اقلیمی، هدف این پژوهش، تحلیل روند بلندمدت شاخص روزهای خشک متوالی و ارتباط آن با روند زوال جنگل‌های بلوط زاگرس در کرمانشاه و خرم‌آباد بود. تبیین (واکاوی) پاسخ بوم‌سازگان‌های جنگلی به این رویدادها و تحلیل الگوهای زمانی و مکانی وقوع آن‌ها، برای پیش‌بینی تغییرات آینده رویشگاه‌های جنگلی و اتخاذ راهبردهای مدیریتی مناسب، امری ضروری است.

<sup>3</sup> Extreme events

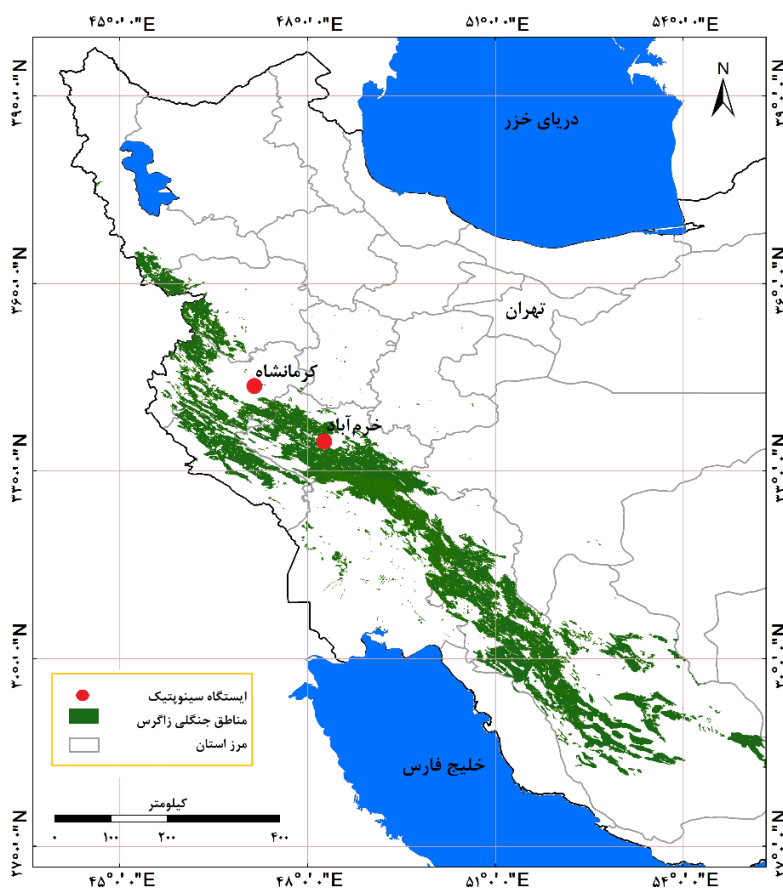
## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه پژوهش و داده‌های هواشناسی

به منظور بررسی و تحلیل رخدادهای بارش و شاخص اقلیمی روزهای خشک متوالی در ناحیه رویشی زاگرس، داده‌های اقلیمی بارش ثبت شده در دو ایستگاه هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد در مقیاس روزانه و در بازه زمانی ۴۹ ساله (۲۰۲۳-۱۹۷۵) تجزیه و تحلیل شد (جدول ۱). داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور دریافت و صحت آنها بررسی شد. علت انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد، درگیری قابل توجه جنگل‌های زاگرس در استان‌های کرمانشاه و لرستان با پدیده زوال بلوط و همچنین پیوستگی و طول مناسب دوره آماری این ایستگاه‌ها بود. موقعیت جغرافیایی دو ایستگاه مذکور در شکل یک مشخص شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد واقع در ناحیه رویشی زاگرس

نام ایستگاه	کد ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
کرمانشاه	۴۰۷۶۶	۱۳۱۸/۶	۳۴°۲۱'N	۴۷°۰۹'E
خرم‌آباد	۴۰۷۸۲	۱۱۴۷/۸	۳۳°۲۶'E	۴۸°۱۷'E



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد در ناحیه رویشی زاگرس

## ۲-۲. پردازش داده‌ها و روندیابی

در پژوهش پیش‌رو، نوع اقلیم در ایستگاه‌های مورد اشاره با استفاده از شاخص خشکی دومارتن (رابطه ۱)، تعیین شد. این شاخص، ابزاری موثر برای شناسایی و طبقه‌بندی اقلیم‌ها براساس نسبت بارش به دما است.

$$I = P / (T + 10) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن:  $I_{DM}$  نمایه خشکی دومارتن،  $P$  بارش سالانه براساس میلی‌متر و  $T$  متوسط دمای سالانه برحسب درجه سانتی‌گراد است. روند بارش و تعداد روزهای خشک متوالی در مقیاس‌های سالانه و در دو دوره پیش (۲۰۰۲-۱۹۷۵) و پس از ظهور پدیده زوال جنگل‌های زاگرس (۲۰۲۳-۲۰۰۳) تجزیه و تحلیل شدند.

تیم تخصصی ETCCDI<sup>۴</sup>، برای بررسی رویدادهای حدی، ۲۷ شاخص حدی (۱۶ شاخص دمایی و ۱۱ شاخص بارشی) را معرفی کرده است که از پرکاربردترین شاخص‌ها در تحقیقات تغییر اقلیم به شمار می‌روند (Alexander, 2006). این شاخص‌ها در چهار گروه اصلی صدکی یا صدک محور (Percentile based)، مطلق (Absolute)، آستانه‌ای (Threshold) و طول مدت (Duration) طبقه‌بندی می‌شوند. زیرشاخص روزهای خشک متوالی، در دسته شاخص‌های طول مدت قرار می‌گیرد. در این پژوهش، در محاسبه تعداد روزهای خشک، روزهایی با بارش بیش از یک میلی‌متر و در محاسبه تعداد روزهای بارانی نیز، روزهایی با بارش کمتر از ۰/۱ میلی‌متر لحاظ نشدند. معنی‌داری روندهای تغییرات بارش و دما و نیز روزهای خشک متوالی، با آزمون ناپارامتری من‌کندال (Mann-Kendall) انجام شد. این آزمون، به دلیل کارایی زیاد در آشکارسازی تغییرات معنی‌دار در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی، مورد توجه پژوهشگران حوزه اقلیم است. آزمون من‌کندال، به‌ویژه با توانایی تشخیص روندهای افزایشی یا کاهش‌ی در داده‌ها، جایگاه ویژه‌ای در مطالعات تغییر اقلیم و منابع آب دارد (Helsel et al., 2020).

