

Investigation of spatial distribution and changes in temporal characteristics of winter season in the Lake Urmia basin

Nahaleh Bahrami¹ , Majid Montaseri^{2*} , Somayeh Hejabi³ 

¹ MSc in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

² Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

³ Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

Extended Abstract

Introduction

In climate studies based on astronomical methods, static temporal and spatial definitions of seasons are used. However, seasons change with time and space. Changes in the length and timing of seasons have major impacts on nature and human society. For example, shorter winters and reduced snow cover combined with an earlier onset of spring lead to earlier and weaker spring floods and increased river discharge in winter. Changes in climatic parameters, especially snowfall and snow storage, significantly affect the seasonal water balance and the precipitation-runoff process. Furthermore, these changes are predicted to continue in the future due to ongoing climate change. The large range of elevation changes in the Lake Urmia basin has caused the distribution of snow cover in the basin to be heterogeneous. Global warming caused by greenhouse gas emissions can affect the temporal and spatial distribution of snow cover in the Lake Urmia basin, both through changes in the timing and length of the winter season and through increased evapotranspiration, which has the largest contribution to controlling snow cover area. In this regard, this study aims to evaluate and compare the characteristics of the start, end, and length of the winter season in two recent 30-year periods (1964-1993 and 1994-2023) using a winter season definition method based on daily air temperature data. It is worth noting that the method used is based on the inclusion of spatial heterogeneity of winter season characteristics and allows for the investigation of the relationship between winter season characteristics and altitude.

Materials and Methods

In this study, data from the ERA5-Land reanalysis database were used. Daily ERA5-land data were extracted by coding in Google Earth Engine for the Lake Urmia basin and for the two recent 30-year periods, including 1964-1993 and 1994-2023. To determine the winter season, instead of the calendar winter, a cell-based definition was used. In this method, winter was defined based on the 25th percentile of daily temperature (T_{25}) based on each of the two periods. With this method, a set of days with T_{25} less than zero degrees Celsius was defined as winter. Therefore, the beginning and end of the winter season were defined as the first and last day of the year with T_{25} less than zero degrees Celsius. The start and end of the winter season were reported in terms of the Julian day-number (starting from January 1), and the length of the winter season (in days) was calculated as the interval from the start to the end of the winter season. Next, the spatial distribution and changes in the day-number of the start, the day-number of the end, and the length of the winter season were compared for the two periods. Also, the correlation of the start, end, and length of the winter season with altitude was examined. For this purpose, global SRTM digital elevation model data with a spatial resolution of 30 meters was used. The elevation corresponding to the coordinates of each ERA5-land grid cell within the basin was extracted using ArcGIS software.

Results and Discussion

The percentage of cells with an increase in the day-number of the start of the winter (46.11%) is very close to the percentage of cells with a decrease (47.96%), and the average changes in cells with increasing or decreasing changes are, respectively, 7 and -7.5 days. The spatial distribution of the difference in the day-number of the start of winter is uniform across the basin and has a median of zero (meaning no change in the start of winter). Regarding the end of the winter, the differences in most cells (82.45%) are negative, and the average changes in the day-number of the end of the winter in cells with increasing or decreasing changes are, respectively, 7.5 and -15 days. In general, the day-number of the end of the winter has a median of -11 days, which indicates an earlier end of the winter in the second period (1994-2023). The length of the second period winter in most cells (73.92%) is shorter than the first period. The average change in winter length in cells with increasing or decreasing changes is -17.1 and -17.4 days, respectively. The median change in winter length is also similar to the end of winter, -11 days,

indicating a decrease in winter length in the second period. In both periods, the start, the end, and the length of winter show significant negative, positive, and positive correlations with altitude, respectively, and the slope of change is slightly steeper in the second period.

Conclusion

The spatial distribution of the start, end, and length of the winter season is non-uniform and follows the topography of the Lake Urmia basin, such that with increasing altitude, the start of the winter season occurs earlier and the end of the winter season occurs later. Therefore, the length of the winter season is longer at higher altitudes. The median change in the length of the winter season is -11 days, which indicates a decrease in the length of the winter season in the second period (1994-2023) compared to the first period (1964-1993). The sensitivity of the characteristics of the winter season to global warming is non-uniform across the basin, and the rate of change is greater at lower altitudes. As the trend of increasing air temperature continues, it is predicted that the decrease in the length of the winter season will be even more severe in the coming decades, because according to previous studies under climate change scenarios, the length of the winter season will decrease significantly and reach less than 2 months in the middle latitudes of the Northern Hemisphere. Since global warming can affect the temporal and spatial distribution of snow cover in the Lake Urmia basin, it is recommended to predict changes in winter characteristics in the Lake Urmia basin under climate change scenarios for future studies.

Keywords: Altitude, Climatic seasons, Spatial variations, Temperature threshold, Temperature 25th percentile.

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to Urmia University for the support that significantly contributed to the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Nahaleh Bahrami: Software/ statistical analysis, Interpretation of results, Writing - original draft preparation; **Majid Montaseri:** Supervision, Results control, Manuscript editing; **Somayeh Hejabi:** Conceptualization, Supervision, Interpretation of results, Manuscript editing and reviewing

*Corresponding Author, E-mail: m.montaseri@urmia.ac.ir

Citation: Bahrami, Nahaleh, Montaseri, Majid, Hejabi, Somayeh (2025) Investigation of spatial distribution and changes in temporal characteristics of winter season in the lake Urmia basin. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(2), 338-350. doi: 10.22098/mmws.2025.17238.1587

Received: 06 May 2025, Received in revised form: 07 June 2025, Accepted: 07 June 2025, Published online: 22 June 2025

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 2, pp. 338-350.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





بررسی توزیع مکانی و تغییرات مشخصه‌های زمانی فصل زمستان در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

نهاد بهرامی^۱، مجید منتصری^{۲*}، سمیه حاجابی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۲ استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۳ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

بررسی پاسخ مشخصه‌های زمانی فصل‌ها (از جمله شروع، پایان و طول فصل‌ها) به گرمایش جهانی به دلیل اثرات مهمی که بر فاز بارش، تولید رواناب و ذخیره رطوبت خاک دارد، از اهمیت زیادی در مطالعات بیلان آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه برخوردار است. در این مطالعه، بر اساس یک رهیافت مبتنی بر دما و با استفاده از داده‌های بازتحلیل روزانه دمای هوا ERA5-land به تعیین مشخصه‌های شروع، پایان و طول فصل زمستان برای دو دوره ۳۰ ساله اخیر (۱۹۹۳-۱۹۹۴ و ۲۰۲۳-۱۹۹۴) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداخته شد. در این رهیافت، ناهمگنی مکانی مشخصه‌های فصل زمستان لحاظ شد و ارتباط آن‌ها با ارتفاع بررسی شد. نتایج مطالعه نشان داد که شماره روز فصل زمستان در دو دوره تفاوتی نشان نمی‌دهند. اما، دوره ۲۰۲۳-۱۹۹۴ از نظر مشخصه پایان و طول فصل زمستان در اغلب نقاط حوضه آبریز، به‌ویژه در ارتفاعات پایین، با دوره ۱۹۹۳-۱۹۹۴ تفاوت دارد؛ به‌طوری‌که میانه پایان فصل زمستان برای دوره دوم در حدود ۱۱ روز زودتر از دوره اول رخ می‌دهد و به این ترتیب طول فصل زمستان در دوره دوم حدود ۱۱ روز کمتر از دوره اول است. در هر دو دوره، شروع فصل زمستان، پایان فصل زمستان و طول فصل زمستان به‌ترتیب، همبستگی معنی‌دار منفی، مثبت و مثبت با ارتفاع نشان می‌دهند و شیب تغییرات در مورد دوره دوم اندکی تندتر است که به دلیل تأثیرپذیری بیش‌تر ارتفاعات پایین‌تر از اثرات گرمایش جهانی است.

واژه‌های کلیدی: آستانه دمایی، ارتفاع، تغییرات مکانی، صدک ۲۵ دما، فصول اقلیمی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.montaseri@urmia.ac.ir

استناد: بهرامی، نهاد، منتصری، مجید، حاجابی، سمیه (۱۴۰۴). بررسی توزیع مکانی و تغییرات مشخصه‌های زمانی فصل زمستان در حوضه آبریز دریاچه

ارومیه. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۵(۲)، ۳۳۸-۳۵۰.

doi: 10.22098/mmws.2025.17238.1587

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۲، صفحه ۳۳۸ تا ۳۵۰.

