Hakim Sabzevari University

Arid Regions Geographic Studies

Homepage: jargs.hsu.ac.ir

P- ISSN: 2228-7167
E- ISSN: 2981-1910

The Impact of Climate Change on Winter Tourism in the Zayandehrood Basin

Fatemeh Bashirian[1] | Dariush Rahimi[2] | Mehrangiz Solimani[3]

1. Department of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran. f.bashirian@geo.ui.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran. d.rahimi@geo.ui.ac.ir
3. Department of Geography, Payame Noor University, Tehran,Iran. solimani@pnu.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 17
No: 63
P: 114-129
Received: 2025-06-07
Revised: 2026-02-08
Accepted: 2025-09-20
Published: 2026-05-01

Keywords:

- *Climate change*
- *Snow Depths*
- *Trend Analysis*
- *Ski tourism*

Cite this Article:

Bashirian, Fatemeh., Rahimi, Dariush. and Solimani, Mehrangiz. (2026). The Impact of Climate Change on Winter Tourism in the Zayandehrood Basin. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 17(63): 114-129.

Publisher: Hakim Sabzevari University

The Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

10.22034/jargs.2025.528801.1209

Abstract

Aim: Climate change significantly influences the tourism industry, a crucial sector for economic stability in various regions. The impacts of global warming are particularly pronounced in mountainous areas, where ski resorts are especially susceptible due to their reliance on snow indices. This study aims to examine the impact of climate change on snow depth at the Kouhrang ski resort, a key winter tourism destination in the Zayandeh Rood basin.

Materials & Methods: Annual data on temperature, precipitation, frost days, and snow depth from 1987 to 2023 were analyzed using Mann-Kendall, Pittet, T, correlation, and multivariate regression tests.

Finding: The findings indicate a 61 percent reduction in snow depth (Z=-2.25) since 2007. Additionally, the number of frost days has decreased by approximately 8 days (Z=-3.4), while the average temperature has risen by 1.2°C (Z=4.14). Multivariate tests confirmed the influence of rising temperatures and decreasing frost days on snow depth. Projections based on SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios suggest a continued upward trend in temperature, with coefficients of determination for annual average, minimum, and maximum temperatures exceeding 90, 86, and 73 percent, respectively. Based on the t-test, except for the estimated maximum temperature data in the SSP2-4.5 scenario, the results of other climatic elements are not significant.

Conclusion: The current trend of increasing temperatures in the region is likely to persist. Given the ongoing rise in temperatures and decline in frost days, this challenge poses a threat to the environmental and economic aspects of winter tourism in the region.

Innovation: To date, no research has been undertaken to investigate the temporal variations in the snow depth index at the Kouhrang ski resort and the influence of climate change on this parameter. Such data are essential for enhancing the management and strategic planning of the resort.

Extended Abstract

1. Introduction

Climate change represents a significant challenge of the 21st century, impacting both natural and human systems (IPCC, 2014). Economic sectors heavily reliant on natural resources face an increasingly uncertain future. Consequently, decision-makers bear the responsibility to evaluate the risks associated with climate change and implement measures to mitigate potential impacts, thereby fostering sustainable development (Steiger et al., 2020). Global temperatures have risen by 0.87°C relative to the 1850–1900 average, primarily due to anthropogenic greenhouse gas emissions. If current trends persist, global warming is projected to reach a threshold of +1.5°C between 2030 and 2052, surpassing the Paris Agreement's limit of +1.5°C (IPCC, 2018; Scott et al., 2021). Climate change in mountainous regions, characterized by delayed snowfall, elevated temperatures, and shorter winters, is anticipated to exert severe economic and social impacts, particularly on communities economically dependent on the winter tourism industry, which often have limited alternative livelihoods (Cholakova & Dogramadjieva, 2023). Skiing, as a winter activity, has experienced significant adverse effects from climate change globally. It has impacted both natural and human resources for tourism and has led to temporal and geographical shifts in demand patterns (Knowles & Scott, 2024). The popularity of recreational skiing has markedly increased since its inception in Europe in the mid-19th century. During the post-World War II economic expansion, characterized by abundant snowfall and a burgeoning global tourism market, the modern winter sports industry emerged in the 1960s and 1970s. Presently, the ski industry contributes approximately $50 billion to the United States economy and over $4 billion to the Canadian economy. However, climate change poses a serious threat to winter tourism and its economic contributions by disrupting weather patterns (Palter & Caraway, 2023). Climate change significantly influences the tourism industry, a crucial sector for economic stability in various regions. The impacts of global warming are particularly pronounced in mountainous areas, where ski resorts are especially susceptible due to their reliance on snow indices. This study aims to examine the impact of climate change on snow depth at the Kouhrang ski resort, a key winter tourism destination in the Zayandeh Rood basin.