در این آزمون، فرضیه صفر ( $H_0$ ) بیانگر عدم وجود روند (تصادفی بودن داده‌ها) و فرضیه یک ( $H_1$ ) نشان‌دهنده وجود روند در داده‌ها است (Mann, 1945; Kendall, 1948). اگر مقدار آماره من‌کندال ( $Z$ ) مثبت باشد، روند افزایشی و اگر منفی باشد، نشان‌دهنده روند کاهش‌ی در سری داده‌ها است. همچنین، اگر مقدار قدر مطلق آماره  $Z$  در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد، به ترتیب بزرگ‌تر از ۱/۹۶ و ۲/۵۸ باشد، فرض صفر رد شده و روند مشاهده شده، معنی‌دار تلقی می‌شود (Saadi et al., 2019). از ویژگی‌های بارز آزمون من‌کندال، می‌توان به حساسیت کم آن نسبت به داده‌های گمشده و همچنین وابسته نبودن آن به نوع توزیع آماری داده‌ها اشاره کرد که این امر، آن را به یکی از آزمون‌های مناسب برای داده‌های اقلیمی و محیط زیستی تبدیل کرده است (Yue et al., 2002).

برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون  $t$  در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. پیش از انجام آزمون  $t$ ، از آزمون همگنی واریانس بارتلت برای مقایسه تغییرات واریانس میان گروه‌ها استفاده شد. این آزمون، برای مقایسه واریانس دو یا چند گروه مستقل به کار می‌رود و مشخص می‌کند که آیا تفاوت معنی‌داری در واریانس‌ها وجود دارد یا خیر. هدف از این آزمون، تعیین یکنواختی واریانس‌ها پیش از اجرای آزمون  $t$  است. در صورتی که واریانس‌ها همگن باشند، نتیجه آزمون  $t$  قابل اطمینان خواهد بود، اما در صورت ناهمگنی، نتایج این آزمون ممکن است کمتر قابل اعتماد باشد (Bartlett, 1937). در این مطالعه، تمامی محاسبات آماری از جمله آزمون من‌کندال، با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel انجام شد.

## ۳. یافته‌های پژوهش

### ۳-۱. اقلیم

با توجه به شاخص خشکی دومارتن، ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه (۱۶/۶) و خرم‌آباد (۱۸/۰) در طبقه اقلیمی نیمه‌خشک قرار گرفتند.

<sup>۴</sup> Expert Team on Climate Change Detection and Indices

## ۳-۲. بارش

داده‌های روزانه بارش ثبت شده در کرمانشاه و خرم‌آباد نشان می‌دهند که طی دوره آماری ۴۹ ساله (۲۰۲۳-۱۹۷۵)، به ترتیب ۳۴۸۱ و ۳۳۱۰ رخدادهای بارش (بزرگ‌تر از یک دهم میلی‌متر) ثبت شده است. مجموع بارش تجمعی در کرمانشاه ۲۰۴۷۲ میلی‌متر و در خرم‌آباد ۲۳۷۸۷ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. میانگین بارش سالانه طی این دوره در کرمانشاه، ۴۱۸ میلی‌متر با انحراف معیار ۱۰۴ میلی‌متر (۷۱ رخدادهای) و در خرم‌آباد ۴۸۵ میلی‌متر با انحراف معیار ۱۳۰ میلی‌متر (۶۸ رخدادهای) بود (جدول ۲).

حداقل و حداکثر بارش سالانه کرمانشاه در سال‌های ۲۰۲۱ (۱۹۹ میلی‌متر، ۴۲ رخدادهای) و ۱۹۹۴ (۶۹۵ میلی‌متر، ۹۲ رخدادهای) ثبت شد. در حالی که در خرم‌آباد، کمترین (۲۷۱ میلی‌متر، ۴۸ رخدادهای) و بیشترین مقدار بارش (۸۳۷ میلی‌متر، ۹۲ رخدادهای) به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۹ رخ داد.

نتایج آزمون من‌کنندال نشان داد که روند تغییرات بارش سالانه در دوره زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۳ در سطح اطمینان ۹۵ درصد در کرمانشاه ( $Z_{MK} = -1/27$ ) و خرم‌آباد ( $Z_{MK} = -1/55$ ) معنی‌دار نیست. روند بارش سالانه، پیش و پس از ظهور پدیده زوال نیز در کرمانشاه و خرم‌آباد معنی‌دار نبود (پیش از زوال،  $-0/1$  و  $-1$  و  $Z_{MK} = -1$  و پس از زوال،  $Z_{MK} =$  صفر در هر دو ایستگاه بود).