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

گزارش ششم ارزیابی^۱ (AR6) هیات بین الدول تغییر اقلیم^۲ (IPCC) یک افزایش (۱/۲۰°C - ۰/۹۵) ۱/۰۹ درجه سانتی گراد در میانگین جهانی دمای هوای سطحی دهه اخیر (۲۰۲۰-۲۰۱۱) نسبت به ۱۹۰۰-۱۸۵۰ نشان می دهند. گرمایش جهانی در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) ادامه خواهد یافت و به ۱/۵°C می رسد. واکنش پیش نگرشی شده اقلیم به سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای سبب افزایش میانگین جهانی دمای هوا به میزان ۱/۴°C برای سناریوی انتشار خیلی کم (SSP1-1.9)، تا ۲/۷°C برای سناریوی انتشار متوسط (SSP2-4.5) و ۴/۴°C برای سناریوی انتشار خیلی زیاد (SSP5-8.5) می شود (IPCC, 2023). مطالعات Allahverdiipour et al. (2024) و Senatore et al. (2019) در مورد پیش نگرشی دمای هوا در آینده در ایران تحت سناریوهای مختلف نیز تاییدکننده این موضوع است. در مطالعات مرتبط با تغییر اقلیم، علاوه بر مطالعه تغییرات شاخص های مبتنی بر دما (مانند دمای میانگین، دمای کمینه، دمای بیشینه، تعداد روزهای یخبندان، تعداد روزهای گرم)، شناسایی تغییرات چرخه های فصلی (شروع، پایان و تداوم فصل ها) نیز بسیار اهمیت دارد.

فصل زمستان نجومی (یا تابستان نیمکره جنوبی) به عنوان دوره ای که از انقلاب زمستانی (۲۲ دسامبر) تا اعتدال بهاری (۲۱ مارس) طول می کشد، تعریف می شود. بهار در انقلاب تابستانی (۲۲ جون) تمام می شود و تابستان از انقلاب تابستانی تا اعتدال پاییزی (۲۳ سپتامبر) طول می کشد. بنابراین، به دلیل مدار غیردایره ای شکل زمین به دور خورشید، طول فصل های نجومی در تقویم میلادی بین ۸۹ تا ۹۳ روز تغییر می کند. اگرچه هندسی زمین-خورشید بر فصل ها تاثیر می گذارد، هیچ رابطه مستقیمی بین فصل های نجومی و تغییرات وضع هوا و دما وجود ندارد (Trenberth, 1983). در مطالعات اقلیمی مبتنی بر روش نجومی، از تعاریف ایستای زمانی و مکانی برای فصل ها استفاده می شود. با این وجود، فصل ها با زمان و مکان تغییر می کنند (Allen et al. 2016). Trenberth (1983) یک تعریف منطقی تر، به نام تعریف دمایی، ارائه نمود که در این روش فصل ها بر اساس چرخه سالانه دمای سطحی مشاهده شده تعریف می شوند. بر این اساس، در ایالات متحده آمریکا، هر فصل حدود ۲۰-۱۷ روز زودتر نسبت به تعریف نجومی آغاز می شود. فصل های تعریف شده مبتنی بر دما، نسبت به روش نجومی، به طور مشخصی همبستگی نزدیک تری با تغییرات وضع هوا دارد. در مطالعه دیگری، (Alpert et al. 2004) یک تعریف جدید مبتنی بر طبقه بندی سینوپتیک را برای تعریف فصل ها ارائه نمودند. در این روش از توزیع زمانی سامانه های سینوپتیک طبقه بندی شده روزانه برای تعریف شروع، پایان و تداوم فصل بارانی سرد و تداوم فصل خشک گرم استفاده شد. در برخی مطالعات، تعریف فصول مبتنی بر آستانه دمایی ثابتی نبوده و از نظر مکانی تغییر می کند. برای نمونه، (Allen et al. 2016) با استفاده از سنجه های مبتنی بر صدک ۲۵-ام و صدک ۷۵-ام دمای روزانه هر یک از ایستگاه های مورد مطالعه، که بیانگر سردترین و گرم ترین ربع سال هستند، به تعریف فصل زمستان و تابستان در ایالات متحده پرداختند. چنین رهیافتی برای مطالعه مناطق وسیعی که به دلایلی مانند محدوده وسیع در راستای عرض جغرافیایی، ناهمگنی زیاد از نظر ارتفاع و یا دوری و نزدیکی به پهنه های آبی، اقلیم های متنوعی دارند، مفیدتر است.

تغییر در طول و زمان رخداد فصل ها اثرات زیادی بر طبیعت و جامعه بشری دارد (Sparks and Menzel, 2002; Jennings and Magrath, 2009; Shephard and Aoyagi, 2009; Pishgar et al.,

2025). برای مثال، کوتاه شدن طول زمستان ها و کاهش پوشش برف در ترکیب با شروع زودتر بهار، منجر به سیلاب های بهاره زودتر و ضعیف تر و افزایش دبی رودخانه ها در زمستان می شود (Olsson et al., 2015). ذوب سریع تر برف سبب کاهش رطوبت خاک در ابتدای فصل تابستان می شود (Potopová et al., 2016). تغییر در شاخص های اقلیمی، به ویژه بارش برف و ذخیره برف، به طور قابل توجهی بر بیلان آب فصلی و فرایند بارش-رواناب تاثیرگذار هستند (Langhammer and Bernsteinová, 2020). علاوه بر این، پیش بینی می شود که این تغییرات در آینده به دلیل تغییرات بیش تر اقلیم ادامه می یابد (Jenicek et al., 2018). علی رغم این، پاسخ برف به افزایش دمای هوا اغلب مستقیم نیست و این مسئله سبب تغییرپذیری مکانی زیاد بین مناطق و ارتفاعات مختلف با اقلیم های مختلف می شود (Blahušáková et al., 2020). Dong et al. (2010) تغییرات فصلی در چین را با استفاده از داده های دمای روزانه ۶۱۲ ایستگاه هواشناسی (۱۹۵۱-۲۰۰۰) بررسی نمودند و نشان دادند که شروع تابستان تا ۵/۸ روز پیش افتاده است و زمستان تا ۱۱ روز کوتاه تر شده است. علاوه بر این، تفاوت های منطقه ای در میزان تغییرات مشاهده شد به طوری که شمال چین تغییرات معنی دارتری نسبت به جنوب نشان داد. Ault et al. (2011) یک پیش روی در زمان شروع فصل بهار به میزان ۱/۵ روز در هر دهه از ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵ نشان دادند. Allen et al. (2016) نشان دادند که از سال ۱۹۴۸ به بعد، پاییز و زمستان شروع دیرتر و بهار و تابستان شروع زودتر داشته اند. Hekmatzadeh et al. (2020) با استفاده از ۱۲ روش مبتنی بر آستانه دمایی غیرثابت، زمان فصل ها را در استان خوزستان تعیین و تغییرات زمانی و مکانی شروع و طول فصل ها را برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۶) بررسی نمودند. نتایج نشان داد که زمان رخداد فصل ها در جنوب و غرب استان تغییر کرده است اما چنین تغییراتی در مناطق کوهستانی روند معنی داری نشان ندادند. Ruosteenoja et al. (2020) تغییرات آینده در طول و زمان فصل ها را در شمال اروپا با استفاده از آستانه های دمایی صفر و ۱۰ درجه سانتی گراد و با استفاده از خروجی های ۲۳ مدل اقلیم جهانی فاز پنجم پروژه مقایسه متقابل مدل های اقلیمی^۳ (CMIP5) بررسی کردند. نتایج نشان داد که تحت سناریوی RCP4.5 در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰، میانگین طول فصل تابستان نسبت به دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰، نزدیک به ۳۰ روز افزایش می یابد و طول فصل زمستان ۳۰ تا ۶۰ روز کاهش می یابد و به ازای هر ۱°C گرمایش محلی، طول تابستان ها حدود ۱۰ روز افزایش و طول زمستان ها حدود ۲۴-۱۰ روز کاهش می یابد. همچنین، تعداد سال های بدون زمستان به طور قابل ملاحظه ای در کشورهای بالتیک و جنوب شبه جزیره اسکاندیناوی افزایش می یابد. Wang et al. (2021) بر اساس خروجی های ۲۱ مدل اقلیمی CMIP5 و ۱۶ مدل اقلیمی CMIP6 نشان دادند که طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۵۲، در عرض های جغرافیایی میانی نیمکره شمالی، طول تابستان ۹۵-۷۸ روز افزایش یافته است؛ در حالی که طول زمستان ۷۳ تا ۷۶ روز کاهش یافته است و تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوی بدبینانه پیش نگرشی شد که تابستان حدوداً به اندازه نیمی از سال طول می کشد اما زمستان به کم تر از ۲ ماه می رسد. Nazripouya et al. (2022) تغییرات زمانی و مکانی طول و تاریخ شروع فصل ها را در غرب ایران با استفاده از داده های روزانه دما در دوره ۲۰۱۵-۱۹۷۷ بررسی نمودند. نتایج یک پیش روی برای شروع فصل تابستان (تا ۲ روز در جنوب غرب و بین ۴ تا ۶ روز برای بخش های مرکزی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه) و یک تأخیر برای شروع فصل زمستان (تا ۲ روز) نشان داد. Aksu (2022) با استفاده از داده های