2. Materials and Methods

The Kouhrang Ski Resort is located in Kouhrang County, Chaharmahal-Bakhtiari Province. Hydrologically, this resort is located within the Zayandeh Rood watershed . It was built as the second ski resort in the country in 1975, adjacent to the first Kouhrang Tunnel. The Kouhrang Ski Resort is approximately 800 meters long and has a slope of 20 percent. Heavy winter snowfall in the Zardkouh highlands, which often reaches more than 15 meters, has created permanent glaciers in this area, making it a suitable space for creating a desirable ski resort. Also, its proximity to population centers, easy access, and the presence of minimal infrastructure facilities such as a connecting road, accommodations, and hotels have added to its attractiveness. This resort is suitable for winter sports from December to the end of March. Annual data on temperature, precipitation, frost days, and snow depth from 1987 to 2023 were analyzed using Mann-Kendall, Pittet, T, correlation, and multivariate regression tests.

3. Results and Discussion

The findings indicate that, at a 95% significance level, snow depth has diminished by approximately 61% since 2007. The number of frost days has decreased by about eight days (Z = -3.4), and the average temperature has risen by 1.2°C (Z = 4.14). Multivariate tests confirmed the influence of snow depth on rising temperatures and the reduction of frost days. Snow depth is identified as the most critical climatic indicator impacting the operation of ski slopes and winter sports. According to the results of the Mann-Kendall and Pittet tests, the snow depth at the Kouhrang station has exhibited a significant decreasing trend from 2007 to the end of the study period (Z = -2.25), with snow depth in this area declining from 74.25 cm to 28.7 cm. The Pittet test results for this statistical period reveal that the number of frost days has decreased

from 126 to 118 days, indicating a significant reduction in snowfall potential in the region from 2008 to 2023. The analysis of temperature data based on the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios reveals an increasing trend. The coefficient of determination for the annual average, minimum, and maximum temperature variables exceeds 90%, 86%, and 73%, respectively, with the most substantial increase associated with minimum temperatures. Temperature is projected to rise between 0.7 and 1.6 °C from 2020 to 2040. According to the t-test, except for the maximum temperature data in the SSP2-4.5 scenario, the results for other climate elements are not statistically significant. A limitation of this study is the unavailability of climate data, such as snow depth, until 2025. Investigating the challenges posed by climate change affecting the Kouhrang ski resort, such as the shifting snowline, assessing its environmental impacts on snowbirds, and formulating appropriate adaptation policies, including the creation of artificial snow, evaluating the feasibility of diversifying other winter sports such as mountain biking and hiking, and relocating ski resort equipment to higher altitudes, are essential areas for further study in the region.

4. Conclusion

The current trend of increasing temperatures in the region is likely to persist. Given the ongoing rise in temperatures and decline in frost days, this challenge poses a threat to the environmental and economic aspects of winter tourism in the region. To date, no research has been undertaken to investigate the temporal variations in the snow depth index at the Kouhrang ski resort and the influence of climate change on this parameter. Such data are essential for enhancing the management and strategic planning of the resort.

5. Acknowledgment & Funding

Authors are thankful to all interview participants for supporting this research. The authors are grateful to the Iran Meteorological Organization and the Vice Chancellor for Research and Technology at the University of Isfahan.

6. Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper. The authors declare no conflict of interest.

