



University of Tehran

The effect of long-term trends of precipitation and consecutive dry days on Zagros forests decline in Ilam Province

Somayeh Mirzaei¹ | Pedram Attarod^{2*} | Kimiya Mostafanezhad Nesheli³

1. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mirzaei.5261@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: attarod@ut.ac.ir

3. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mostafanezhad.78@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 29 March 2025
Revised: 21 April 2025
Accepted: 14 May 2025
Published online: 17 June 2025

Keywords:
Climate Change,
Mann-Kendall test,
Oak decline,
Quercus brantii.

ABSTRACT

The Zagros forests in Ilam Province, covering 0.64 million hectares, have been in decline for over two decades, with the index of consecutive dry days (CDD)—a key climate change indicator—identified as a contributing factor. We analyzed 35 years (1988–2022) of daily meteorological data from the Ilam synoptic weather station using the Mann-Kendall non-parametric test to assess trends in precipitation and CDD. The mean annual precipitation was 544 mm (SD = 173 mm) with no significant trend ($Z_{MK} = 1.46$), though a notable decrease occurred from 605 mm before the onset of decline to 497 mm afterward ($t = 1.98$). On average, 313 (± 12 SD) dry days occurred annually, with about 70% during spring and summer. Each year, 27 (± 4 SD) dry spells were recorded, mostly under 30 days, but two typically exceeded that threshold (30 days). A significant rise in dry spells longer than 30 days was observed after the decline began ($Z_{MK} = +3.12$). The mean maximum annual CDD reached 150 days, peaking at 219 days in 2021. These findings indicate that reduced precipitation and prolonged dry periods linked to climate change play a critical role in the ongoing decline of the Zagros forests in Ilam Province.

Cite this article: Mirzaei, S., Attarod, P., Mostafanezhad Nesheli, K. (2025). The effect of long-term trends of precipitation and consecutive dry days on Zagros forests decline in Ilam province. *Journal of Forest and Wood Products*, 78 (1), 1-10. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.392721.1344>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2025.387003.1319>



دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۰۵۳۰

سایت نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

تأثیر روندهای درازمدت بارندگی و روزهای خشک متوالی بر زوال جنگل‌های زاگرس در استان ایلام

سمیه میرزایی^۱ | پدرام عطارد^{۲*} | کیمیا مصطفی نژاد نشلی^۳

۱. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mirzaei.5261@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: attarod@ut.ac.ir
۳. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mostafanezhad.78@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

جنگل‌های استان ایلام با مساحت ۰/۶۴ میلیون هکتار، بیش از دو دهه است دچار زوال شده‌اند. شاخص روزهای خشک متوالی (Consecutive Dry Days; CDD) که از نشانه‌های بروز تغییر اقلیم محسوب می‌شود، می‌تواند از عوامل تشدیدکننده زوال باشد. هدف این پژوهش، بررسی روندهای درازمدت بارندگی و روزهای خشک متوالی و ارتباط آن با زوال جنگل‌های استان ایلام بود. داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه همدیده‌بانی ایلام در بازه زمانی ۳۵ ساله (۱۹۸۸-۲۰۲۲) تجزیه و تحلیل و از آزمون ناپارامتری من-کندال، برای تعیین روند تغییرات بارندگی و تعداد روزهای خشک متوالی استفاده شد. میانگین بارندگی سالانه در این دوره، ۵۴۴ میلی‌متر با انحراف معیار ۱۷۳ میلی‌متر بود و روند آن معنی‌دار نبود ($Z_{MK}=1/46$). میانگین بارندگی سالانه، پیش (۶۰۵ میلی‌متر) و پس (۴۹۷ میلی‌متر) از شروع پدیده زوال، کاهش معنی‌داری داشت ($t=1/98$). میانگین تعداد روزهای خشک سال، ۳۱۳ روز با انحراف معیار ۱۲ روز بود و حدود ۷۰ درصد آن در فصل‌های رشد جنگل یعنی بهار و تابستان ثبت شد. به‌طور میانگین، در طی این دوره، در هر سال، ۲۷ دوره خشک با انحراف معیار ۴ دوره رخ داد. ۲۶ دوره، کوتاه‌تر از ۳۰ روز و ۲ دوره، بلندتر از ۳۰ روز بود. روند تعداد دوره‌های خشک بلندتر از ۳۰ روز پس از شروع زوال افزایشی معنی‌دار نشان داد ($Z_{MK}=+3/12$). میانگین بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی در سال، ۱۵۰ روز و حداکثر آن ۲۱۹ روز (سال ۲۰۲۱) ثبت شد. تغییرات اقلیمی، کاهش بارندگی و افزایش دوره‌های خشک طولانی‌مدت، می‌تواند نقش مهمی در تسریع و تشدید پدیده زوال جنگل‌های زاگرس در استان ایلام داشته باشد.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷

کلیدواژه:

بلوط ایرانی،

تغییر اقلیم،

زوال بلوط،

من-کندال.

استناد: میرزایی، سیمه، عطارد، پدرام، مصطفی‌نژاد نشلی؛ کیمیا (۱۴۰۴). تأثیر روندهای درازمدت بارندگی و روزهای خشک متوالی بر زوال جنگل‌های زاگرس در استان ایلام. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۸ (۱)، ۱-۱۰. DOI: <https://doi.org/10.22059/jfwf.2025.392721.1344>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

<https://doi.org/10.22059/jfwf.2025.387003.1319>



۱. مقدمه

جنگل‌های زاگرس، دومین بوم‌سازگان وسیع جنگلی ایران به‌شمار می‌روند که حدود ۴۰ درصد از کل جنگل‌های کشور را با مساحتی حدود شش میلیون هکتار دربر می‌گیرند [۲۹]. این جنگل‌ها که در پهنه‌ای به‌طول ۱۳۰۰ کیلومتر و عرض ۲۰۰ کیلومتر به‌صورت پیوسته و ناپیوسته در ۱۲ استان غربی کشور از جمله ایلام گسترده شده‌اند، دارای سه گونه اصلی بلوط (*Quercus libani*, Q. *brantii* and Q. *infectoria*) هستند و از این بین، بلوط ایرانی بیشترین پراکنش و مساحت را در جنگل‌های زاگرس دارد [۱۶]. از جمله خدمات مهم این بوم‌سازگان، می‌توان به حفاظت از آب و خاک، فراهم‌سازی شرایط زیستی برای جوامع انسانی و تولید محصولات فرعی اشاره کرد [۲۲].