نشان داد. همچنین تحلیل سهم متغیرهای هواشناسی در تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه نشان داد که متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه و غلظت گاز CO₂ جو بیش‌ترین سهم را در تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل خواهند داشت. لذا می‌توان نتیجه گرفت که گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، هم از طریق تغییر زمان رخداد و طول فصل زمستان (ناشی از افزایش دما) و هم از طریق افزایش تبخیر و تعرق که بیش‌ترین سهم را در کنترل SCA دارد، می‌تواند بر توزیع زمانی و مکانی پوشش برف در حوضه آبریز دریاچه ارومیه تأثیرگذار باشد. در این راستا، هدف از این مطالعه ارزیابی و مقایسه مشخصه‌های شروع، پایان و طول فصل زمستان در دو دوره ۳۰ ساله، گذشته نزدیک و اخیر (۱۹۹۳-۱۹۶۴ و ۲۰۲۳-۱۹۹۴) با استفاده از یک روش تعریف فصل زمستان مبتنی بر داده‌های دمای روزانه هوا است. شایان ذکر است که روش به کار گرفته شده مبتنی بر شمول ناهمگنی مکانی مشخصه‌های فصل زمستان است و بررسی ارتباط بین مشخصه‌های فصل زمستان با ارتفاع (یک عامل مهم کنترل‌کننده اقلیم در حوضه) را میسر می‌سازد.

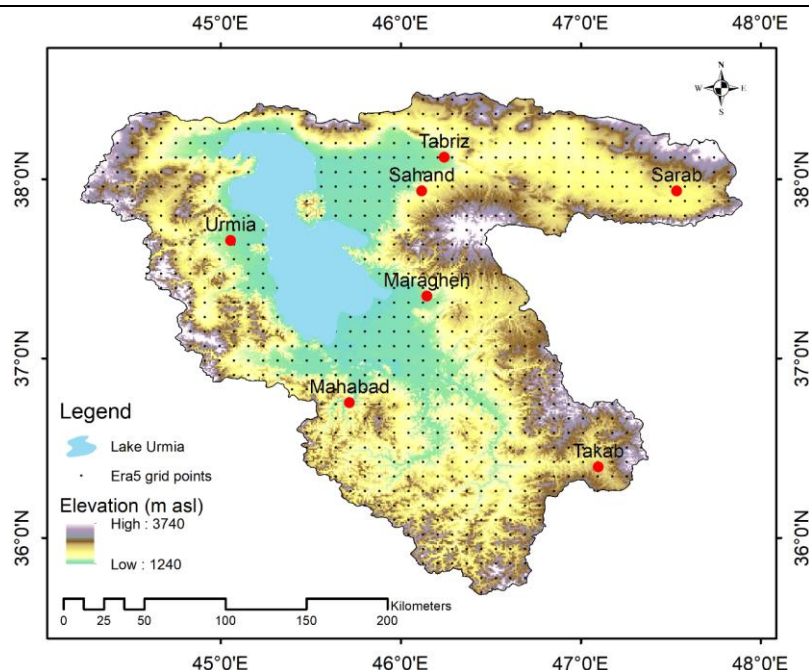
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

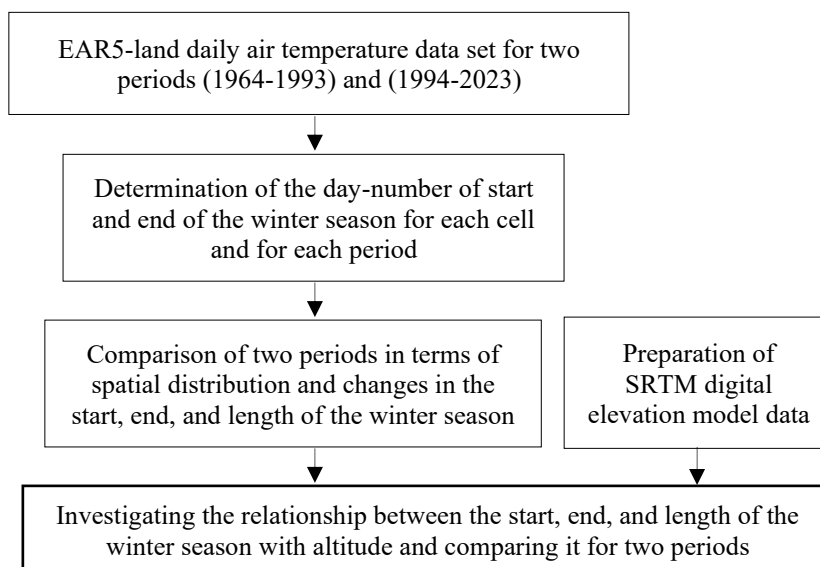
منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. این حوضه، با مساحت حدودی ۵۱۸۰۰ کیلومتر مربع و متوسط شیب ۳۰-۲۰ درجه در زیرحوضه‌های رودخانه‌های دائمی (Safari et al., 2024; Khademi Ghavni et al., 2024) و پتانسیل جریان سطحی سالانه ۳ تا ۶ میلیارد مترمکعب، با شمال رشته کوه‌های زاگرس و دامنه‌های جنوبی کوه سیلان و همچنین دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است و شامل بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان غربی (۴۶ درصد)، آذربایجان شرقی (۴۳ درصد) و کردستان (۱۱ درصد) است. این حوضه دارای اقلیم نیمه‌خشک است و میانگین بارش سالانه حوضه، بین ۴۰۰-۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه حوضه، ۱۲/۳ درجه سانتی‌گراد است (Alizadeh-Choobari et al., 2016). مشخصه اقلیمی حوضه، زمستان‌های سرد (با میانگین دمای ۰/۲ درجه سانتی‌گراد و ماه‌های ژانویه و فوریه به‌عنوان سردترین ماه‌ها) و تابستان‌های نسبتاً معتدل (با میانگین دمای ۲۲/۹ درجه سانتی‌گراد و جولای و آگوست به‌عنوان گرم‌ترین ماه‌ها) است (Alizadeh-Choobari et al., 2016). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. روندنمای اجرای پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است. جزئیات مربوطه، در ادامه شرح داده شده است.

دمای روزانه بدست آمده از ۶۵ ایستگاه هواشناسی، تغییرات مشخصه‌های فصل‌ها را در ترکیه از ۱۹۶۵ تا ۲۰۲۰ بررسی کرد. روند شروع فصل تابستان ۲/۱ روز در دهه تعیین شد در حالی که شروع فصل زمستان اغلب در جنوب شرقی آناتولی با نرخ ۱ تا ۲ روز در دهه شناسایی شد. Doostan and Alijani (2023) با استفاده از داده‌های دمای هوای یک دوره ۶۰ ساله (۱۹۵۹-۲۰۱۸) در ۳۲ ایستگاه سینوپتیک در گستره ایران بر اساس آستانه‌های دمایی ثابت صفر و ۲۰ درجه سانتی‌گراد به تعیین فصل‌ها پرداختند. یافته‌ها نشان داد که در مناطق مختلف، شروع بهار و تابستان زودتر و شروع پاییز و زمستان دیرتر رخ می‌دهد و طول فصول سرد کاهش و طول فصول گرم افزایش یافته است. با این وجود، به دلیل ناهمگنی ارتفاع و خصوصیات جغرافیایی در ایران، این تغییرات یکنواخت یا یکسان نیستند. Shi et al. (2023) تغییرپذیری شروع تابستان در شمال شرق آسیا را بر اساس مجموعه داده‌های بازتحلیل ERA5 برای سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۲۰ بررسی نمودند و آستانه دمایی ۱۷ درجه سانتی‌گراد، برای نشان دادن شروع تابستان در شمال شرق آسیا پیشنهاد شد. بر اساس آستانه دما، تغییرپذیری سال به سال زمان شروع تابستان در شمال شرق آسیا از اواخر ماه مه تا اواسط ژوئن مشخص شد. Khodamorad pour et al. (2025) اثرات تغییر اقلیم بر شروع، پایان و طول فصل رشد در ایران را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در اقلیم‌های سرد و معتدل، در سال‌های اخیر، شروع فصل رشد با نرخ ۱۴/۷ (روز بر دهه) زودتر رخ داده و طول فصل رشد با نرخ ۱۶ (روز بر دهه) افزایش یافته است و در اقلیم سرد پایان فصل رشد نیز با نرخ ۵ (روز بر دهه) با تأخیر رخ داده است.