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دانشگاه حکیم سبزواری

IAGRP

اثر تغییر اقلیم بر گردشگری زمستانی در حوضه زاینده‌رود

فاطمه بشیریان[۱]، داریوش رحیمی[۲]✉، مهرانگیز سلیمانی[۳]

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. f.bashirian@geo.ui.ac.ir

۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. d.rahimi@geo.ui.ac.ir

۳- گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. solimani@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره: ۱۷

دوره: ۶۳

صفحه: ۱۲۹-۱۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۱۱

کلیدواژه‌ها:

- تغییر اقلیم
- ارتفاع برف
- تحلیل روند
- گردشگری اسکی

نحوه ارجاع به این مقاله:

بشریان، فاطمه.، رحیمی، داریوش. و سلیمانی، مهرانگیز. (۱۴۰۵). اثر تغییر اقلیم بر گردشگری زمستانی در حوضه زاینده‌رود. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۷ (۶۳): ۱۱۴-۱۲۹.

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری

نویسندگان حق نشر و حقوق انتشار کامل را حفظ می‌کنند.

10.22034/jargs.2025.528801.1209

چکیده

هدف: تغییر اقلیم نقش مهمی درصنعت گردشگری به عنوان یکی از بخش‌های کلیدی در ایجاد ثبات اقتصادی یک منطقه دارد. پیست های اسکی به دلیل وابستگی به شاخص‌های برف در برابر تغییر اقلیم به شدت آسیب‌پذیر هستند. هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثر تغییر اقلیم بر ارتفاع برف در پیست اسکی کوهرنگ به عنوان قطب گردشگری زمستانی حوضه زاینده رود است.

روش و داده: روش مطالعه از نوع توصیفی و تحلیلی است. داده‌های میانگین سالانه دمای متوسط، کمینه و بیشینه، مجموع بارش سالانه، میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان و ضخامت برف در طول دوره آماری ۲۰۲۳-۱۹۸۷ و آزمون های من کندال، پیت، تی، همبستگی و رگرسیون چند متغیره استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد ارتفاع برف از سال ۲۰۰۷ به بعد حدود ۶۱ درصد کاهش (Z=-2.25) یافته است. تعداد روز یخبندان نیز حدود ۸ روز کاهش (Z=-3.4) و دمای میانگین ۱٫۲ درجه سلسیوس (Z=4.14) افزایش داشته‌اند. اثرپذیری ارتفاع برف از افزایش دما و کاهش روزهای یخبندان توسط آزمون‌های چند متغیره تأیید شد. نتایج آزمون داده‌های برآوردی دما بر اساس سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 حاکی از افزایش دما است. میزان ضریب تعیین در سه متغیر میانگین سالانه، کمینه و بیشینه به ترتیب بیش از ۹۰٫۸۶ و ۷۳ درصد است. دما در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۰ بین ۰٫۷ تا ۱٫۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. بر اساس آزمون تی، به جز داده‌های برآوردی دمای بیشینه در سناریو SSP2-4.5، نتایج برآورد سایر عناصر اقلیمی معنادار نیست.

نتیجه‌گیری: کاهش ارتفاع برف و توانمندی اقلیمی ریزش آن ناشی از گرمایش جهانی، چالشی جدی در توسعه گردشگری اسکی منطقه کوهرنگ است. روند افزایشی فعلی دما در سطح منطقه ادامه خواهد یافت. با توجه به تداوم روند افزایشی دما و کاهشی تعداد روزهای یخبندان در آینده، این چالش، شاخص‌های محیطی و اقتصادی گردشگری زمستانی در منطقه را تهدید می‌نماید.

نوآوری، کاربرد نتایج: تاکنون مطالعه‌ای جهت بررسی تغییرات زمانی شاخص ارتفاع برف پیست اسکی کوهرنگ و اثر تغییر اقلیم بر آن انجام نشده است. چنین اطلاعاتی، زمینه‌ای برای مدیریت و برنامه ریزی بهتر پیست فراهم می‌کند.