زوال بلوط (Oak decline) در جنگل‌های زاگرس، پدیده‌ای است که بیش از دو دهه از شروع بروز آن می‌گذرد و در سال‌های اخیر، زیست‌بوم جنگل را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است. پدیده خشکیدگی به‌معنای خشک شدن جوانه‌ها و سرشاخه‌های درختان از بالای تاج به سمت پایین است و تا خشک شدن و مرگ کامل گیاه ادامه می‌یابد [۲۳]. اولین گزارش‌های زوال درختان بلوط در دنیا از سال ۱۹۰۰ در بریتانیا و اروپا آغاز شد [۴]. در ایران نیز گزارش‌های خشکیدگی درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس به دهه ۸۰ (از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵) باز می‌گردد [۳، ۱۳، ۲۵]. نخستین عارضه‌های این پدیده، سال ۱۳۸۵ از استان ایلام گزارش شد [۲۶] و در سال ۱۳۹۳ سطح جنگل‌های زوال یافته زاگرس بالغ بر یک میلیون هکتار (حدود ۲۵ درصد از جنگل‌های زاگرس) برآورد شد [۲، ۲۵]. حدود ۳۲ درصد (۰/۶۴ میلیون هکتار) از سطح کل استان ایلام با مساحت تقریبی ۲ میلیون هکتار، پوشیده از جنگل است [۱۹] و در این استان نیز، سطح توده‌های دچار زوال با استفاده از تصاویر لندست، حدود ۰/۱۲ میلیون هکتار برآورد شده است [۱۷]. پهنه‌بندی زوال درختان بلوط در سال ۱۳۹۳ در استان ایلام نشان می‌دهد که شدت خشکیدگی در بیش از یک‌سوم از مناطق متأثر از زوال، بیشتر از ۵۰ درصد است [۱۵].

زوال بلوط در جنگل‌های زاگرس همانند سایر نقاط دنیا پدیده پیچیده‌ای است که بروز آن به عوامل متعددی بستگی دارد. در سال‌های اخیر، فرضیه ارتباط بین زوال درختان بلوط با تغییرات اقلیمی، تغییرات بارش و بروز خشکسالی‌ها در جنگل‌های زاگرس مطرح شده است [۴، ۱۸]. منابع نشان می‌دهند تغییر اقلیم در بروز یا حداقل تشدید این پدیده بسیار تأثیرگذار بوده است و به‌مرور سبب تضعیف بوم‌سازگان و درختان شده است [۲، ۱۰]. تغییر اقلیم که درواقع تغییر رفتار اقلیمی یک منطقه نسبت به الگوی ثبت شده و مورد انتظار آن در طول زمان است [۶]، منجر به تغییرات قابل توجهی در الگوهای بارش از جمله، فراوانی، شدت و مدت زمان بارش‌ها شده است [۲۷]. تغییر اقلیم در تشدید پدیده زوال نیز به‌طور مستقیم و غیرمستقیم نقش دارد. بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌دلیل عدم توانایی سازگاری سریع در برابر ناهنجاری‌های اقلیمی، دچار تنش می‌شوند [۲۰].

تغییر در فراوانی و شدت رویدادهای حدی اقلیمی نیز از نتایج تغییر اقلیم محسوب می‌شوند و اثرات قابل توجهی بر بوم‌سازگان‌های جنگلی دارند [۲۱]. رویداد حدی به رویدادی گفته می‌شود که مقدار آن از آستانه فراتر می‌رود و مثلاً برای یک پارامتر اقلیمی در یک دوره معین، مشاهداتی بیشتر یا کمتر از حد معمول ثبت شود [۹]. شاخص روزهای خشک متوالی (Consecutive Dry Days; CDD) که عبارت است از تعداد روزهای متوالی با بارش کمتر از ۱ میلی‌متر [۱۲]، یکی از زیرشاخص‌های وقایع حدی است که در گروه شاخص‌های طول مدت (Duration indices) طبقه‌بندی می‌شود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، افزایش روزهای خشک متوالی به‌عنوان نشانه‌ای از تغییرات اقلیمی در نظر گرفته می‌شود و ابزاری کلیدی برای ارزیابی خشکسالی و سیلاب معرفی شده است [۱۵، ۳۱]. در سطح جهانی نیز، روند افزایشی روزهای خشک متوالی در اکثر نقاط کره زمین گزارش شده است [۱]. هدف از این پژوهش، بررسی روند درازمدت بارندگی و تعداد روزهای خشک متوالی و ارتباط آن با پدیده زوال جنگل‌های زاگرس در استان ایلام بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه پژوهش و داده‌های هواشناسی

برای انجام این پژوهش، از داده‌های ایستگاه هواشناسی همدیده‌بانی (سینوپتیک) ایلام (۳۸°۳۳' عرض جغرافیایی و ۴۶°۲۶' طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۳۷ متر) استفاده شد. داده‌های هواشناسی بارش و دما در مقیاس روزانه در دوره ۳۵ ساله

(۱۹۸۸-۲۰۲۲) تجزیه و تحلیل شدند.