جدول ۲. مشخصات بارش در ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد طی دوره ۴۹ ساله (۱۹۷۵-۲۰۲۳)

میانگین بارش سالانه $\pm$ انحراف معیار (میلی‌متر)	تعداد رخدادهای سالانه $\pm$ انحراف معیار	بزرگترین رخدادهای بارش (میلی‌متر)	
۴۱۸ $\pm$ ۱۰۴	۷۱ $\pm$ ۱۳	۱۰۸	کرمانشاه
۴۸۵ $\pm$ ۱۳۰	۶۸ $\pm$ ۱۴	۹۴	خرم‌آباد

نتایج نشان داد که میانگین بارش سالانه (انحراف معیار) پیش از بروز پدیده زوال جنگل، در کرمانشاه و خرم‌آباد به ترتیب ۴۳۸ میلی‌متر (۱۰۷ میلی‌متر) و ۵۰۱ میلی‌متر (۱۲۱ میلی‌متر) بوده است، در حالی که پس از بروز زوال، این مقادیر به ترتیب به ۳۹۰ میلی‌متر (۹۵ میلی‌متر) و ۴۶۵ میلی‌متر (۱۴۳ میلی‌متر) کاهش یافت (جدول ۳). تعداد رخدادهای سالانه بارش نیز در کرمانشاه از ۷۶ رخدادهای در پیش از زوال به ۶۵ رخدادهای پس از آن رسید و در خرم‌آباد نیز، پیش از پدیده زوال، ۷۱ رخدادهای بارش ثبت شد و پس از این پدیده، به ۶۲ رخدادهای کاهش یافت (جدول ۳).

جدول ۳. میانگین بارش سالانه و رخدادهای سالانه در کرمانشاه و خرم‌آباد پیش (۲۰۰۲-۱۹۷۵) و پس از ظهور زوال (۲۰۲۳-۲۰۰۳).

خرم‌آباد		کرمانشاه		
پیش از زوال	پس از زوال	پیش از زوال	پس از زوال	
۴۳۸ $\pm$ ۱۰۷	۳۹۰ $\pm$ ۹۵	۵۰۱ $\pm$ ۱۲۱	۴۶۵ $\pm$ ۱۴۳	بارش سالانه $\pm$ انحراف معیار (میلی‌متر)
۷۶ $\pm$ ۱۲	۶۵ $\pm$ ۱۱	۷۱ $\pm$ ۱۵	۶۲ $\pm$ ۱۱	تعداد رخدادهای سالانه $\pm$ انحراف معیار
۱۰۸	۷۳	۷۰	۹۴	بزرگترین رخدادهای (میلی‌متر)

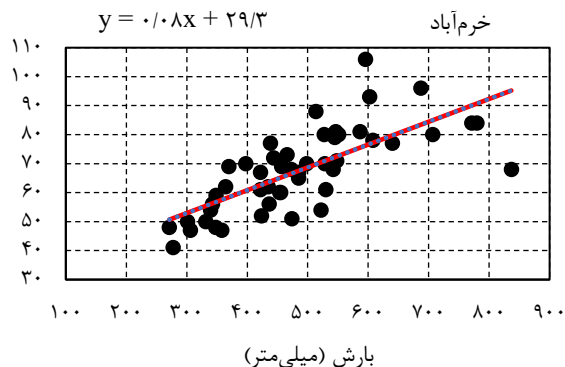
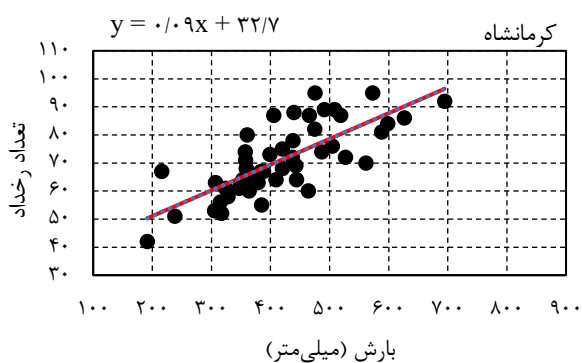
روابط ۲ و ۳ بین مقادیر بارش سالانه (میلی‌متر) و تعداد رخدادهای بارش، به ترتیب برای ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد به دست آمد (شکل ۲).

$$\text{رابطه (۲)} \quad n = 49; r^2 = 0/56 \quad +32/7 \text{ (بارش سالانه)} \times 0/09 = \text{تعداد رخدادهای سالانه بارش}$$

رابطه (۳)  $+۲۹/۳$  (بارش سالانه  $\times ۰/۰۸$ ) = تعداد رخداد بارش

$n=۴۹$ ;  $r^2=۰/۵۲$

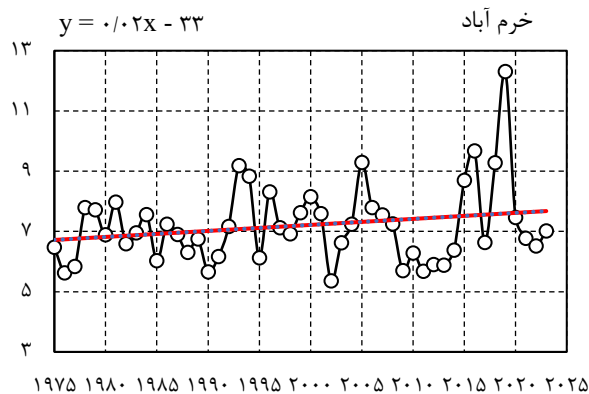
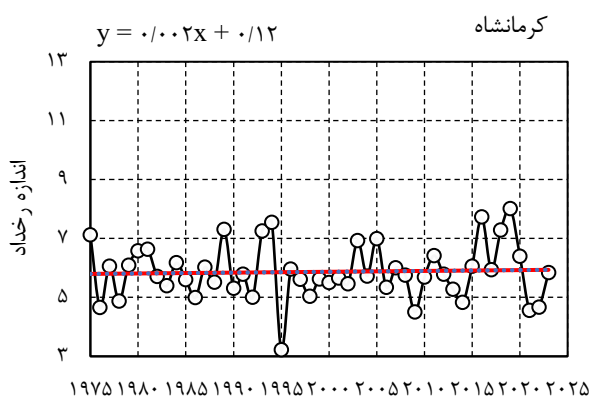
رابطه (۳)



شکل ۲. رابطه بین مقادیر بارش و تعداد رخداد سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد در دوره آماری ۴۹ ساله (۱۹۷۵-۲۰۲۳)

میانگین اندازه رخداد سالانه بارش طی سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۳ در کرمانشاه، ۶ میلی‌متر و در خرم‌آباد، ۷ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. بررسی داده‌های پیش و پس از زوال نیز نشان داد که میانگین اندازه رخداد سالانه در کرمانشاه، به ترتیب ۵/۸ و ۶ میلی‌متر و در خرم‌آباد ۷/۴ و ۷/۴ میلی‌متر بوده است.