۱- مقدمه

تغییر اقلیم یک چالش بزرگ در قرن بیست و یکم است که بر سیستم‌های طبیعی و انسانی تأثیر می‌گذارد (IPCC,2014). بخش‌های اقتصادی که وابستگی بیشتری به منابع طبیعی دارند با آینده‌ای نامشخص‌تر روبه‌رو هستند. از این رو تصمیم‌گیرندگان موظفند خطرات تغییر اقلیم را ارزیابی کرده و در برابر تأثیرات احتمالی، اقداماتی را انجام دهند تا توسعه پایدار را تقویت کنند (Steiger et al., 2020). دمای کره زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی، ۰.۸۷ درجه سلسیوس نسبت به میانگین ۱۹۰۰-۱۸۵۰ افزایش یافته است. با نرخ فعلی، گرمایش جهانی بین سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۲ به آستانه بالاتری از حد تعیینی در توافق‌نامه اقلیمی پاریس، یعنی ۱.۵+ درجه سلسیوس، خواهد رسید (IPCC, 2018; Scott et al., 2021)

گردشگری یکی از بخش‌های کلیدی اقتصادی است که تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار دارد (IPCC, 2018). در بسیاری از مناطق جهان، گردشگری ستون مهمی برای ثبات اقتصادی است (Steiger et al., 2020). انتظار می‌رود که تغییرات اقلیمی در مناطق کوهستانی، از جمله بارش دیرهنگام برف، افزایش دمای هوا و کوتاه‌تر شدن فصل زمستان، پیامدهای اقتصادی و اجتماعی جدی‌تری نیز به همراه داشته باشد؛ زیرا بسیاری از جوامعی که از نظر اقتصادی به صنعت گردشگری زمستانی وابسته هستند، از گزینه‌های محدودتری برای تأمین معیشت و جایگزینی منابع درآمدی برخوردارند (Cholakova & Dogramadjieva, 2023).

ورزش اسکی از جمله فعالیت‌های زمستانی است که تغییر اقلیم اثرات مخربی در سراسر جهان برآن داشته است. منابع طبیعی و انسانی گردشگری را تحت تأثیر قرار داده و منجر به تغییرات زمانی و جغرافیایی در الگوهای تقاضا شده است (Knowles & Scott, 2024).

محبوبیت اسکی تفریحی از زمان آغاز این ورزش در اواسط قرن نوزدهم در اروپا تاکنون به طور قابل توجهی افزایش یافته است. طی رونق اقتصادی پس از جنگ جهانی دوم، بارش برف فراوان و بازار رو به رشد گردشگری جهانی، صنعت مدرن ورزش‌های زمستانی در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ شکل گرفت. امروزه، صنعت اسکی حدود ۵۰ میلیارد دلار به اقتصاد ایالات متحده و بیش از ۴ میلیارد دلار به اقتصاد کانادا کمک می‌کند. با این حال، تغییر اقلیم با ایجاد اختلال در الگوهای آب و هوایی، گردشگری زمستانی و اقتصاد آن را به شدت تهدید می‌کند (Palter & Caraway, 2023).

گردشگری زمستانی از اولین بازارهای گردشگری بود که به دلیل آسیب‌پذیری بالا از تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. اولین مطالعاتی که به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر گردشگری پرداختند، در اواخر دهه ۱۹۸۰ تا اواسط دهه ۱۹۹۰ انجام شدند (Willibald et al., 2021). پیش‌بینی‌های اقلیمی نشان‌دهنده کاهش قابل توجه برف فصلی در مناطق کوهستانی کم ارتفاع است (Morin et al., 2021). با فرض ثابت بودن دیگر عوامل مؤثر، قلمروهای فعلی ورزش‌های مرتبط با برف به قلمروهای ارتفاعی بالاتری (بالای ۲۰۰۰ متر) جابه‌جا خواهند شد. تفریحگاه‌های اسکی در ارتفاعات پایین‌تر دیر یا زود به دلیل فقدان برف بدون استفاده خواهند شد. به عبارت دیگر، تغییر اقلیم منجر به جابه‌جایی قلمروهای مساعد تفریح‌های زمستانی در مناطق کوهستانی مرتفع می‌شود (Norouzi et al., 2020). بررسی ارتفاع برف می‌تواند معیاری مناسب برای مطالعه اثر تغییر اقلیم در یک منطقه محسوب شود (Wu- Xin et al., 2023). بر اساس نتایج پژوهش نوری و همایی ارتفاع برف در نیمه غربی ایران در طول سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۸۷، روندی کاهشی را تجربه کرده است (Nouri & Homaei, 2021). نتایج بررسی تغییرات بارش برف به منظور برنامه‌ریزی گردشگری زمستانه در الوند کوه نشان داد ارتفاع برف در طول سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵، ۳۳ سانتی‌متر کاهش یافته است (Maryanaji & Abbasi, 2016). نتایج مطالعات رحیمی و داناپور نشان داد در سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۶، روند ارتفاع برف در ایستگاه کوهرنگ کاهشی بوده است. همچنین دماهای متوسط روزانه، خشک و تر در ساعت ۹ صبح بیشترین تأثیر را بر ارتفاع برف داشته‌اند (Rahimi & Danapour, 2012).