۲-۲. روندیابی تعداد روزهای خشک متوالی

آزمون ناپارامتری من-کندال برای روندیابی تعداد روزهای خشک متوالی و نیز روندیابی بارش استفاده شد. این آزمون، یک روش ناپارامتری معتبر برای تحلیل سری‌های زمانی و شناسایی تغییرات روند است که به‌طور گسترده در تجزیه و تحلیل روندهای هیدرولوژیک و هواشناسی به کار می‌رود. در این آزمون، فرض صفر، بیانگر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و فرض یک نشان‌دهنده وجود روند در سری داده‌ها است [۵]. اگر مقدار آماره من-کندال (Z_{MK}) مثبت باشد، نشان‌دهنده روندی افزایشی در داده‌ها است، در حالی که مقدار منفی آن به معنای وجود روندی کاهشی در سری داده‌ها می‌باشد. در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، اگر قدر مطلق آماره من-کندال، بزرگتر از ۱/۹۶ باشد، سری زمانی مورد مطالعه دارای روندی معنی‌دار است [۳۰]. کلیه محاسبات آماری و نیز تعیین آماره من-کندال در نرم‌افزار Excel انجام شد. در محاسبه تعداد دوره‌های خشک و تعداد روزهای بارانی، روزهای با بارندگی به ترتیب کمتر از یک میلی‌متر و کمتر از ۰/۱ میلی‌متر در محاسبات در نظر گرفته نشدند.

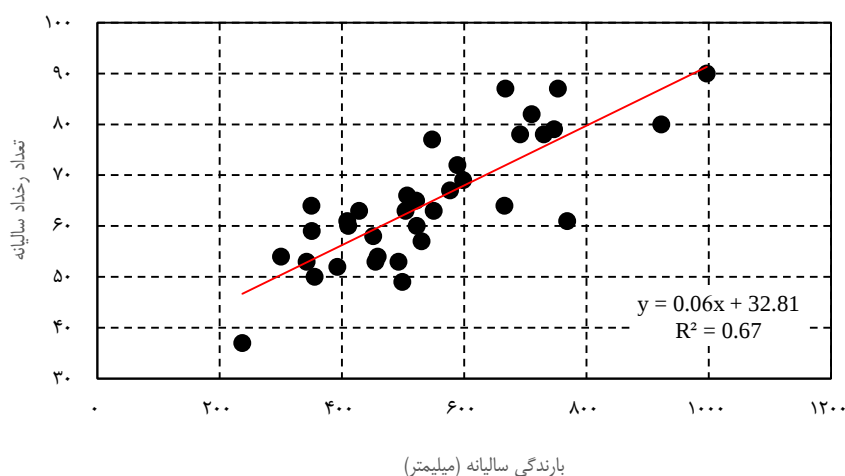
۳. یافته‌های پژوهش

۳-۱. بارندگی سالانه

داده‌های روزانه بارندگی در ایستگاه هواشناسی همدیده‌بانی ایلام نشان می‌دهند که در طی دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۸-۲۰۲۲)، ۲۲۶۵ رخداد بزرگ‌تر از ۰/۱ میلی‌متر ثبت شده است. میانگین بارندگی و تعداد رخداد سالانه طی این دوره، به ترتیب ۵۴۴ میلی‌متر (انحراف معیار: ۱۷۳ میلی‌متر) و ۶۵ رخداد (انحراف معیار: ۱۲) بود. حداکثر بارندگی سالانه در طی این دوره، ۹۹۷ میلی‌متر (در سال ۱۹۹۴) با ۹۰ رخداد و حداقل مقدار بارندگی سالانه، ۲۳۷ میلی‌متر (در سال ۲۰۲۱) با ۳۷ رخداد و میانگین اندازه رخداد نیز، حدود ۸ میلی‌متر با انحراف معیار ۲ میلی‌متر بود. بزرگ‌ترین رخداد بارندگی که در طی دوره ۳۵ ساله در ایستگاه هواشناسی ایلام ثبت شد، ۲۱۴ میلی‌متر در سال ۲۰۱۵ بوده است. بین مقادیر بارندگی سالانه (میلی‌متر) و تعداد رخداد رابطه (۱) به دست آمد (شکل ۱):

$$\text{رابطه (۱)} \quad n=35; r^2=0.67 \quad y = 0.06x + 32.81$$

نتایج نشان می‌دهد که میانگین بارندگی سالانه پیش از بروز پدیده زوال، ۶۰۵ میلی‌متر (انحراف معیار: ۱۶۰ میلی‌متر) و پس از ظهور این پدیده، ۴۹۷ میلی‌متر (انحراف معیار: ۱۶۳ میلی‌متر) است. تعداد رخدادها سالانه بارندگی نیز پیش از بروز زوال در سال ۱۳۸۰، بیشتر است (۷۰ رخداد پیش از زوال در مقابل ۶۱ رخداد پس از زوال).



شکل ۱. رابطه بین مقادیر بارندگی و تعداد رخداد سالانه در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ایلام در دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۸۸-۲۰۲۲)

اگرچه آزمون من-کندال، روندهای درازمدت بارندگی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲ ($Z_{MK}=1/46$) و نیز تعداد رخداد سالانه ($Z_{MK}=1/58$) را در سطح اطمینان ۹۵ درصد، معنی‌دار نشان نداد، ولی میانگین بارندگی ($t=1/98$) و تعداد رخداد سالانه ($t=2/66$) پیش و پس از شروع پدیده زوال در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود.

داده‌های بارندگی و تعداد رخدادها در دوره‌های پنج‌ساله نشان می‌دهد مقدار بارندگی در فاصله سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲، کمترین مقدار سالانه (۳۹۷ میلی‌متر با انحراف معیار ۴۴ و تعداد رخداد ۶۰ با انحراف معیار ۱۴) و در فاصله سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۷ بیشترین مقدار سالانه (۶۸۳ میلی‌متر با انحراف معیار ۲۰۵ و تعداد رخداد ۷۹ با انحراف معیار ۱۱) را داشت (جدول ۱). بزرگترین رخداد بارندگی نیز پس از ظهور زوال در دوره ۲۰۱۷-۲۰۱۳ (۲۱۴ میلی‌متر) ثبت شد (جدول ۱).