حوضه آبریز دریاچه ارومیه یکی از شش حوضه آبریز اصلی ایران است که در شمال غربی ایران قرار دارد و محدوده ارتفاع در این حوضه از حدود ۱۲۶۵ متر در دشت‌های اطراف دریاچه ارومیه آغاز شده و به سمت مرزهای حوضه افزایش می‌یابد و تا ۳۶۴۷ متر می‌رسد. دامنه زیاد تغییرات ارتفاع در این حوضه سبب شده است که توزیع پوشش برف در حوضه ناهمگن باشد. Safari et al. (2024) با بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان دادند که سطح پوشش برف^۱ (SCA) تغییرات درون‌سالی زیادی را نشان می‌دهد و نقش تبخیر و همچنین تبخیر و تعرق پتانسیل در کاهش SCA بیش‌تر از نقش بارش در افزایش SCA است. Hejabi (2021) با استفاده از پیش‌نگری‌های ریزمقیاس‌نمایی شده دو مدل اقلیمی (مبتنی بر سناریوی RCP8.5 تحت پروژه آزمایش هماهنگ ریزمقیاس‌نمایی اقلیم منطقه‌ای^۲ (CORDEX) روند افزایشی معنی‌داری برای تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌ویژه در آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی حوضه آبریز دریاچه ارومیه و موقعیت نقاط شبکه ERA5-land
Figure 1- Geographical location and topography of the Lake Urmia basin and location of ERA5-land grid points



شکل ۲- روندنمای اجرای پژوهش
Figure 2 - Research implementation flowchart

با تفکیک مکانی بالا فراهم می‌کند. داده‌های بازتحلیل ERA5-Land، پاسخ مؤلفه مدل سطح خشکی مدل بازتحلیل اقلیمی ERA5 است که در مقایسه با ERA5 دارای تفکیک مکانی ریزتر (حدود ۹ کیلومتر) است. تفکیک زمانی و مکانی و همچنین دوره آماری ERA5-land آن را به پایگاه داده سودمندی برای کاربردهایی مانند پیش‌بینی سیلاب و خشکسالی تبدیل کرده است و در مطالعات متعددی در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است (Kouki et al., 2023; Singh and Mohanty, 2023; Ceppi et al., 2025). داده‌های روزانه دمای هوا ERA5-land از طریق کد نویسی در محیط Google

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه شامل داده‌های روزانه دمای هوا است. برای این منظور از داده‌های پایگاه داده بازتحلیل ERA5-Land (Balsamo et al., 2015) استفاده شد. داده‌های بازتحلیل، مشاهدات گذشته را با خروجی مدل‌ها ترکیب کرده تا سری زمانی متغیرهای اقلیمی را با دقت بیشتری تولید کند. این داده‌ها کاربردهای وسیعی در علوم ژئوفیزیک دارند و توصیف جامعی از اقلیم مشاهده شده در دهه‌های اخیر فراهم می‌کنند. داده‌های بازتحلیل ERA5-Land برای دوره ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۵ هستند. این پایگاه داده، اطلاعات ساعتی متغیرهای سطحی را

همچنین، همبستگی شروع، پایان و طول فصل زمستان با ارتفاع بررسی شد. برای این منظور، از داده‌های جهانی مدل رقومی ارتفاع (SRTM^۱) (Farr et al., 2007) با تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد. ارتفاع مناظر با مختصات هر یک از سلول‌های شبکه ERA5-land در محدوده حوضه آبریز دریاچه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS استخراج شد.

۳- نتایج

۳-۱- تغییرات شروع، پایان و طول فصل زمستان

شکل (۳) نقشه توزیع مکانی شماره روز شروع فصل زمستان، شماره روز پایان فصل زمستان و طول فصل زمستان را بر اساس روش مبتنی بر صدک ۲۵-ام دمای هوا برای دو دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ و ۲۰۲۳-۱۹۹۴ نشان می‌دهد. با توجه به شکل، توزیع مکانی شروع، پایان و طول فصل زمستان از توپوگرافی حوضه تبعیت می‌کند؛ به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع، شروع فصل زمستان زودتر و پایان فصل زمستان، دیرتر رخ می‌دهد. لذا طول فصل زمستان در ارتفاعات بیش‌تر است. در دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ شروع فصل زمستان سلول‌ها در محدوده شماره روز ۲۸۹ تا ۳۵۸ تغییر می‌کند. در حالی‌که در دوره ۲۰۲۳-۱۹۹۴ حدود تغییرات، با اختلاف کمی نسبت به دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ در محدوده ۲۹۵ تا ۳۵۸ تغییر می‌کند (شکل ۴). میانه شماره روز شروع فصل زمستان در دوره دوم (۳۲۴) نسبت به دوره اول (۳۲۸) چهار روز کم‌تر است. اگرچه مقایسه نمودارهای جعبه‌ای شروع فصل زمستان تفاوت قابل ملاحظه‌ای را برای دو دوره نشان نمی‌دهند، اما نقشه توزیع مکانی شروع فصل زمستان در دو دوره (شکل ۳a و ۳d) حاکی از حساسیت بیش‌تر ارتفاعات پایین‌تر به گرمایش جهانی است. مقایسه نقشه‌های توزیع مکانی شماره روز پایان فصل زمستان برای دو دوره (شکل ۳b و ۳e) حاکی از توزیع مکانی بسیار متفاوت است. حدود تغییرات پایان فصل زمستان دو دوره اول بین ۵۷ تا ۱۲۱ در ارتفاعات پایین تا ۱۲۱ در ارتفاعات بالا تغییر می‌کند در حالی‌که در مورد دوره دوم بین ۳۷ تا ۱۲۱ است. میانه پایان فصل زمستان نیز برای دوره دوم (۸۰) اختلافی در حدود ۱۲ روز با دوره اول (۹۲) نشان می‌دهد (شکل ۴) که بیانگر پایان زودتر فصل زمستان در دوره دوم است.

Earth Engine برای محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه و برای دو دوره ۳۰ ساله اخیر شامل ۱۹۹۳-۱۹۶۴ و ۲۰۲۳-۱۹۹۴ تهیه شد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی نقاط شبکه ERA5-land را در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد.

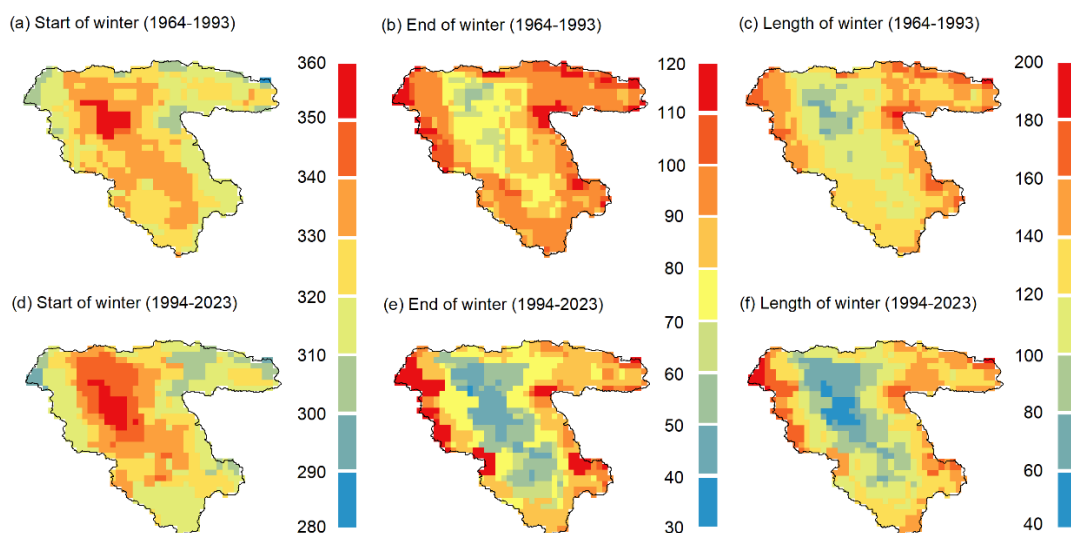
۳-۲- روش تعیین زمان شروع و پایان فصل زمستان