روند تغییرات میانگین اندازه رخداد سالانه در کرمانشاه ( $Z_{MK}=۰/۶۳$ ) و خرم‌آباد ( $Z_{MK}=۱/۳۴$ ) معنی‌دار نبود (شکل ۳). ضمن اینکه روند میانگین اندازه رخداد نیز در دوره‌های پیش و پس از زوال در کرمانشاه و خرم‌آباد معنی‌دار نشد (پیش از زوال،  $Z_{MK}=-۰/۲۵$  و پس از زوال،  $Z_{MK}=۱/۰۸$  و  $۰/۰۶$ ).



شکل ۳. میانگین اندازه رخداد سالانه بارش در ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد در دوره آماری ۴۹ ساله (۱۹۷۵-۲۰۲۳)

### ۳-۳. روزها و دوره‌های خشک سال

طی دوره آماری مورد مطالعه، در کرمانشاه و خرم‌آباد، به ترتیب، ۱۵۳۱۹ روز (معادل ۸۷ درصد روزهای سال) و ۱۵۱۶۵ (معادل ۸۵ درصد روزهای سال) بدون بارش (بارش کمتر از یک میلی‌متر) ثبت شد. میانگین تعداد روز خشک سال در کرمانشاه ۳۱۳ روز با انحراف معیار

۱۱ روز و در خرم‌آباد، ۳۰۹ روز با انحراف معیار ۲۰ روز محاسبه شد (جدول ۴). دامنه تغییرات (کمینه - بیشینه) تعداد روزهای خشک سال در کرمانشاه، بین ۲۸۶ روز در ۱۹۷۵ تا ۳۳۸ روز در ۲۰۲۱ و در خرم‌آباد، بین ۲۲۰ روز در ۱۹۷۶ تا ۳۴۰ روز در ۲۰۲۱ در نوسان بود (جدول ۴). میانگین تعداد دوره‌های خشک سالانه در کرمانشاه و خرم‌آباد، ۲۹ دوره ثبت شد (جدول ۴). کمینه و بیشینه تعداد دوره‌های خشک سال در هر دو ایستگاه نیز بین ۱۷ دوره (کمینه) تا ۳۹ دوره (بیشینه) متغیر بود (جدول ۴).

جدول ۴. میانگین تعداد روز و دوره خشک سال طی ۴۹ سال (۱۹۷۵-۲۰۲۳) در ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد

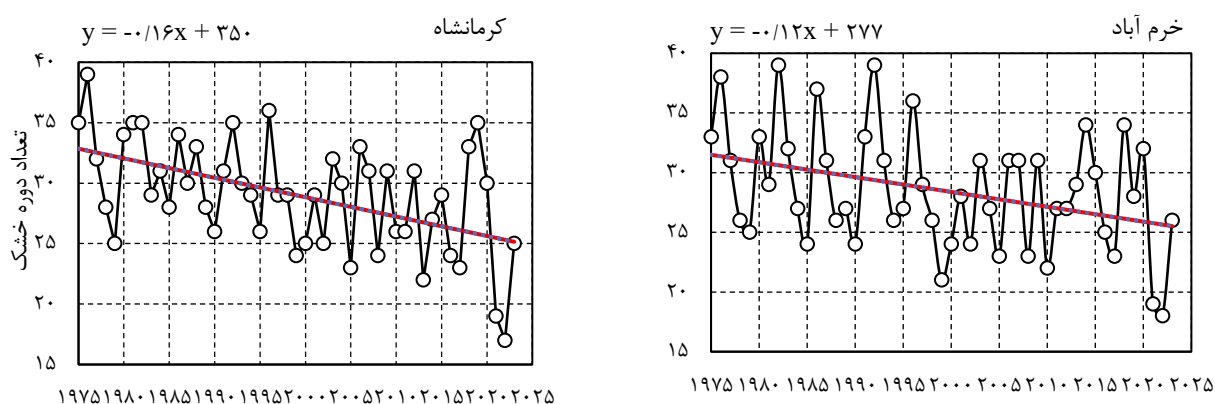
میانگین تعداد روز خشک سال ± انحراف معیار	کمینه- بیشینه تعداد دوره خشک سال	میانگین تعداد دوره خشک سال ± انحراف معیار	کمینه- بیشینه تعداد روز خشک	ایستگاه
۳۱۳±۱۱	۱۷-۳۹	۲۹±۵	۲۸۶-۳۳۸	کرمانشاه
۳۰۹±۲۰	۱۸-۳۹	۲۹±۵	۲۲۰-۳۴۰	خرم‌آباد

نتایج نشان داد، میانگین تعداد روزهای خشک سال در کرمانشاه و خرم‌آباد، پس از بروز پدیده زوال نسبت به دوره پیش از آن، به‌طور میانگین ۱۳ روز افزایش داشته است (جدول ۵). میانگین تعداد دوره‌های خشک پیش از ظهور زوال، در کرمانشاه و خرم‌آباد، ۳۰ دوره و پس از زوال، ۲۷ دوره بود (جدول ۵).