جدول ۱. میانگین دوره‌ای بارندگی سالانه (۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲) و رخدادهای باران در ایلام پیش و پس از بروز پدیده زوال بلوط در دوره‌های پنج‌ساله

پیش و پس از زوال	دوره	بارندگی سالانه در دوره (میلی‌متر)	تعداد رخداد سالانه	بزرگ‌ترین رخداد در دوره (میلی‌متر)
پیش از زوال	۱۹۸۸-۱۹۹۲	۶۱۳.۰	۶۹.۳	۸۶
	۱۹۹۳-۱۹۹۷	۶۸۳.۵	۷۹.۱۱	۱۰۳
	۱۹۹۸-۲۰۰۲	۵۲۰.۱۱۴	۶۳.۹	۷۸
میانگین		۶۰۵.۱۶۰	۷۰.۱۳	
پس از زوال	۲۰۰۳-۲۰۰۷	۵۵۲.۱۱۳	۶۶.۹	۱۶۲
	۲۰۰۸-۲۰۱۲	۳۹۷.۴۴	۵۹.۵	۴۰
	۲۰۱۳-۲۰۱۷	۵۳۸.۱۳۷	۵۸.۶	۲۱۴
	۲۰۱۸-۲۰۲۲	۵۰۳.۳۴۱	۶۰.۱۴	۱۲۲
میانگین		۴۹۷.۱۶۳	۶۱.۰	

اعداد زیرنویس، انحراف معیار از میانگین را نشان می‌دهند.

پراکندگی فصلی بارندگی نیز نشان داد میانگین بارندگی در فصل بهار ۱۶۵ میلی‌متر (۳۰ درصد بارندگی سالانه)، در فصل تابستان ۲ میلی‌متر (۰/۵ درصد بارندگی سالانه)، در فصل پاییز ۱۰۶ میلی‌متر (۱۹/۵ درصد بارندگی سالانه) و در فصل زمستان، ۲۷۴ میلی‌متر (۵۰ درصد بارندگی سالانه) است. آزمون من-کندال نیز روند بارندگی فصلی را در هیچ یک از فصول سال، طی این دوره ۳۵ ساله، معنی‌دار نشان نداد.

۳-۲. روزها و دوره‌های خشک سال

در طول دوره ۳۵ ساله، در ایستگاه همدیده‌بانی ایلام، ۱۰۹۶۷ روز بدون بارندگی (۸۶ درصد روزها) ثبت شد. تعداد روزهای خشک سال بین ۲۸۱ روز (در سال ۱۹۹۴) تا ۳۴۱ روز (در سال ۲۰۲۱) متغیر بود (میانگین: ۳۱۳ روز با انحراف معیار ۱۲ روز) و روند تعداد روزهای خشک سال نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد، معنی‌دار افزایشی تشخیص داده شد ($Z_{MK}=+3/09$). بیشترین تعداد روز خشک سال، در فاصله سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲، ۳۲۱ روز با انحراف معیار ۱۴ بود (جدول ۲). میانگین تعداد روزهای خشک سال پیش (۳۰۸ روز) و پس (۳۱۷ روز) از بروز پدیده زوال در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود ($t=1/18$) (جدول ۲). میانگین بیشترین تعداد روز خشک سال نیز، پس از زوال (۳۲۸ روز)، از نظر آماری، بیشتر از پیش از آن (۳۱۹ روز) محاسبه شد ($t=1/38$). در طول دوره ۳۵ ساله، میانگین تعداد روزهای خشک در فصل بهار ۷۵ روز، تابستان ۹۱ روز، پاییز ۸۲ روز و زمستان ۶۵ روز بود. در سطح اطمینان ۹۵ درصد، روند تعداد روزهای خشک سال در فصول بهار و زمستان، معنی‌دار افزایشی (Z_{MK} به ترتیب: $+2/47$ و $+3/91$) اما در فصول تابستان و پاییز معنی‌دار (Z_{MK} به ترتیب: $+0/20$ و $+0/32$) نشد.

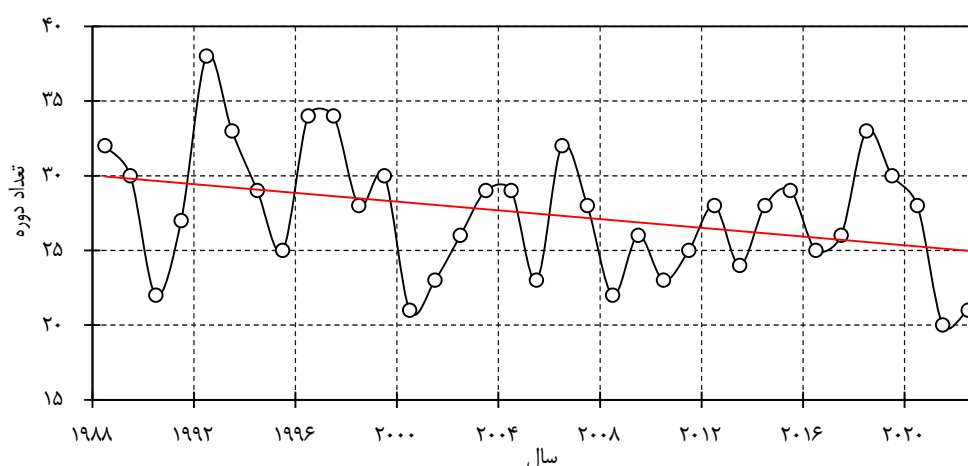
در طول دوره ۳۵ ساله، میانگین تعداد دوره‌های خشک در طول سال، ۲۷ دوره (انحراف معیار ۴) ثبت شد. میانگین تعداد این دوره‌ها، پیش از ظهور پدیده زوال، ۲۹ (انحراف معیار: ۵) و پس از آن، ۲۶ (انحراف معیار: ۴) و در دوره ۱۹۹۲-۱۹۹۸، بیشترین تفاوت بین حداقل و حداکثر تعداد دوره خشک سال، (۱۶ دوره) بود (جدول ۲) در حالی که در بقیه دوره‌ها، این تفاوت به‌طور میانگین ۹ روز بود (جدول ۲). بیشترین تعداد دوره‌های خشک در سال ۱۹۹۲ (۳۸ دوره) و کمترین تعداد در سال ۲۰۲۱ (۲۰ دوره) بود (شکل

۳). نتایج آزمون من-کندال نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، روند سالانه تعداد دوره‌های خشک ($Z_{MK} = -1/36$) معنی‌دار نیست (شکل ۲).