برای تعیین فصل زمستان، به جای زمستان تقویمی، از یک تعریف مبتنی بر سلول برای تعریف فصل زمستان استفاده شد. در این روش، زمستان بر اساس صدک ۲۵-ام دمای روزانه (T_{25}) مبتنی بر هر یک از دو دوره تعریف شد (Dierauer et al., 2019; Alam et al., 2023):

$$\text{if } T_{25} = CDF^{-1}(T_d) \leq 0 \quad d \text{ is winter} \quad (1)$$

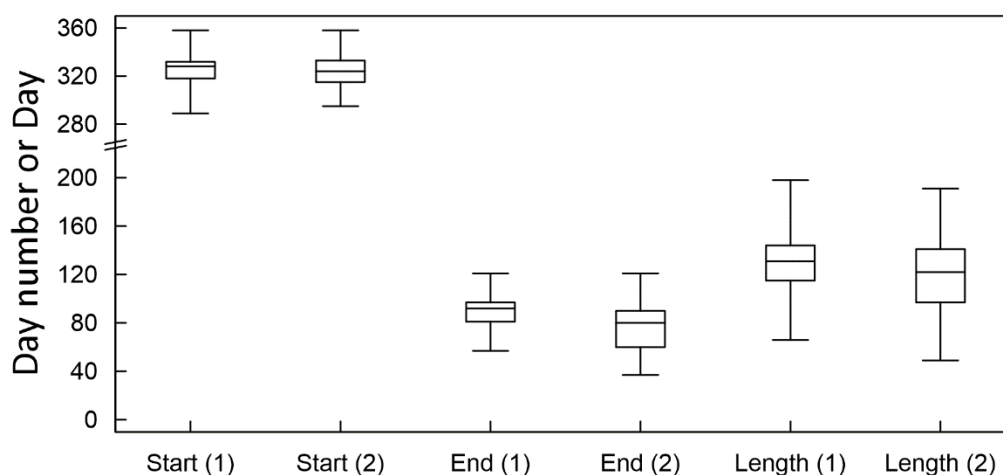
که در آن، T_{25} صدک ۲۵-ام دمای روزانه، CDF^{-1} معکوس تابع توزیع احتمال تجمعی تجربی، T دمای روزانه و d شماره روز است.

استفاده از معیار T_{25} ، مقایسه بهتری نسبت به تاریخ‌های تقویمی قراردادی فراهم می‌کند و از توصیه‌های Cannon (2005) مبنی بر تعریف فصول بر اساس داده‌های اقلیمی تبعیت می‌کند. با این روش، مجموعه‌ای از روزهایی که T_{25} کم‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد دارند، به‌عنوان زمستان تعریف شد. بنابراین شروع و پایان فصل زمستان به‌عنوان اولین و آخرین روزی از سال که با T_{25} کم‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد، تعریف شد. شروع و پایان فصل زمستان بر حسب شماره روز ژولینوسی (مبداء ۱ ژانویه) گزارش شد و طول فصل زمستان (بر حسب روز) به‌عنوان فاصله شروع تا پایان فصل زمستان محاسبه شد. از آنجا که تعریف فصل زمستان بر اساس سلول، مبتنی بر اقلیم مختص هر یک از سلول‌های شبکه ERA5-land در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه است، ناهمگنی مکانی مشخصه‌های فصل زمستان قابل بررسی است. لازم به ذکر است که چون در این روش، از کل داده‌های روزانه هر یک از دوره‌های ۳۰ ساله برای تعیین T_{25} استفاده می‌شود، تغییرات سال به سال مشخصه‌های فصل زمستان لحاظ نمی‌شود و برای هر سلول، مشخصه‌های فصل زمستان برای هر دوره ۳۰ ساله به‌طور جداگانه تعیین می‌شود و ناهمگنی مکانی آن‌ها در دو دوره مقایسه می‌شوند. در ادامه، توزیع مکانی و تغییرات شماره روز شروع، شماره روز پایان و طول فصل زمستان برای دو دوره مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ۳- نقشه توزیع مکانی شماره روز شروع فصل زمستان، شماره روز پایان فصل زمستان (با مبداء ۱ ژانویه) و طول فصل زمستان (بر حسب روز) در دو دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ و ۲۰۲۳-۱۹۹۴ در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

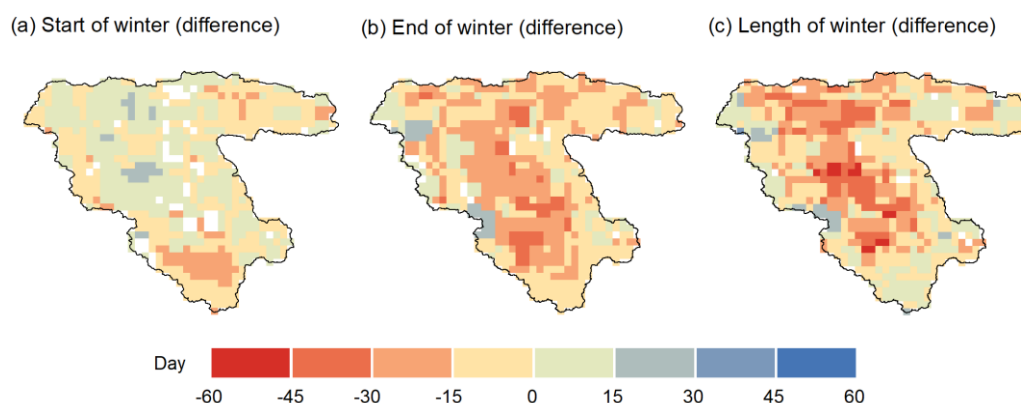
Figure 3- Spatial distribution map of the day-number of the start of the winter season, the day-number of the end of the winter season (with origin of January 1), and the length of the winter season (in days) in two periods of 1964-1993 and 1994-2023 in the Lake Urmia basin



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای شماره‌ی روز شروع فصل زمستان (Start)، شماره‌ی روز پایان فصل زمستان (End) و طول فصل زمستان (Length) سلول‌های ERA5-land در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه در (۱) دوره ۱۹۶۴-۱۹۹۳ و (۲) دوره ۱۹۹۴-۲۰۲۳
 Figure 4- Boxplot of the day-number of the start of the winter season (Start), the day-number of the end of the winter season (End), and the length of the winter season (Length) of ERA5-land cells in the Lake Urmia basin in (1) the period 1964-1993 and (2) period 1994-2023

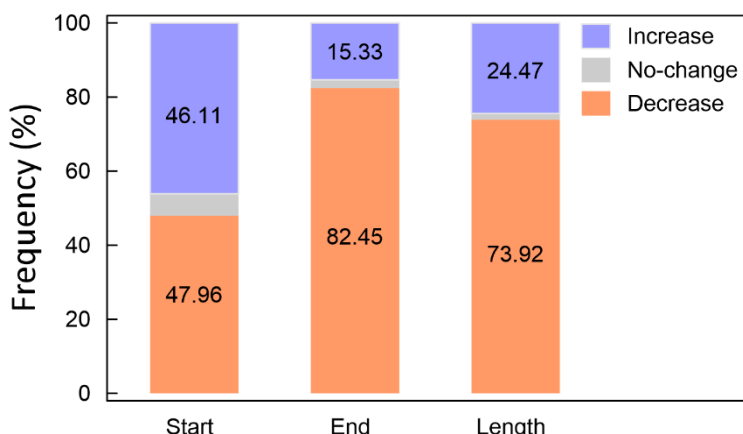
شکل ۵ نقشه توزیع مکانی اختلاف شماره‌ی روز شروع، پایان و طول فصل زمستان دوره دوم را با دوره اول نشان می‌دهد. اختلاف مثبت (منفی) در مورد شروع فصل زمستان، به معنای شروع دیرتر (زودتر) فصل زمستان است. به همین ترتیب، اختلاف مثبت (منفی) در مورد پایان فصل زمستان به معنای پایان دیرتر (زودتر) فصل زمستان است. بنابراین، اختلاف مثبت (منفی) در مورد طول فصل زمستان به معنای طولانی‌تر (کوتاه‌تر) شدن فصل زمستان است.

الگوی توزیع مکانی طول فصل زمستان در دوره اول یکنواخت‌تر است (حدود تغییرات ۶۶ تا ۱۹۸ روز) در حالی که در دوره دوم طول فصل زمستان بین ۴۹ تا ۱۹۱ روز تغییر می‌کند و میانه طول فصل زمستان در دوره دوم (۱۲۲ روز) حدود ۹ روز کمتر از دوره اول (۱۳۱ روز) است (شکل ۴). به‌طور کلی در مورد طول فصل زمستان نیز ارتفاعات پایین‌تر حساسیت بیشتری به گرمایش جهانی نشان می‌دهند.