جدول ۵. میانگین تعداد روزها و دوره‌های خشک در ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد در دوره آماری (۱۹۷۵-۲۰۲۳) پیش و پس از زوال

خرم‌آباد		کرمانشاه		میانگین تعداد روز خشک سال ± انحراف معیار
پس از زوال	پیش از زوال	پس از زوال	پیش از زوال	
۳۱۸±۱۱	۳۰۳±۲۴	۳۱۹±۹	۳۰۸±۱۰	تعداد دوره خشک سال ± انحراف معیار
۲۷±۵	۳۰±۵	۲۷±۵	۳۰±۴	کمینه- بیشینه تعداد دوره خشک سال
۱۸-۳۴	۲۱-۳۹	۱۷-۳۵	۲۴-۳۹	

نتایج آزمون من‌کنندال نشان داد، روند تعداد روزهای خشک سال در دوره آماری ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۳، در هر دو ایستگاه کرمانشاه ( $Z_{MK}=4/54$ ) و خرم‌آباد ( $Z_{MK}=4/25$ ) افزایشی و معنی‌دار بوده است. در مقابل، روند بلندمدت تعداد دوره‌های خشک سال تنها در ایستگاه کرمانشاه کاهش‌ی و معنی‌دار بود ( $Z_{MK}=-2/81$ )، در حالی که این روند در خرم‌آباد معنی‌دار نشد ( $Z_{MK}=-1/75$ ) (شکل ۴).



شکل ۴. روند تعداد دوره خشک سال در ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد در دوره آماری ۴۹ ساله (۱۹۷۵-۲۰۲۳)

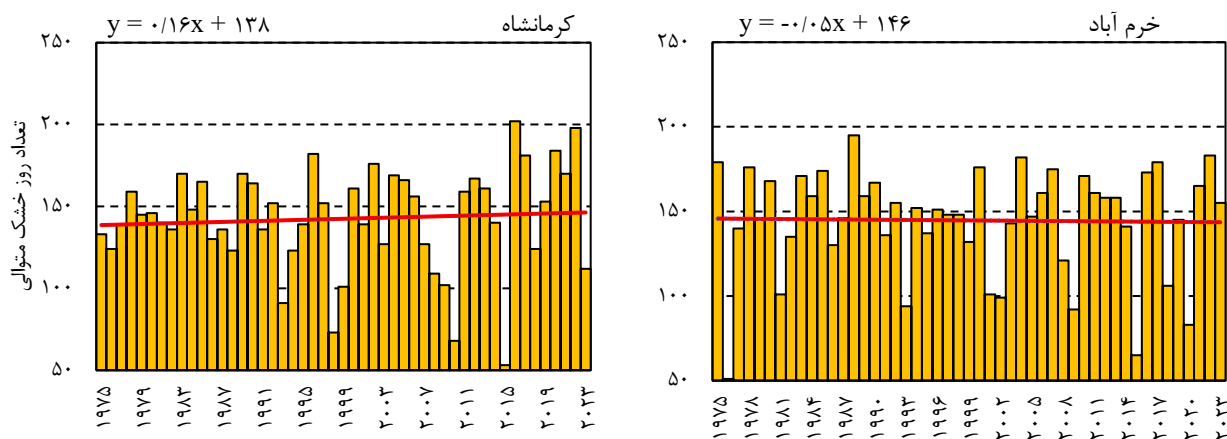
### ۳-۴. (تعداد) روزهای خشک متوالی

طی سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۳، روزهای خشک متوالی سال در کرمانشاه و خرم‌آباد دامنه گسترده‌ای داشت. در کرمانشاه، روزهای خشک متوالی سال بین یک تا ۲۰۲ روز (حداکثر در سال ۲۰۱۶) و در خرم‌آباد بین یک تا ۱۹۵ روز (حداکثر در سال ۱۹۸۸) متغیر بود. میانگین بیشترین روزهای خشک متوالی سال، در کرمانشاه ۱۴۲ روز با انحراف معیار ۳۲ روز و در خرم‌آباد ۱۴۵ روز با انحراف معیار ۳۲ روز ثبت شد. میانگین بیشترین روزهای خشک متوالی سال، پیش و پس از ظهور زوال در کرمانشاه و خرم‌آباد به تقریب اختلاف سه روزه داشت، به طوری که هم در کرمانشاه و هم در خرم‌آباد، پس از زوال، بیشتر از پیش از ظهور زوال بود. میانگین طول دوره‌های روزهای خشک متوالی در سال، پیش از زوال حدود ۱۰ روز و پس از زوال حدود ۱۲ روز بود (جدول ۶).

جدول ۶. میانگین روزهای خشک متوالی در سال، پیش و پس از ظهور زوال طی دوره ۴۹ ساله در ایستگاه‌های کرمانشاه و خرم‌آباد

خرم‌آباد		کرمانشاه		
پس از زوال	پیش از زوال	پس از زوال	پیش از زوال	
۱۴۶	۱۴۴	۱۴۴	۱۴۱	میانگین بیشترین روزهای خشک متوالی سال
۱۲±۳	۱۱±۲	۱۲±۳	۱۰±۲	میانگین روزهای خشک متوالی سال ± انحراف معیار
۱۸۳ (۲۰۲۲)	۱۹۵ (۱۹۸۸)	۲۰۲ (۲۰۱۶)	۱۸۲ (۱۹۹۶)	بیشینه روزهای خشک متوالی (سال)

روند میانگین روزهای خشک متوالی سال در دوره ۴۹ ساله در هر دو ایستگاه کرمانشاه ( $Z_{MK}=4/15$ ) و خرم‌آباد ( $Z_{MK}=3/04$ ) در سطح پنج درصد، افزایشی معنی‌دار بود در حالی که روند بیشترین روزهای خشک متوالی سال در هیچ کدام از دو ایستگاه کرمانشاه ( $Z_{MK}=1/43$ ) و خرم‌آباد ( $Z_{MK}=0/29$ ) معنی‌دار نشد (شکل ۵).



شکل ۵. روند بیشترین روزهای خشک متوالی سال در دوره آماری ۴۹ ساله (۱۹۷۵-۲۰۲۳) در ایستگاه‌های کرمانشاه و خرم‌آباد

### ۳-۵. مقایسه‌های آماری

نتایج آزمون t مستقل نشان داد که میانگین بارش سالانه و اندازه رخدادهای آن، پیش و پس از بروز پدیده زوال، در کرمانشاه ( $t=1/63$ )

و  $t = -0.76$  و خرم‌آباد ( $t = 0.97$  و  $t = -1.05$ ) اختلاف معنی‌دار نشان ندادند (جدول ۷). اگرچه میانگین تعداد رخدادهای بارش و تعداد روزهای خشک سال، پیش و پس از زوال در کرمانشاه و خرم‌آباد، تفاوت معنی‌دار آماری نشان دادند، اما میانگین تعداد روزهای خشک متوالی سال، پیش و پس از زوال در هیچ‌یک معنی‌دار نشد (جدول ۷).