جدول ۲. میانگین تعداد روزها و دوره‌های خشک و نیز روزهای خشک متوالی طی ۳۵ سال (۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲) در دوره‌های پنج‌ساله در ایلام

دوره	تعداد روز خشک سال انحراف معیار	حداکثر تعداد روز خشک سال	تعداد دوره‌های خشک سال	حداقل - حداکثر تعداد دوره خشک سال	بیشترین تعداد روز خشک متوالی سال انحراف معیار
۱۹۸۸-۱۹۹۲	۳۰۷ _۹	۳۳۴	۳۰	۲۲-۳۸	۱۷۲ _۶
۱۹۹۳-۱۹۹۷	۲۹۹ _{۱۰}	۳۰۹	۳۱	۲۵-۳۴	۱۴۳ _{۱۱}
۱۹۹۸-۲۰۰۲	۳۱۸ _۸	۳۳۴	۲۶	۲۱-۳۰	۱۳۶ _{۲۴}
میانگین	۳۰۸	۳۱۹	۲۹		۱۵۰
۲۰۰۳-۲۰۰۷	۳۱۲ _۷	۳۲۲	۲۷	۲۳-۳۲	۱۵۶ _{۱۸}
۲۰۰۸-۲۰۱۲	۳۱۷ _۴	۳۲۳	۲۵	۲۲-۲۸	۱۳۵ _{۲۸}
۲۰۱۳-۲۰۱۷	۳۲۰ _۷	۳۲۷	۲۶	۲۲-۲۹	۱۳۵ _{۲۲}
۲۰۱۸-۲۰۲۲	۳۲۱ _{۱۴}	۳۴۱	۲۶	۲۰-۳۳	۱۵۸ _{۴۶}
میانگین	۳۱۷	۳۲۸	۲۶		۱۴۶

اعداد زیرنویس، انحراف معیار از میانگین را نشان می‌دهند.



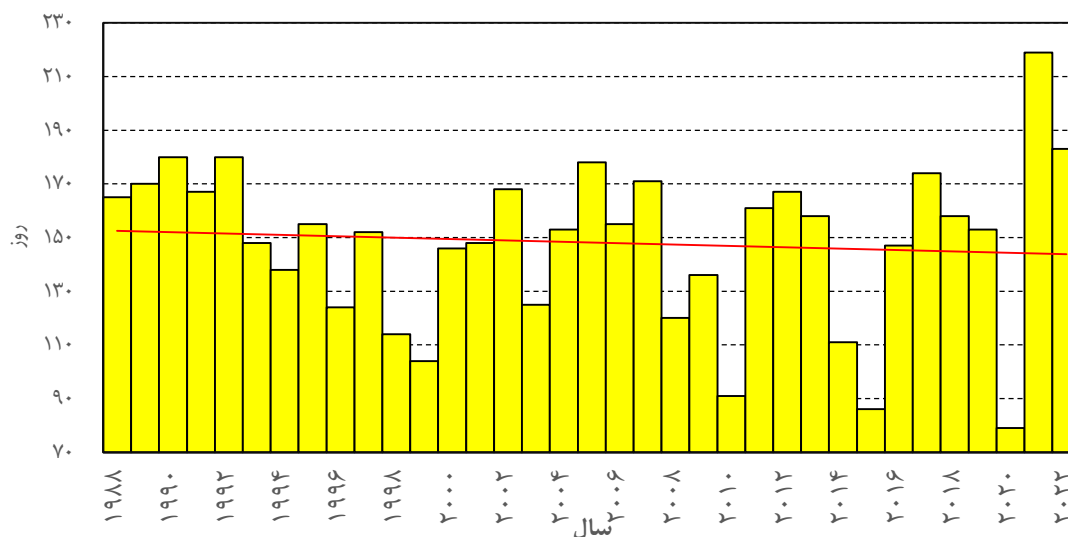
شکل ۲. روند تعداد دوره‌های خشک سالانه در ایلام در دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۸-۲۰۲۲)

داده‌ها نشان می‌دهند که در فاصله سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲، در طول سال، ۲۶ دوره خشک، کوتاه‌تر از ۳۰ روز و تنها ۲ دوره بلندتر از ۳۰ روز بودند. اگرچه روند سالانه تعداد دوره‌های خشک کوتاه‌تر از ۳۰ روز در طول سال معنی‌دار نبود ($Z_{MK} = -1/66$)، ولی این روند، برای تعداد دوره‌های خشک بلندتر از ۳۰ روز در سال، افزایشی معنی‌دار ($Z_{MK} = +2/37$) شد. میانگین درصد تعداد دوره‌های خشک کوتاه‌تر و بلندتر از ۳۰ روز نیز به ترتیب ۹۴ و ۶ محاسبه شد. روند این درصدها، برای روزهای خشک کمتر از ۳۰ روز، کاهش معنی‌دار ($Z_{MK} = -2/13$) و برای روزهای خشک بیشتر از ۳۰ روز، افزایشی معنی‌دار ($Z_{MK} = +3/12$) بود. به علاوه، میانگین تعداد دوره‌های خشک کوتاه‌تر از ۳۰ روز، پیش و پس از بروز پدیده زوال به ترتیب ۲۹ و ۲۶ و اعداد متناظر برای تعداد دوره‌های خشک بلندتر از ۳۰ روز، ۱ و ۲ بود.