شکل ۵- نقشه توزیع مکانی اختلاف شماره‌ی روز شروع فصل زمستان، شماره‌ی روز پایان فصل زمستان و طول فصل زمستان (بر حسب روز) بین دو دوره ۱۹۶۴-۱۹۹۳ و ۱۹۹۴-۲۰۲۳ در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. اختلافات صفر با رنگ سفید نشان داده شده‌اند.

Figure 5 - Spatial distribution map of the difference in the day-number of the start of the winter season, the day-number of the end of the winter season, and the length of the winter season (in days) between the two periods 1964-1993 and 1994-2023 in the Lake Urmia basin. Zero differences are shown in white.

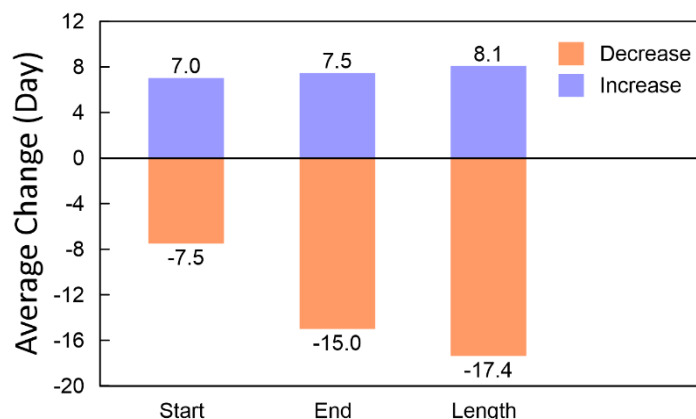


شکل ۶- درصد فراوانی سلول‌های دارای افزایش (Increase)، کاهش (Decrease) یا بدون تغییرات (No-change) در شماره روز شروع فصل زمستان (Start)، شماره روز پایان فصل زمستان (End) و طول فصل زمستان (Length) در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ۱۹۹۴-۲۰۲۳ نسبت به دوره ۱۹۶۴-۱۹۹۳

Figure 6- Percentage of the relative frequency of cells with an increase, decrease, or no change in the day-number of the start of the winter season (Start), the day-number of the end of the winter season (End), and the length of the winter season (Length) in the Lake Urmia basin in 1994-2023 compared to the period 1964-1993

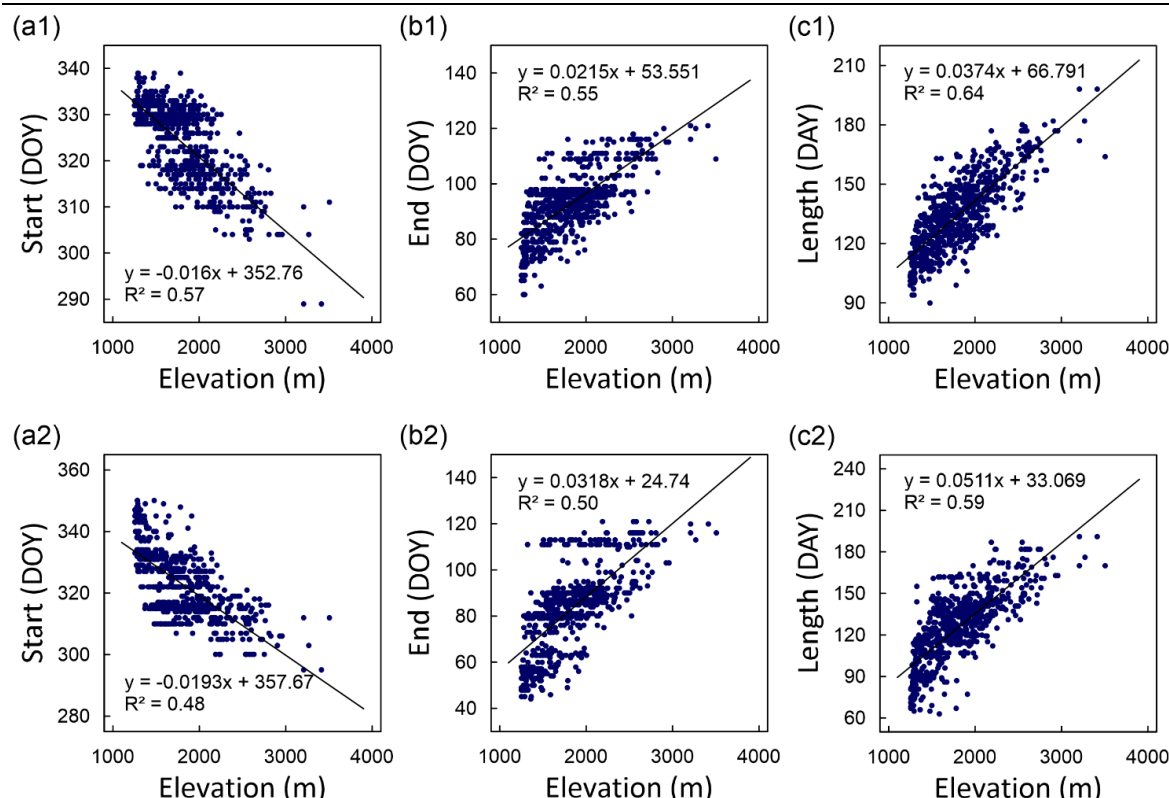
زودتر فصل زمستان در دوره دوم است. همچنین، با توجه به شکل (۷) میانگین تغییرات شماره روز پایان فصل زمستان در سلول‌های دارای تغییرات افزایشی و یا کاهشی به ترتیب، ۷/۵ و ۱۵- روز است. لذا، طول فصل زمستان دوره دوم نیز در اغلب سلول‌ها (۷۳/۹۲ درصد) نسبت به دوره اول کوتاه‌تر است به طوری که کاهش طول فصل زمستان در برخی سلول‌ها در ارتفاعات پایین تا ۵۵ روز می‌رسد. همچنین، با توجه به شکل (۷) میانگین تغییرات طول فصل زمستان در سلول‌های دارای تغییرات افزایشی و یا کاهشی به ترتیب، ۸/۱ و ۱۷/۴- روز است. میانه تغییرات طول فصل زمستان نیز مشابه پایان فصل زمستان، ۱۱- روز است که بیانگر کاهش طول فصل زمستان در دوره دوم است.

در مورد شروع فصل زمستان، حداکثر و حداقل اختلاف به ترتیب ۲۲ و ۲۱- روز است. توزیع مکانی اختلاف شماره روز شروع فصل زمستان، در سطح حوضه یکنواخت و با میانه صفر (به معنای عدم تغییر شروع فصل زمستان) است. با توجه به شکل (۶) نیز، درصد فراوانی سلول‌های دارای افزایش در شماره روز شروع فصل زمستان (۴۶/۱۱ درصد) بسیار نزدیک به درصد فراوانی سلول‌های دارای کاهش در شماره روز شروع فصل زمستان (۴۷/۹۶ درصد) است. همچنین، با توجه به شکل (۷) میانگین تغییرات شماره روز شروع فصل زمستان در سلول‌های دارای تغییرات افزایشی و یا کاهشی به ترتیب، ۷ و ۷/۵- روز است. در مورد پایان فصل زمستان، اختلافات در اغلب سلول‌ها (۸۲/۴۵ درصد) منفی و دارای میانه ۱۱- روز است که بیانگر پایان



شکل ۷- میانگین تغییرات شماره روز شروع فصل زمستان (Start)، شماره روز پایان فصل زمستان (End) و طول فصل زمستان (Length) برای سلول‌های دارای تغییرات افزایشی (Increase) یا کاهشی (Decrease) در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ۱۹۹۴-۲۰۲۳ نسبت به دوره ۱۹۶۴-۱۹۹۳

Figure 7- Average changes in the day-number of start of the winter season (Start), day-number of end of the winter season (End), and length of the winter season (Length) for cells with increasing or decreasing changes in the Lake Urmia basin in 1994-2023 compared to the period 1964-1993



شکل ۸- نمودار پراکنش شماره روز شروع فصل زمستان (a)، شماره روز پایان فصل زمستان (b) و طول فصل زمستان (c) سلول‌های ERA5-land در محدوده حوضه آبریز دریای ارومیه در برابر ارتفاع (Elevation) در (۱) دوره ۱۹۹۳-۱۹۶۴ و (۲) دوره ۲۰۲۳-۱۹۹۴

Figure 8- Scatter plot of the day-number of the start of the winter season (a), the day-number of the end of the winter season (b), and the length of the winter season (c) of ERA5-land cells in the Lake Urmia basin against elevation in the period (1) 1964-1993 and (2) 1994-2023

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه به مقایسه توزیع مکانی مشخصه‌های شروع، پایان و طول فصل زمستان در دو دوره ۳۰ ساله اخیر (۱۹۹۳-۱۹۶۴ و ۲۰۲۳-۱۹۹۴) در حوضه آبریز دریای ارومیه پرداخته شد. برای تعیین مشخصه‌های فصل زمستان با استفاده از داده‌های بازتحلیل روزانه دمای هوا ERA5-land از یک رهیافت مبتنی بر دما استفاده شد. شایان ذکر است که محدودیت اصلی این مطالعه نبود ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاعات و تراکم ناکافی ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه است. از سوی دیگر، استفاده از داده‌های جهانی مبتنی بر مدل همراه با عدم قطعیت‌های مدل بوده که این امر در مورد داده‌های ERA5-land به دلیل استفاده از مشاهدات ایستگاهی و ماهواره‌ای در ترکیب با مدل، عدم قطعیت کم‌تری دارد.