ظرفیت فیزیکی و اقلیمی استان چهار محال و بختیاری در بارش برف و طولانی بودن دوره فصل سرد سال منجر به ایجاد مناطق ویژه گردشگری زمستانی شده است (Abbasi et al., 2018). نتایج پژوهش کیانی سلمی و همکاران نشان داد حدود ۸۰۲٫۷۷ کیلومتر مربع (۴٫۹۳ درصد) از سطح استان چهارمحال و بختیاری پتانسیل احداث پیست اسکی را دارد که بخش وسیعی از آن در شهرستان کوهرنگ گسترده شده است (Kiani Salmi et al., 2018). ورزش‌های زمستانی از جمله ورزش اسکی در پیست اسکی کوهرنگ با ارتفاع بیش از ۲۴۰۰ متر یکی از جاذبه‌های گردشگری و محورهای توسعه در این استان است. بدیهی است که توسعهٔ صنعت گردشگری اسکی نیازمند انجام سرمایه‌گذاری و تأمین زیرساخت‌های لازم در این زمینه است. تغییر اقلیم، عدم اطمینان بزرگی

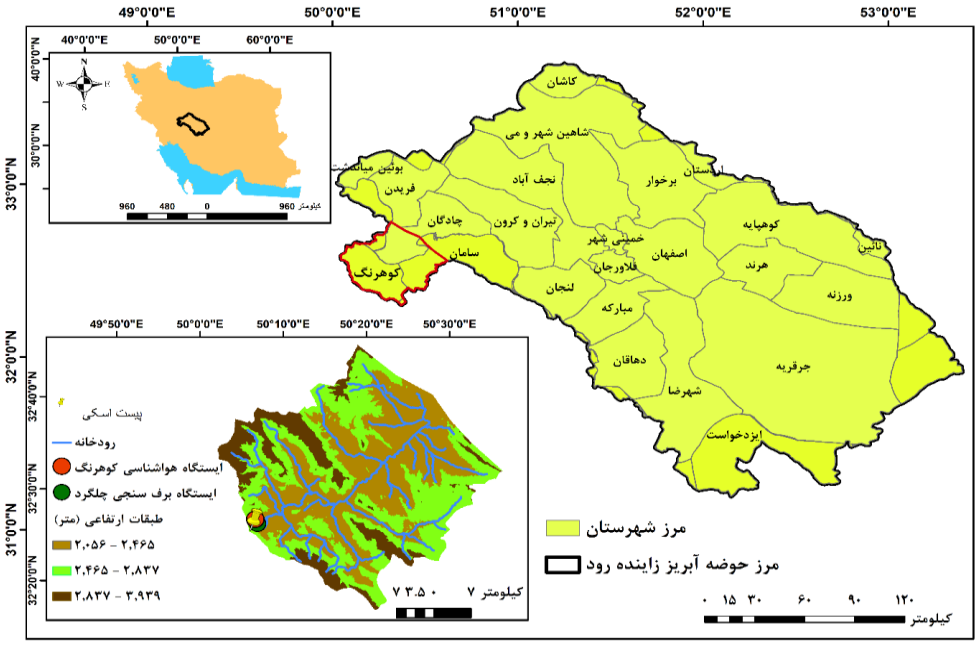
را بر بهره‌وری سرمایه‌گذاری آینده در این محور تحمیل کرده است. بنابراین نیاز به مطالعه اثرات تغییر اقلیم وجود دارد. چنین اطلاعاتی، برای استنباط پیش‌نگری‌های آینده گردشگری اسکی مفید خواهد بود و زمینه‌ای برای مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر پیست فراهم می‌کند. در این پژوهش جهت مطالعه اثر تغییر اقلیم بر پیست اسکی کوهرنگ، تغییرات زمانی شاخص ارتفاع برف بررسی می‌شود و در ادامه تلاش می‌گردد تا مهم‌ترین عنصر اقلیمی مؤثر بر این تغییرات تشخیص داده شود.