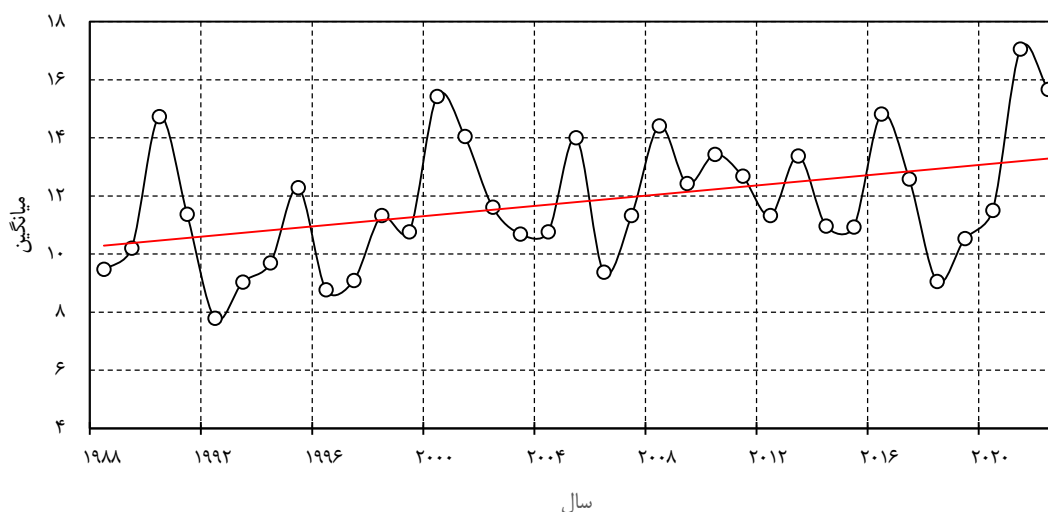
۳-۳. تعداد روزهای خشک متوالی

در طول دوره ۳۵ ساله، تعداد روزهای خشک متوالی در سال بین یک روز تا ۲۱۹ روز (سال ۲۰۲۱) متغیر بود. بیشترین میانگین تعداد روزهای خشک متوالی سال، در دوره ۱۹۹۲-۱۹۹۸ ثبت شد (۱۷۲ روز) (جدول ۲). میانگین بیشترین تعداد روزهای خشک

متوالی سال، پیش و پس از ظهور زوال، تفاوت معنی داری نداشت (۱۵۰ روز در مقابل ۱۴۶ روز) ($t=0/36$) (جدول ۲). روند بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی در سال در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار نبود ($Z_{MK}=0$) (شکل ۳). میانگین تعداد روزهای خشک متوالی در سال، ۱۲ روز با انحراف معیار ۲/۲ روز و بدون تغییر، پیش و پس از زوال به دست آمد. روند میانگین تعداد روزهای خشک متوالی در سال، در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار شد ($Z_{MK}=2/69$) (شکل ۴).



شکل ۳. روند بیشترین تعداد روز خشک متوالی سال در دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۸-۲۰۲۲) در ایلام



شکل ۴. روند میانگین تعداد روزهای خشک متوالی در سال در دوره ۳۵ ساله (۱۹۸۸-۲۰۲۲) در ایلام

۴. بحث

نتایج این پژوهش در استان ایلام، به عنوان یکی از کانون‌های اصلی خشکیدگی جنگل‌های زاگرس، نشان داد که روند میانگین بارندگی سالانه (۵۴۴ میلی‌متر با انحراف معیار ۱۷۳ میلی‌متر) طی سه دهه گذشته تغییر معنی داری نداشته است. میزان بارندگی سالانه در دوره ۳۵ ساله منتهی به سال ۲۰۲۲، بین ۲۳۷ تا ۹۹۷ میلی‌متر در نوسان بوده است. اگرچه مطالعات پیشین نیز تأیید کرده‌اند که روند بارندگی سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی همدیده بانی ایلام و لرستان در فاصله سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ معنی دار نیست [۴]، ولی میانگین بارندگی سالانه، پیش (۶۰۵ میلی‌متر) و پس (۴۹۷ میلی‌متر) از شروع پدیده زوال در سال ۱۳۸۰ از نظر

آمارای معنی‌دار شد که این کاهش بارش می‌تواند از دلایل تسریع و تشدیدکننده پدیده زوال باشد. میانگین بارندگی‌های فصلی نشان داد که حدود ۷۰ درصد بارندگی سالانه در ایلام، در نیمه دوم سال (فصول پاییز و زمستان) رخ می‌دهد، یعنی در فصل غیررویش. اگرچه آزمون من-کندال، روند بارندگی فصلی را در هیچ کدام از فصول معنی‌دار نشان نداد، ولی به نظر می‌رسد توزیع کلی بارندگی در ایلام (فقط ۳۰ درصد بارش‌ها در فصول بهار و تابستان رخ می‌دهد)، در جهت تسریع پدیده زوال است. بارندگی فصل‌های بهار و تابستان سبب افزایش رطوبت در لایه‌های بالایی خاک می‌شود [۱۱]. کمبود آب و رطوبت خاک به‌ویژه در فصل رشد جنگل، اثر تشدیدکننده بر زوال دارد و روند زمانی فعالیت‌های فیزیولوژیک درختان را مختل می‌کند و رشد رویشی و زایشی درختان از این طریق کاهش می‌یابد [۱۰]. اگرچه همبستگی زیاد بین بارش و تعداد رخداد سالانه نشان داد که کاهش بارش در ایلام با کاهش تعداد رخداد همراه بوده است و میانگین رخداد باران، پیش و پس از زوال در حدود ۸ میلی‌متر ثابت باقی مانده است، ولی تغییر در میانگین رخداد باران، می‌تواند به‌واسطه باران ربایی و تبخیر، کاهش آب در دسترس برای درختان و در نهایت خشک‌تر شدن و کم‌آبی را در پی داشته باشد [۴].