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که:

- توزیع مکانی شروع، پایان و طول فصل زمستان غیریکنواخت بوده و از توپوگرافی حوضه تبعیت می‌کند؛ به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع، شروع فصل زمستان زودتر و پایان فصل زمستان، دیرتر رخ می‌دهد. لذا طول فصل زمستان در ارتفاعات بیش‌تر است.
- درصد فراوانی سلول‌های دارای افزایش در شماره روز شروع فصل زمستان (۴۶/۱۱ درصد) بسیار نزدیک به درصد فراوانی سلول‌های دارای کاهش در شماره روز شروع فصل زمستان (۴۷/۹۶ درصد) است و میانگین تغییرات شماره روز شروع فصل زمستان در سلول‌های دارای تغییرات افزایشی و یا کاهشی به‌ترتیب، ۷ و -۷/۵ روز است. توزیع مکانی اختلاف شماره روز شروع فصل زمستان، در سطح حوضه یکنواخت و با میانه صفر (به معنای عدم تغییر شروع

۳-۲- رابطه شروع، پایان و طول فصل زمستان با ارتفاع

با توجه به اینکه نقشه‌های توزیع مکانی شروع، پایان و طول فصل زمستان از نقشه توپوگرافی تبعیت می‌کند، همبستگی خطی هر یک از مشخصه‌های مذکور با ارتفاع بررسی شد. شکل (۸) نمودارهای پراکنش مشخصه‌های مذکور با ارتفاع و رابطه رگرسیونی متناظر با خط رگرسیون برازش داده شده بر نقاط را برای دو دوره به تفکیک نشان می‌دهد. شیب خطوط رگرسیون، بیانگر میزان تغییرات هر یک از مشخصه‌های شروع، پایان و طول فصل زمستان به ازای ۱ متر افزایش ارتفاع است. در هر دو دوره، شروع فصل زمستان همبستگی منفی و معنی‌داری با ارتفاع نشان می‌دهد به‌طوری‌که در مورد دوره اول، به ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع، شروع فصل زمستان ۱/۶ روز زودتر رخ می‌دهد. شیب تغییرات در مورد دوره دوم اندکی تندتر است به‌طوری‌که به ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع فصل زمستان ۱/۹ روز زودتر رخ می‌دهد (شکل ۸a). پایان فصل زمستان با ارتفاع رابطه همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان می‌دهد به‌طوری‌که پایان فصل زمستان در دوره اول و دوم، به ازای ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع، به‌ترتیب، ۲/۲ و ۳/۲ روز دیرتر رخ می‌دهد (شکل ۸b). به این ترتیب، طول فصل زمستان، به ازای ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع، در دوره اول ۳/۷ روز و در دوره دوم ۵/۱ روز افزایش می‌یابد (شکل ۸c). تندتر بودن شیب تغییرات در دوره دوم نسبت به دوره اول، به دلیل تأثیرپذیری بیش‌تر ارتفاعات پایین‌تر از اثرات گرمایش جهانی است که سبب تفاوت بیش‌تر مشخصه‌ها در مقایسه به ارتفاعات بالاتر در دوره دوم شده و در نتیجه در مقدار شیب نمود یافته است.

آبریز دریاچه ارومیه تحت سناریوهای تغییر اقلیم برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود. نتایج این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت جریان‌های رودخانه‌ای و کنترل سیلاب مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

از حمایت‌های معنوی دانشگاه ارومیه برای انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

نهایه بهرامی: انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، تفسیر نتایج، نگارش نسخه اولیه مقاله؛ مجید منتصری: راهنمایی، کنترل نتایج، بازبینی متن مقاله؛ سمیه حجابی: مفهوم‌سازی، راهنمایی، تفسیر نتایج، ویرایش و بازبینی مقاله

منابع

الله‌پوردی پور، پویا، قربانی، محمدعلی، و اسدی، اسماعیل (۱۴۰۳). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر طبقه‌بندی اقلیمی ایران، مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۴(۳)، ۹۵-۱۱۲. doi: 10.22098/mmws.2023.12755.1271
پیشگر، پریسا، حجابی، سمیه، منتصری، مجید (۱۴۰۴). اثرات توسعه شهرسازی بر فنولوژی گیاهان: تحلیل گرادیان شهری- روستایی در شهر ارومیه. هواشناسی کشاورزی [در حال نشر]. doi: 10.22125/agmj.2025.505988.1180
حجابی، سمیه (۱۳۹۹). برآورد تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از پیش‌نگری‌های پروژه CORDEX و بررسی سهم متغیرهای هواشناسی در تغییرات آن (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه). آبیاری و زهکشی/ایران، ۱۴(۶)، ۱۹۲۰-۱۹۳۸. doi: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.14.5

References

Aksu, H. (2022). A determination of season shifting across Turkey in the period 1965–2020. *International Journal of Climatology*, 42(16), 8232-8247. doi: 10.1002/joc.7705
Allahverdipour, P., Ghorbani, M. A. & Asadi, E. (2024). Evaluating the effects of climate change on the climatic classification in Iran. *Water and Soil Management and Modelling*, 4(3), 95-112. doi: 10.22098/mmws.2023.12755.1271. [In Persian]
Ault, T. R., Macalady, A. K., Pederson, G. T., Betancourt, J. L., & Schwartz, M. D. (2011). Northern Hemisphere modes of variability and the timing of spring in western North America. *Journal of climate*, 24(15), 4003-4014. doi: 10.1175/2011JCLI4069.1

فصل زمستان) است. (Nazripouya et al. (2022) یک تأخیر برای شروع فصل زمستان در غرب ایران (تا ۲ روز) در دوره ۲۰۱۵-۱۹۷۷ نشان دادند.

• در مورد پایان فصل زمستان، تفاوت‌ها در اغلب سلول‌ها (۸۲/۴۵ درصد) منفی است و میانگین تغییرات شماره روز پایان فصل زمستان در سلول‌های دارای تغییرات افزایشی و یا کاهش به ترتیب، ۷/۵ و ۱۵- روز است. به‌طور کلی شماره روز پایان فصل زمستان دارای میانه ۱۱- روز است که بیانگر پایان زودتر فصل زمستان در دوره دوم است.

• طول فصل زمستان دوره دوم در اغلب سلول‌ها (۷۳/۹۲ درصد) نسبت به دوره اول کوتاه‌تر است. میانگین تغییرات طول فصل زمستان در سلول‌های دارای تغییرات افزایشی و یا کاهش به ترتیب، ۸/۱ و ۱۷/۴- روز است. میانه تغییرات طول فصل زمستان نیز مشابه پایان فصل زمستان، ۱۱- روز است که بیانگر کاهش طول فصل زمستان در دوره دوم است. Doostan and Alijani (2023) نیز نشان دادند که در مناطق مختلف ایران، طول فصول سرد کاهش یافته است.

• حساسیت مشخصه‌های فصل زمستان به گرمایش جهانی در سطح حوضه غیریکنواخت بوده و میزان تغییرات در ارتفاعات پایین‌تر بیش‌تر است. Dong et al. (2010) نیز تفاوت‌های منطقه‌ای را در میزان تغییرات مشخصه‌های فصل زمستان نشان دادند. Hekmatzadeh et al. (2020) بیان نمودند که زمان رخداد فصول در مناطق کوهستانی تغییرات معنی‌داری نشان ندادند. Doostan and Alijani (2023) نیز نشان دادند که به‌دلیل ناهمگنی ارتفاع و خصوصیات جغرافیایی، تغییرات فصول یکنواخت یا یکسان نیستند.

• در هر دو دوره، شروع فصل زمستان، پایان فصل زمستان و طول فصل زمستان به‌ترتیب، همبستگی معنی‌دار منفی، مثبت و مثبت با ارتفاع نشان می‌دهند و شیب تغییرات در مورد دوره دوم اندکی تندتر است.