۲- مواد و روش

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

پیست اسکی کوهرنگ در شهرستان کوهرنگ استان چهار محال بختیاری واقع شده است. از نظر هیدرولوژیکی این پیست در محدوده حوضه آبریز زاینده‌رود قرار دارد (شکل ۱). به عنوان دومین پیست اسکی کشور در سال ۱۳۵۴ و در مجاورت تونل اول کوهرنگ احداث شده است. طول پیست اسکی کوهرنگ، تقریباً ۸۰۰ متر و شیب آن ۲۰ درصد است.

بارش برف زمستانی سنگین در ارتفاعات زردکوه که اغلب به بیش از ۱۵ متر می‌رسد، سبب ایجاد یخچال‌های دائمی در این منطقه شده و آن را به فضایی مناسب برای ایجاد یک پیست اسکی مطلوب بدل کرده است. همچنین، نزدیکی به مراکز جمعیتی، دسترسی آسان و وجود حداقل امکانات زیربنایی مانند جاده ارتباطی، اقامتگاه‌ها و هتل بر جذابیت آن افزوده است. این پیست از آذرماه تا پایان اسفند، جهت انجام ورزش‌های زمستانی مناسب است. علاوه بر آن ارتفاع مناسب برف در مناطق کوهستانی مانند غار یخی، چال میشان و ایلبیگ در نزدیکی پیست کوهرنگ شرایط مساعدی جهت اسکی روی برف در فصل تابستان را مهیا نموده است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۹).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی پیست اسکی کوهرنگ در حوضه آبریز زاینده‌رود

۲-۲- روش پژوهش

جهت ارزیابی تغییرات ارتفاع برف و اثرپذیری آن از داده‌های اقلیمی ایستگاه همدید کوهرنگ در دوره آماری ۲۰۲۳-۱۹۸۷ استفاده شده است. در این پژوهش، عناصر میانگین بیشینه و کمینه دمای سالانه، بارش سالانه، تعداد روز یخبندان و ارتفاع برف در مقیاس زمانی سالانه و داده‌های برآوردی تعداد روز یخبندان، دمای بیشینه و کمینه و بارش مدل‌های گزارش ششم تحت شرایط دو سناریوی SSp2-4.5 و SSp5-8.5 و دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۰ از تارنمای https://climateknowledgeportal.worldbank.org/ بارگیری شدند. این داده‌ها برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۱۴ بر اساس سناریوهای مختلف برآورد شده است و در مقیاس ۲۵*۲۵ کیلومتر در اختیار هستند.

روش مطالعه از نوع توصیفی و تحلیلی است. در این چارچوب ابتدا جهت آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری پیتت و من کندال نقاط چرخش و روند تغییر عناصر اقلیمی منطقه و ارتفاع برف در سطح اطمینان ۹۵٪ تعیین شد. در ادامه روند عناصر اقلیمی برآوردی تعداد روز یخبندان، دماهای کمینه و بیشینه و بارش سالانه منطقه کوهرنگ در دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۰ بر اساس مدل‌های گزارش ششم ارزیابی تغییر اقلیم، مطالعه شده است. در پایان اثرات تغییر اقلیم بر ارتفاع برف مورد واسنجی قرار گرفته است.