**جدول ۷.** مقادیر تی-آستیدنت برای مقایسه بارش، تعداد رخداد بارش، تعداد روزهای خشک سال و تعداد روزهای خشک متوالی پیش و پس از زوال طی دوره ۴۹ ساله. سلول‌های سبز رنگ، معنی‌داری با آزمون  $t$  و سلول‌های قرمز رنگ، ناهمگن بودن واریانس‌ها با آزمون Bartlett را نشان می‌دهد.

بارش	تعداد رخداد بارش	اندازه رخداد بارش	تعداد روزهای خشک	تعداد روزهای خشک متوالی		
۱/۶۳	۳/۱۶	-۰/۷۶	-۳/۶۷	-۰/۳۲	t-test	
۰/۱	۰/۰۰۲	-۰/۴۴	۰/۰۰۰۶	۰/۷۴	P-value	کرمانشاه
۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۸۹	۰/۴۸	۴/۹۲	Bartlett-test	
۰/۵۶	۰/۶	۰/۳۴	۰/۴۸	۰/۰۲	P-value	
۰/۹۷	۲/۳	-۱/۰۵	-۲/۵۳	-۰/۲۲	t-test	
۰/۳۳	۰/۰۲	-۰/۲۹	۰/۰۱	۰/۸۱	P-value	خرم‌آباد
۰/۶۳	۱/۶۳	۱۶/۷۲	۱۲/۴	۰/۱۱	Bartlett-test	
۰/۴۲	۰/۲	<۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۷۳	P-value	

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

بررسی داده‌های هواشناسی ناحیه رویشی زاگرس طی دوره ۱۹۷۵ تا ۲۰۲۳ در ایستگاه‌های همدیدبانی کرمانشاه و خرم‌آباد نشان می‌دهد که روند بلندمدت بارش سالانه از نظر آماری معنی‌دار نیست. مطالعات اخیر نیز این نتایج را تایید می‌کنند که روند بلندمدت بارش در بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷، تنها در ۲۰ درصد ایستگاه‌های کشور کاهش معنی‌دار بوده است (Attarod et al., 2023). ضمن اینکه، هیچ‌یک از ایستگاه‌های هواشناسی همدیدبانی در زاگرس (۲۰ ایستگاه)، روند درازمدت بارش را در دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲، معنی‌دار نشان ندادند (Attarod et al., 2025). نتایج این مطالعه مشخص کرد که گرچه مقدار بارش پیش و پس از زوال در این دو ایستگاه، بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر کاهش داشته است، ولی این تغییر از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (جدول ۳)، بنابراین به‌نظر می‌رسد زوال جنگل‌های زاگرس به‌طور مستقیم نمی‌تواند تنها به کاهش بارش مرتبط باشد و تغییر دیگر پارامترهای اقلیمی به‌ویژه دما نیز می‌تواند تسریع‌کننده زوال محسوب شود.

با توجه به همبستگی قوی و معنی‌دار ( $r = 0.7$ ) بین مقدار بارش و تعداد رخدادهای سالانه بارش در هر دو ایستگاه (شکل ۲)، کاهش بارش در کرمانشاه و خرم‌آباد، کاهش تعداد رخدادهای بارش را به‌دنبال داشته است و میانگین اندازه رخداد ثابت باقیمانده است (در کرمانشاه، حدود ۶ میلی‌متر و در خرم‌آباد، حدود ۷ میلی‌متر) و روند آن نیز معنی‌دار نمی‌باشد (شکل ۳).

کاهش اندازه رخداد باران، ممکن است سبب کاهش آب در دسترس برای درختان بلوط به‌واسطه تبخیر و کم‌آبی (از دلایل زوال درختان) و تشدید زوال شود و از طرف دیگر، افزایش میانگین رخداد بارش نیز می‌تواند منجر به بروز سیل و جاری شدن باران به‌صورت رواناب در مناطق کوهستانی زاگرس شود (Attarod et al., 2021). اخیراً در پژوهشی که توسط میرزایی و همکاران (۱۴۰۴) در مورد شاخص روزهای خشک متوالی در جنگل‌های استان ایلام انجام گرفت، مشخص شد که علاوه بر همبستگی زیاد بین بارش و تعداد رخداد سالانه بارش، اندازه رخداد باران نیز پیش و پس از زوال در ایلام در حدود ۸ میلی‌متر ثابت باقی مانده است. بنابراین به نظر

می‌رسد، نقش تغییر در تعداد رخداد‌های سالانه و پیرو آن، میانگین اندازه رخداد‌های سالانه در زوال جنگل‌ها، کم‌رنگ باشد (شکل ۳). افزایش معنی‌دار در میانگین تعداد روزهای خشک سال پس از ظهور پدیده زوال (جدول ۷)، می‌تواند از جمله شرایط مستعدکننده گسترش زوال جنگل‌های زاگرس باشد. میانگین تعداد دوره‌های خشک پیش و پس از ظهور زوال در هر دو ایستگاه به‌طور یکسان، سه دوره کاهش یافته است (جدول ۵). نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین تعداد روزهای خشک سال، پس از بروز زوال جنگل‌ها، حدود ۱۰ تا ۱۵ روز طولانی‌تر شده است (جدول ۵) و میانگین بیشترین روزهای خشک متوالی طی ۴۹ سال گذشته در هر دو ایستگاه، پس از زوال، افزایش یافته است (جدول ۶). روزهای خشک متوالی اگرچه طی سال‌های اخیر طولانی‌تر شده‌اند، اما به تنهایی نمی‌توانند نشان دهنده شدت خشکسالی‌های اقلیمی موثر بر زوال جنگل‌های زاگرس باشند.