به‌طور کلی، در ایلام حدود ۸۶ درصد روزهای سال، بدون بارندگی (خشک) است (۳۱۳ روز) و حدود ۷۰ درصد این روزهای خشک، در فصل‌های رشد جنگل، یعنی بهار و تابستان قرار دارند. روند افزایشی معنی‌دار تعداد روزهای خشک سال در فصول بهار و زمستان و نیز افزایش میانگین تعداد روزهای خشک سال پس از ظهور پدیده زوال (جدول ۲)، خود می‌تواند از شرایط تسریع‌کننده و مستعدکننده گسترش زوال جنگل‌های زاگرس باشد. مطالعات نیز نشان داده‌اند که تغییرات اقلیمی باعث تغییر در توزیع فصلی بارش و افزایش خشکی در فصول خاصی از سال می‌شود [۳۲].

در ایلام، سالانه به‌طور میانگین ۲۷ دوره خشک ثبت می‌شود و نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد این دوره‌های خشک، قبل از بروز پدیده زوال بیشتر بوده است (جدول ۲)، ولی روند درازمدت تعداد این دوره‌های خشک در سال معنی‌دار نبود (شکل ۲). همچنین، به‌جز تعداد محدودی دوره خشک که بلندتر از ۳۰ روز بودند (حدود ۴ درصد دوره‌ها)، مابقی دوره‌های خشک، کوتاه‌تر از ۳۰ روز ثبت شدند و نتایج نشان داد روند تعداد دوره‌های خشک بلندتر از ۳۰ روز، در ۳۵ سال اخیر منتهی به سال ۲۰۲۲، افزایشی معنی‌دار است. روند افزایشی تعداد دوره‌های خشک بیش از ۳۰ روز در ناحیه رویشی زاگرس که در منابع دیگر نیز آورده شده است [۸، ۲۴، ۲۸]، می‌تواند شرایط خشکی بیشتر و زوال را فراهم نماید.

در طی دوره ۳۵ سال این پژوهش، تعداد روزهای خشک متوالی در سال بین ۱ تا ۲۱۹ روز متغیر بود (میانگین بیشترین روزهای خشک سال حدود ۱۵۰ روز، بدون تغییر معنی‌دار پیش و پس از بروز پدیده زوال). اگرچه روند بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی خشک سال، معنی‌دار نشد (شکل ۳)، ولی میانگین تعداد روزهای خشک متوالی، روندی افزایشی معنی‌دار نشان داد (شکل ۴). هم بیشترین تعداد روزهای خشک سال (۳۴۱ روز) و هم بیشترین تعداد روز خشک متوالی در سال (۲۱۹ روز) در سال‌های اخیر (۲۰۱۸-۲۰۲۲) رخ داده است.

تغییر اقلیم به افزایش خشکسالی‌ها در زاگرس منتهی شده است و ارتباط بین تغییرات بارندگی و بروز خشکسالی‌ها در زاگرس، با زوال این جنگل‌ها و تغییرات اقلیمی، در منابع متعددی ذکر شده است [۴، ۱۸]. افزایش تعداد روزهای خشک متوالی در سال به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تشدید پدیده زوال درختان در ایلام محسوب می‌شود. این نتیجه با پژوهش‌هایی که ارتباط بین خشکسالی‌های طولانی‌مدت و زوال جنگل‌ها را تأیید کرده‌اند، منطبق است [۷]. این مطالعه نشان داد که تغییرات اقلیمی با تأثیر بر تعداد روزهای خشک متوالی به‌عنوان یکی از شاخص‌های وقایع حدی، می‌تواند نقش مهمی در تشدید شرایط خشکی و پیامدهای مرتبط با آن در جنگل‌های ایلام داشته باشد و بنابراین می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر زوال جنگل‌های این منطقه باشد. می‌توان گفت، افزایش تعداد روزهای خشک متوالی به‌همراه ترکیبی از عوامل اقلیمی و انسانی در بروز و تشدید پدیده زوال جنگل‌های استان ایلام مؤثر بوده‌اند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شاخص روزهای خشک متوالی به‌عنوان یکی از زیرشاخص‌های وقایع حدی، از نشانه‌های بروز تغییر اقلیم و خشکسالی می‌تواند از عوامل اثرگذار بر زوال جنگل‌های زاگرس باشد. این پژوهش نشان داد که اگرچه میانگین بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی در

دوره درازمدت ۳۵ ساله از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۲ در ایلام حدود ۱۵۰ روز است، ولی جنگل‌های ایلام، روزهای خشک متوالی ۲۱۹ روزه را نیز در سال ۲۰۲۱ تجربه کرده‌اند. به نظر می‌رسد افزایش تعداد روزهای خشک متوالی در استان ایلام، به‌ویژه در فصول بهار و تابستان، نقش بسیار مهمی در تشدید پدیده زوال درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس این استان داشته است. تغییرات اقلیمی، کاهش بارندگی و افزایش دوره‌های خشکی طولانی‌مدت، یقیناً یکی از دلایل تضعیف بوم‌سازگان جنگلی زاگرس و تسریع زوال درختان بلوط بوده است. تغییر اقلیم از جنبه‌های متنوع در ظهور، تسریع و تشدید پدیده زوال جنگل‌های زاگرس نقش داشته است و به‌مرور باعث تضعیف بوم‌سازگان زاگرس شده است.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده به بررسی دقیق‌تر شاخص‌های اقلیمی و تأثیرات آن بر زوال جنگل‌های بلوط زاگرس پرداخته شود و در راستای احیای جنگل‌های زوال یافته زاگرس از گونه‌های بومی و مقاوم به خشکی استفاده شود.