- **آزمون پیتت (P-Test)**

در این پژوهش، به منظور آشکارسازی نقاط چرخش تغییرات زمانی عناصر اقلیمی از آزمون ناپارامتری پیتت در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شده است (رابطه ۱) (Pettitt, 1979).

$$K_T max\left|U_{t,T}\right|, \quad U_{t,T}=\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=t+1}^{T} sgn\,(X_i - X_j) \qquad p \simeq 2\,exp\left(\frac{-6\,K_T^2}{T^3+T^2}\right) \qquad (۱)$$

نقاط چرخش: $U_{t,T}$. سطح اطمینان: KT

- **آزمون من-کندال**

روش من کندال ابتدا توسط (Mann, 1945) ارائه و سپس توسط (Kendall, 1970) بسط و توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده ها است.

اگر تعداد داده‌های سری زمانی در دوره مورد بررسی n باشد، ابتدا آماره S به شرح زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۲):

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n} sgn(x_j - x_k) \qquad (۲)$$

که n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت sgn نیز به صورت زیر قابل محاسبه است (روابط ۳ الی ۵):

$$sgn(x_j - x_k) = +1 \qquad \text{for } (x_j\text{-}x_k)>0 \qquad (۳)$$

$$\mathrm{sgn}(x_j - x_k) = 0 \qquad \text{for } (xj\text{-}xk)=0 \qquad (۴)$$

$$sgn(x_j - x_k) = -1 \qquad \text{for } (x_j\text{-}x_k)<0 \qquad (۵)$$

مرحله بعد محاسبه واریانس S توسط یکی از روابط زیر است (روابط ۶ و ۷):

$$\boldsymbol{Var(S)} = \frac{\boldsymbol{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{m} t(t-1)(2t+5)}}{\boldsymbol{18}} \qquad \text{for } n>10 \qquad (۶)$$

$$\boldsymbol{Var(S)} = \frac{\boldsymbol{n(n-1)(2n+5)}}{\boldsymbol{18}} \qquad \text{for } n<10 \qquad (۷)$$

که n و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک سری می‌باشد. در نهایت نیز آماره Z به کمک یکی از روابط زیر استخراج می‌شود (روابط ۸ الی ۱۰):

$$\boldsymbol{z} = \frac{\boldsymbol{S-1}}{\sqrt{\boldsymbol{Var(S)}}} \qquad \text{For } S>0 \qquad (۸)$$

$$Z = 0 \qquad \text{For } S=0 \qquad (۹)$$

$$z = \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \qquad \text{For } S<0 \qquad (۱۰)$$

با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد (رابطه ۱۱):

$$-Z_{\alpha/2} \le Z \le Z_{\alpha/2} \qquad (۱۱)$$

α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. معمولاً این آزمون برای سطح معنی‌داری ۹۵ درصد انجام می‌شود که در آن مقدار α برابر با ۰/۰۵ و Z برابر با ±۱/۹۶ است (Ansari et al., 2017).

- **آزمون تی**

به منظور سنجش معناداری عناصر اقلیمی برآوردی گزارش ششم هیئت بین الدول تغییر اقلیم از آزمون تی در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شده است. این آزمون به بررسی میانگین دو گروه می پردازد. به دلیل اینکه تعداد نمونه و واریانس دو گروه داده های برآوردی و مشاهداتی با یکدیگر برابر نبود از روش آزمون تی واریانس نابرابر استفاده شد (رابطه ۱۲) (Kalantari, 2009):

$$T - Value = \frac{mean1 - mean2}{\sqrt{\left(\frac{var1}{n1} + \frac{var2}{n2}\right)}} \quad (۱۲)$$