پایش شاخص روزهای خشک متوالی می‌تواند به عنوان ابزاری کلیدی برای مدیریت پایدار جنگل‌ها و افزایش تاب‌آوری بوم‌سازگان زاگرس مورد استفاده قرار گیرد. اهمیت روزهای خشک متوالی به عنوان شاخصی کلیدی در پایش سلامت جنگل در مطالعات بوم‌سازگان‌های جهان نیز مورد تایید قرار گرفته است (Vicente-Serrano et al., 2010). تغییرات اقلیمی از طریق اثرگذاری بر تعداد روزهای خشک متوالی که به عنوان یکی از شاخص‌های رویدادهای حدی شناخته می‌شود، می‌تواند شرایط خشکی و پیامدهای ناشی از آن را در جنگل‌های زاگرس تشدید کند (Mirzaei et al., 2025). از این‌رو، این عامل به عنوان یکی از متغیرهای تأثیرگذار در بروز و گسترش پدیده زوال جنگل‌های این بوم‌سازگان قابل توجه است. در مجموع، ترکیب عواملی چون افزایش دما، کاهش بارش، تبخیرتورق زیاد و طولانی‌تر شدن دوره‌های خشکی، در تشدید خشکی و زوال جنگل‌های زاگرس نقش داشته‌اند. این شرایط، ضرورت اقدامات مدیریتی فوری را در این بوم‌سازگان، برجسته می‌سازد (Attarod et al., 2015; Dargahian & Pourhashemi., 2021).

یافته‌های پژوهش پیش‌رو نشان داد که پدیده زوال جنگل‌های زاگرس را نمی‌توان تنها به تغییرات کمی بارش سالانه نسبت داد. اگرچه کاهش ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متری در مقدار باران پس از بروز زوال در مقایسه با پیش از آن مشاهده شد، اما این کاهش معنی‌دار نبود. افزایش روزهای خشک از عوامل کلیدی تشدید زوال به شمار می‌رود. افزایش معنی‌دار تعداد روزهای خشک سال منجر به افزایش تنش آبی درختان بلوط و تشدید زوال بوم‌سازگان زاگرس شده است (Attarod et al., 2021; Mirzaei et al., 2025). در مطالعه‌ای در چین، شاخص روزهای خشک متوالی، به عنوان معیاری برای شناسایی بارش‌های شدید و خشکسالی‌های فصلی معرفی شد و افزایش چشم‌گیر روزهای خشک در جنوب و جنوب‌غرب چین، حاکی از روندی نگران‌کننده به سوی خشکی بیشتر است (Duan et al., 2016). در مطالعه دیگر، روند تغییرات شاخص روزهای خشک متوالی تحت سناریوهای گرمایش جهانی، با تحلیل داده‌های گذشته و نیز پیش‌نگری آینده مشخص شد، در سناریوی سه درجه افزایش دما، تغییرات قابل توجهی در افزایش روزهای خشک متوالی رخ می‌دهد که می‌تواند منجر به افزایش خطر سیلاب شود (Kumari et al., 2024).

در میان شاخص‌های رویدادهای حدی اقلیمی، شاخص روزهای خشک متوالی، به عنوان ابزاری کارآمد برای تحلیل تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر بوم‌سازگان‌ها شناخته می‌شود. این شاخص، با بازنمایی تغییرات دما و بارش در قالب دوره‌های خشکی ممتد، نقش مؤثری در تبیین فرایند زوال جنگل‌های زاگرس دارد (Mirzaei et al., 2025). تغییر اقلیم فقط به افزایش دما محدود نمی‌شود و با تأثیر بر وقایع حدی مانند روزهای خشک متوالی، می‌تواند بر بوم‌سازگان‌های حساس و آسیب‌پذیری مانند جنگل‌های زاگرس تأثیر بگذارد. افزایش معنی‌دار طول و تعداد دوره‌های خشک متوالی در دهه‌های اخیر است که جنگل را در برابر تنش‌های آبی آسیب‌پذیرتر کرده است. این تغییرات، همراه با افزایش دما و تبخیروتورق، چرخه آب در بوم‌سازگان را برهم زده و تاب‌آوری جنگل را کاهش داده است (Attarod et al., 2021; Dargahian & Pourhashemi., 2021). تغییر اقلیم علاوه بر کاهش ذخیره رطوبتی خاک و محدودیت در تغذیه سفره‌های زیرزمینی، موجب افزایش حساسیت جنگل‌های زاگرس به تنش‌های زیستی و غیرزیستی شده است و در نهایت، زوال و خشکیدگی بوم‌سازگان‌های زاگرس را تشدید کرده است. در این شرایط، شاخص روزهای خشک متوالی به عنوان نماینده‌ای از رویدادهای

حدّی اقلیمی، ابزاری کارآمد برای پیش و مدیریت خطر زوال در جنگل‌های زاگرس است (Mirzaei et al., 2025). از این‌رو، اجرای سریع اقدامات مدیریتی سازگار با تغییرات اقلیمی، از جمله مدیریت آب‌های سطحی، حفظ رطوبت خاک و انتخاب گونه‌های بومی و مقاوم به خشکی، برای کاهش روند زوال و حفاظت و نگهداری از این بوم‌سازگان ارزشمند امری ضروری است. با توجه به محدودیت زمانی این مطالعه، از جمله تمرکز بر دو ایستگاه کرمانشاه و خرم‌آباد، به منظور افزایش دقت و قابلیت تعمیم‌پذیری نتایج، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، این شاخص در تمامی ایستگاه‌های ناحیه ریشی زاگرس مد نظر قرار گیرد.