۶. منابع

- [1] Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F. & Tagipour, A. (2006), Global 30 observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).
- [2] Attarod, P., Sadeghi, S. M. M., Taheri Sarteshnizi, F., Saroui, S., Abasian, P., Masihpour, M., Kordrostami, F. & Darikundi, A. (2015). The influence of climatic factors and evapotranspiration on the decline of the central Zagros forests in Lorestan province. *Research on Support and Protection of Forests and Rangelands in Iran*, 13(2), 97-112.
- [3] Attarod, P., Sadeghi, S. M. M., Pypker, T.G., & Bayramzadeh, V. (2017). Oak trees decline; a sign of climate variability impacts in the west of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 15(4), 375-386.
- [4] Attarod, P., Beiranvand, S., Asgari, M., Fanaei, N. & Hashemzadeh, M. (2021). The effects of rainfall fluctuations on declining Zagros Forests in Ilam and Lorestan provinces. *Iranian Journal of Forest*, 13(2), 141-154.
- [5] Attarod, P., Fathizadeh, O., Abbasian, P., Bayramzadeh, V., Holder, C., Tang, Q. & Beiranvand, S. (2024). How is climate change impacting net primary production and reference evapotranspiration in the Zagros region of western Iran?. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 22(3), 539-553.
- [6] Alizadeh, A. (2010). Principles of Applied Hydrology, Imam Reza University Press, 28th edition: p. 815.
- [7] Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M. & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660-684.
- [8] Azizi, M., Mohammadi, H. & Rezaei, A. (2018). Analysis of trends in dry periods in western Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(3), 567-579.
- [9] 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*, 94, 139-153.
- [10] Beiranvand, A., Attarod, P., Tavakoli, M. & Marvi Mohajer, M.R. (2015). Zagros forest ecosystem decline, causes, consequences, and remedies. *Forest and Rangeland Journal*, 106, 18-30.
- [11] Daşci, Y., Özkan, K. & Gülsoy, S. (2011). Seasonal changes of soil moisture in forest ecosystems: A case study in the Mediterranean region. *Journal of Environmental Biology*, 32(5), 567-572.
- [12] Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A.M.G., Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research* 19, 193-212.
- [13] Goodarzi, N., Zargaran, M.R., BanjShafiei, A. & Tavakoli, M. (2016). The effect of geographical directions and location on dispersion of Oak decline, Shurab forest area. Lorestan Province, Iran. *Forest Research and Development*, 2(3), 273-287.
- [14] General Department of Natural Resources and Watershed Management of Ilam Province (2014).

- [15] IPCC (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.
- [16] Jazireii, M.H. & Ebrahimi Rostaghi, M. (2003). Silviculture in Zagros. University of Tehran Press, Tehran, 560p. (In Persian).
- [17] Jafari, M.R., Hosseinzadeh, J., Pourhashemi, M., Norouzi, A.A., Mirakhorlou, Kh. and Mohammadpour, M., (2014). Identification and zoning of forest stands affected by oak decline using GIS & RS in Ilam Province. *Final Report of Research Project, Research Institute of Forests and Rangelands*, 48 p. (In Persian)
- [18] Hamzepour, M., Kiadeliri, H., & Bardbar, K. (2011). A preliminary investigation of the drying of Iranian oak trees (*Quercus brantii* Lindl.) in the Baram plain of Kazeroon, Fars province. *Scientific-Research Quarterly Journal of Forest and Spruce Research of Iran*, 19(2), 153-167.
- [19] Lotfi Nasab Asl, S., Dargahiyan, F., Gohardoust, A., Hatem Baharvand, A. & Razavi Zadeh, S. (2023). Analysis of drought status and Its relationship with climate change events (Case study: Oak decline sites in Sarableh, Ilam province). *Iranian Journal of Rangelands and Deserts*, 30(2), 335-354.
- [20] Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbat, B., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolstro, M., Manfred, J., Lexer, L. & Marchetti, M., (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259, 698-709.
- [21] 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.
- [22] Marvi Mohajer, M.R., (2011). Silviculture. Tehran University Press, third edition, 417 p. (In Persian).
- [23] Miner, B., (2004). Associated Dieback Strategy. *Forest Ecology and Management*, 214 (3-4), 24- 35.
- [24] Mousavi, S., Rahimi, M. & Alizadeh, A. (2020). Changes in drought patterns in western Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(3), 456-467.
- [25] Pourhashemi, M., Jahanbazi Gojani, H., Hosseinzadeh, J., Bardbar, S.K., Iranmanesh, Y. & Khodakarami, Y. (2017). The background of oak forests decline in Zagros. *Iranian Nature*, 2(1), 30-37.
- [26] Pourhashemi, M., Masoumi, A.A., Marvi Mohajer, M.R., Sagheb Talebi, K.H., Ghasriani, F., Azizkhani, E., Parhizkar, P., Hosseinzadeh, J., Bordbar, S.K., Jahanbazi Goujani, H., Tavakkoli, M., Khodakarami, Y., Ebrahimi Rostaghi, M., Pourmoghaddam, K. & Khanjanzadeh, M. (2017). Control of the decline of Zagros forests depends on the implementation of the action plan. *Journal of Iran Nature*, 2(2), 14-19.
- [27] Papalexiou, S.M. & Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes under global warming. *Water Resources Research*, 55(6), 4901-4914.
- [28] Ranjbar, A., Mohammadi, B. & Hosseini, S. (2020). Analysis of trends in dry periods in Ilam Province. *Journal of Climate Research*, 12(2), 45-60.
- [29] Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. & Pourhashemi, M., (2014). Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future. Springer, 152 p.
- [30] Sa'adi, Z., Shahid, S., Ismail, T., Chung, E.S. & Wang, X. J. (2019). Trends analysis of rainfall and rainfall extremes in Sarawak, Malaysia using modified Mann-Kendall test. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131(3), 263-277.
- [31] Zarrin, A. & Dadashi-Roudbari, A.A. (2021). Projected consecutive dry and wet days in Iran based on CMIP6 bias-corrected multi-model ensemble. *Journal of the Earth and Space Physics*, 47(3)11.
- [32] Zhang, X., Wang, S., Zhang, Y., Li, R. & Jiang, T. (2019). Changes in precipitation extremes over the dry and wet regions of China and their connections with global sea surface temperature. *Journal of Climate*, 32(12), 3723-3740.