با ادامه روند افزایشی دمای هوا پیش‌بینی می‌شود که کاهش طول فصل زمستان در دهه‌های آینده شدیدتر نیز باشد چرا که با توجه به مطالعاتی مانند Ruosteenoja et al. (2020) و Wang et al. (2021) تحت سناریوهای تغییر اقلیم، طول فصل زمستان به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و در عرض‌های جغرافیایی میانی نیمکره شمالی به کم‌تر از ۲ ماه می‌رسد. از آنجا که گرمایش جهانی می‌تواند بر توزیع زمانی و مکانی پوشش برف در حوضه آبریز دریاچه ارومیه تأثیرگذار باشد، لذا، پیش‌نگری تغییرات مشخصه‌های فصل زمستان در حوضه

Alam, M. M., Mahtab, A. S. M., Ahmed, M. R., & Hassan, Q. K. (2023). A Percentile Method to Determine Cold Days and Spells in Bangladesh. *Applied Sciences*, 13(12), 7030. doi: 10.3390/app13127030
Alizadeh-Choobari, O., Ahmadi-Givi, F., Mirzaei, N., & Owlad, E. (2016). Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia. *International Journal of Climatology*, 36(13), 4276-4286. doi: 10.1002/joc.4630
Allen, M. J., & Sheridan, S. C. (2016). Evaluating changes in season length, onset, and end dates across the United States (1948-2012). *International Journal of Climatology*, 36(3). doi: 10.1002/joc.4422
Alpert, P., Osetinsky, I., Ziv, B., & Shafir, H. (2004). A new seasons definition based on classified

- daily synoptic systems: an example for the eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(8), 1013-1021. doi: 10.1002/joc.1037
- Balsamo, G., Albergel, C., Beljaars, A., Boussetta, S., Brun, E., Cloke, H., ... & Vitart, F. (2015). ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 389-407. doi: 10.5194/hess-19-389-2015
- Blahušiaková, A., Matoušková, M., Jenicek, M., Ledvinka, O., Kliment, Z., Podolinská, J., & Snopková, Z. (2020). Snow and climate trends and their impact on seasonal runoff and hydrological drought types in selected mountain catchments in Central Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 65(12), 2083-2096. doi: 10.1080/02626667.2020.1784900
- Cannon, A. J. (2005). Defining climatological seasons using radially constrained clustering. *Geophysical research letters*, 32(14). doi:10.1029/2005GL023410
- Ceppi, A., Achite, M., Toubal, A. K., & Caloiero, T. (2025). Mapping drought characteristics in northern Algerian Basins using the ERA5-Land dataset. *Scientific Reports*, 15(1), 10720. doi: 10.1038/s41598-025-95418-8
- Dierauer, J. R., Allen, D. M., & Whitfield, P. H. (2019). Snow drought risk and susceptibility in the western United States and southwestern Canada. *Water Resources Research*, 55(4), 3076-3091. doi: 10.1029/2018WR023229
- Dong, W., Jiang, Y., & Yang, S. (2010). Response of the starting dates and the lengths of seasons in Mainland China to global warming. *Climatic Change*, 99(1), 81-91. doi: 10.1007/s10584-009-9669-0
- Doostan, R., & Alijani, B. (2023). Evaluating the onset, end, and length of seasons in selected stations in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 151(1), 13-28. doi: 10.1007/s00704-022-04259-2
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., ... & Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2). doi:10.1029/2005RG000183
- Hejabi, S. (2021). Estimation of the Reference Evapotranspiration Using the Projections of CORDEX Project and Investigation of the Meteorological Variables Contribution in its Changes (Case Study: Lake Urmia Basin). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(6), 1920-1938. doi: 10.1001.1.20087942.2021.14.6.14.5 [In Persian]
- Hekmatzadeh, A. A., Kaboli, S., & Torabi Haghighi, A. (2020). New indices for assessing changes in seasons and in timing characteristics of air temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 1247-1261. doi: 10.1007/s00704-020-03156-w
- IPCC (2023) Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- Jenicek, M., Seibert, J., & Staudinger, M. (2018). Modeling of future changes in seasonal snowpack and impacts on summer low flows in alpine catchments. *Water Resources Research*, 54(1), 538-556. doi: 10.1002/2017WR021648
- Jennings, S., & Magrath, J. (2009). What happened to the seasons. In Conference on Seasonality, Future Agriculture Consortium International. IDS Sussex, UK. <https://www.future-agricultures.org/wp-content/uploads/pdf-archive/Jennings%202009%20-%20What%20happened%20to%20the%20seasons.pdf>
- Khademi Ghavni, K., Hejabi, S., & Montaseri, M. (2024). Modeling the effects of irrigated agricultural development on the hydroclimate of the Lake Urmia Basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(9), 9099-9114. doi: 10.1007/s00704-024-05178-0
- Khodamorad Pour, M., Hessami, N., & Varshavian, V. (2025). From Dry to Temperate: How Climate Change Alters Growing Seasons? *International Journal of Climatology*, e8752. doi: 10.1002/joc.8752
- Kouki, K., Luoju, K., & Riihelä, A. (2023). Evaluation of snow cover properties in ERA5 and ERA5-Land with several satellite-based datasets in the Northern Hemisphere in spring 1982–2018. *The Cryosphere Discussions*, 2023, 1-33. doi: 10.5194/tc-17-5007-2023
- Langhammer, J., & Bernsteinová, J. (2020). Which aspects of hydrological regime in mid-latitude montane basins are affected by climate change? *Water*, 12(8), 2279. doi: 10.3390/w12082279
- Nazripouya, H., Meshram, S. G., Bahramloo, R., Sepehri, M., Ali, S. A., Kushwaha, N. L., Kiani-Harchegani, M., & Rodrigo-Comino, J. (2022). Assessment of spatiotemporal changes of the length and starting date seasons in the west of Iran. *Acta Geophysica*, 70(6), 2813–2825. doi:10.1007/s11600-022-00929-7
- Pishgar, P., Hejabi, S., & Montaseri, M. (2025). Effects of Urban Development on Plant Phenology: Urban-Rural Gradient Analysis in Urmia City. *Journal of Agricultural Meteorology*, [In press] doi: 10.22125/agmj.2025.505988.1180 [In Persian]
- Potopová, V., Boroneanț, C., Možný, M., & Soukup, J. (2016). Driving role of snow cover on soil moisture and drought development during the growing season in the Czech Republic.

- International Journal of Climatology*, 36(11), 3741-3758. doi: 10.1002/joc.4588
- Ruosteenoja, K., Markkanen, T., & Räisänen, J. (2020). Thermal seasons in northern Europe in projected future climate. *International Journal of Climatology*, 40(10), 4444-4462. doi: 10.1002/joc.6466
- Safari, H., Montaseri, M., & Hejabi, S. (2024). Spatiotemporal changes in snow cover and their relationship with drought events in the Lake Urmia basin. *Hydrological Sciences Journal*, 69(1), 46-62. doi: 10.1080/02626667.2023.2276737
- Senatore, A., Hejabi, S., Mendicino, G., Bazrafshan, J., & Irannejad, P. (2019). Climate conditions and drought assessment with the Palmer Drought Severity Index in Iran: evaluation of CORDEX South Asia climate projections (2070–2099). *Climate dynamics*, 52, 865-891. doi: 10.1007/s00382-018-4171-x
- Shephard, R. J., & Aoyagi, Y. (2009). Seasonal variations in physical activity and implications for human health. *European journal of applied physiology*, 107, 251-271. doi: 10.1007/s00421-009-1127-1
- Shi, C., Lin, Z., Lian, Y., Li, S., Yang, X., Shen, B., Su, L., & Liu, G. (2023). Summer onset in northern East Asia: Feature, mechanism and variability. *Atmosphere*, 14(1), 187. doi: 10.3390/atmos14010187
- Singh, H., & Mohanty, M. P. (2023). Can atmospheric reanalysis datasets reproduce flood inundation at regional scales? A systematic analysis with ERA5 over Mahanadi River Basin, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(10), 1143. doi: 10.1007/s10661-023-11798-2
- Sparks, T. H., & Menzel, A. (2002). Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(14), 1715-1725. doi: 10.1002/joc.821
- Trenberth, K. E. (1983). What are the seasons? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64(11), 1276-1282. doi: 10.1175/1520-0477(1983)064<1276: WATS>2.0.CO;2
- Wang, J., Guan, Y., Wu, L., Guan, X., Cai, W., Huang, J., Dong, W., & Zhang, B. (2021). Changing lengths of the four seasons by global warming. *Geophysical Research Letters*, 48(6), e2020GL091753. doi: 10.1029/2020GL091753