## References

- Abkar, A. J., Habib Nezhad, M., Soleimani, K., & Naghavi, H. (2013). Investigating the efficiency of the SDSM model in simulating temperature indices in arid and semi-arid regions. *Faslname-ye Elmi Pazhoheshi-ye Mohandesi-ye Abyari va Ab*, 4 (14), 1. [in Persian]
- Attarod, P., Kheirkhah, F., Khalighi Sigaroodi, S., & Sadeghi, S. M. M. (2015). Sensitivity of reference evapotranspiration to global warming in the Caspian region, North of Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17 (4), 869–883.
- Attarod, P., Sadeghi, S. M. M., Taheri Sarteshnezi, F., Saroei, S., Kord Rostami, F., & Darikvandi, A. (2016). The impact of climatic factors and evapotranspiration on the decline of central Zagros forests in Lorestan province. *Iranian Journal of Forest and Rangeland Protection Research*, 13 (2), 97–112. [In Persian]
- Attarod, P., Biranvand, S., Asgari, M., [et al.]. (2021). The impact of rainfall fluctuations on the decline of forests in the Zagros vegetation zone in Lorestan and Ilam provinces. *Iranian Journal of Forest*, 13 (2), 141–154. [In Persian]
- Attarod, P., Dezhban, A., Pypker, T. G., Khalighi Sigaroodi, S., Bayramzadeh, V., Tang, Q., Liu, X., & Soofi Mariv, H. (2023). Iran's changing climate over the past 30 years. *Russian Meteorology and Hydrology*, 48 (1), 76–88.
- Attarod, P., Zhu, H., Beiranvand, S., Pypker, T. G., Bayramzadeh, V., Mariv, H. S., & Karimi, K. (2025). Past and future climate change in the Zagros region of western Iran. *Anthropocene*, 50, 100475. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100475>
- Bartlett, M. S. (1937). Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 160 (901), 268–282.
- Becker, S., Hartmann, H., Zhang, Q., Wu, Y., & Jiang, T. (2007). Cyclicity analysis of precipitation regimes in the Yangtze River Basin, China. *International Journal of Climatology*, 28 (5), 579–588. <https://doi.org/10.1002/joc.1545>
- Bid Hendi, N., Daryabeigi Zand, A., & Rabiee Abyaneh, H. (2021). Assessing the life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions of renewable and fossil fuel energy sources in Iran. *Environmental Energy and Economic Research*, 5 (4), 1–16. <https://doi.org/10.22097/eeer.2021.285879.1175>
- Dargahian, F., & Pourhashemi, M. (2021). Detection of climate change occurrence based on warm temperature indices in the Zagros forest ecosystem, Chaharmahal and Bakhtiari province. *User-Oriented Applied Ecology*, 10 (3), 81–99. [In Persian]
- Duan, Y., Ma, Z. & Yang, Q. (2017). Characteristics of consecutive dry days variations in China. *Theoretical and Applied Climatology*, 130, 701–709.
- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P. M., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G., & Peterson, T. C. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19 (3), 193–212.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *State of the World's Forests 2020: Forests, biodiversity and people*. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *Climate Change Impacts on Forest Health*. <http://www.fao.org/3/i0670e/i0670e05.pdf>
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M., Ryberg, K. R., Archfield, S. A., & Gilroy, E. J. (2020). *Statistical Methods in Water Resources* (U.S. Geological Survey Techniques and Methods, Book 4, Chapter A3). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/tm4A3>
- Hao, Z., & AghaKouchak, A. (2013). Multivariate standardized drought index: A parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*, 57, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.03.009>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers* [H. Lee & J. Romero (Eds.)]. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf)

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.)]. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1995). Climate change 1995: IPCC second assessment synthesis of scientific-technical information relevant to interpreting Article 2 of the UNFCCC
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [R. K. Pachauri & L. A. Meyer (Eds.)]. IPCC.
- Jahanshahi, M., et al. (2024). Increasing frequency of extreme climate events in Zagros forests: Implications for forest health. *Climate Change Research Journal*, (In press).
- Jamali, S. & Haack, R.A. (2024). From Glory to Decline: Uncovering Causes of Oak Decline in Iran, Forest Pathology, DOI: 10.1111/efp.12898
- Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*. Charles Griffin.
- Kumari, S., Singh, V., & Suryavanshi, Sh. (2024). Future Prediction of Consecutive Dry Days (CDD) in Rapti River Basin Using Model ACCESS-CM2 Climate Projection. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(7): 343-355
- Millar, C. I., & Stephenson, N. L. (2015). Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance. *Science*, 349 (6250), 823–826. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9933>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391 (1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Morgan, P., Hardy, C. C., Swetnam, T. W., Rollins, M. G., & Long, D. G. (2001). Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns. *International Journal of Wildland Fire*, 10 (4), 329–342. <https://doi.org/10.1071/WF01032>
- Microsoft Corporation. (2024). *Microsoft Excel* (Version 2408) [Computer software]. <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/excel>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13 (3), 245–259.
- Mansouri Daneshvar, M. R. (2019). An overview of climate change in Iran: Facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8 (1), 7. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3>
- Maion, J. M. (1981). *Tree Disease Concepts*. Prentice-Hall.
- Mirzaei, S., Attarod, P., & Mostafanezhad Nashli, K. (2025). The impact of long-term trends of rainfall and consecutive dry days on the decline of Zagros forests in Ilam province. *Journal of Forest and Wood Products*, 78 (1), 1–10. [In Persian]
- National Aeronautics and Space Administration. (2020). *Climate change: How do we know?* <https://climate.nasa.gov/evidence/>
- NASA. (2023). *NASA fiscal year 2023 economic impact report*. NASA Office of the Chief Economist.
- Sagheb-Talebi, K., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). *Forests of Iran: A treasure from the past, a hope for the future*. Springer.
- Saadi, S., et al. (2019). Analysis of meteorological drought trends using Mann-Kendall test in [Region Name]. *Journal of Climate Research*, 25(2), 100-112.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23 (7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., & Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111 (D5). <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman’s rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259 (1–4), 254–271. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7)

Zhang, X., Alexander, L. V., Hegerl, G. C., Jones, P. D., Klein Tank, A. M. G., Peterson, T. C., Trewin, B., & Zwiers, F. W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2 (6), 851–870. <https://doi.org/10.1002/wcc.147>