mean1, mean2 = مقدار میانگین هر گروه

var1, var2 = مقدار واریانس هر گروه

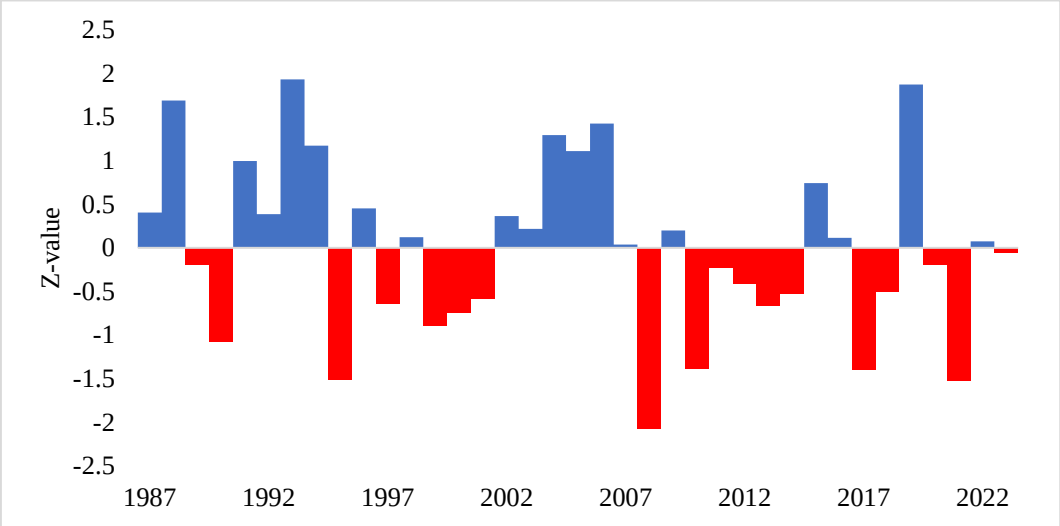
n1, n2 = تعداد نمونه های هر گروه

۳- یافته‌ها

۳-۱- مطالعه دوره پایه عناصر اقلیمی

۳- ۱- ۱- بارش سالانه

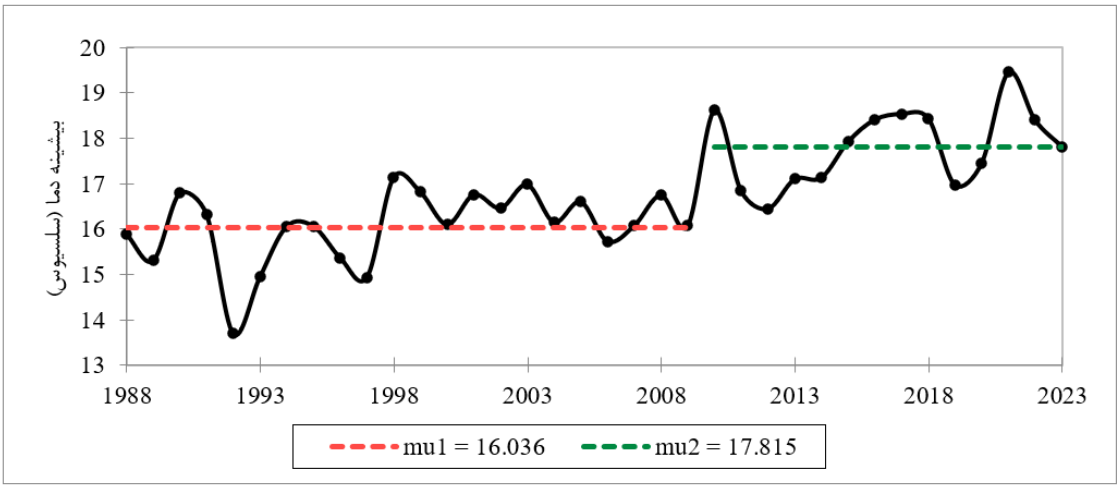
بر اساس آزمون من- کندال، بارش‌های ایستگاه کوهرنگ دارای روند معنادار نیستند (Z= -1.4). جهت بررسی ناهنجاری بارش سالانه از شاخص استاندارد شده بارش استفاده گردید. نتایج این آزمون نشان داد هرچند بارش ها فاقد روند معنی‌دار بوده؛ اما ناهنجاری نسبتاً بالایی دارند. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود؛ در طول دوره مورد مطالعه، تعداد سال‌های دارای ناهنجاری منفی بیشتر است. در دوره ۲۰۰۸-۲۰۱۴ ناهنجاری‌ها منفی بوده است که نشان‌دهنده تداوم خشکسالی‌ها است.



شکل ۲. ناهنجاری بارش‌های سالانه ایستگاه کوهرنگ (۲۰۲۳-۱۹۸۷)

۳- ۱- ۲- دما

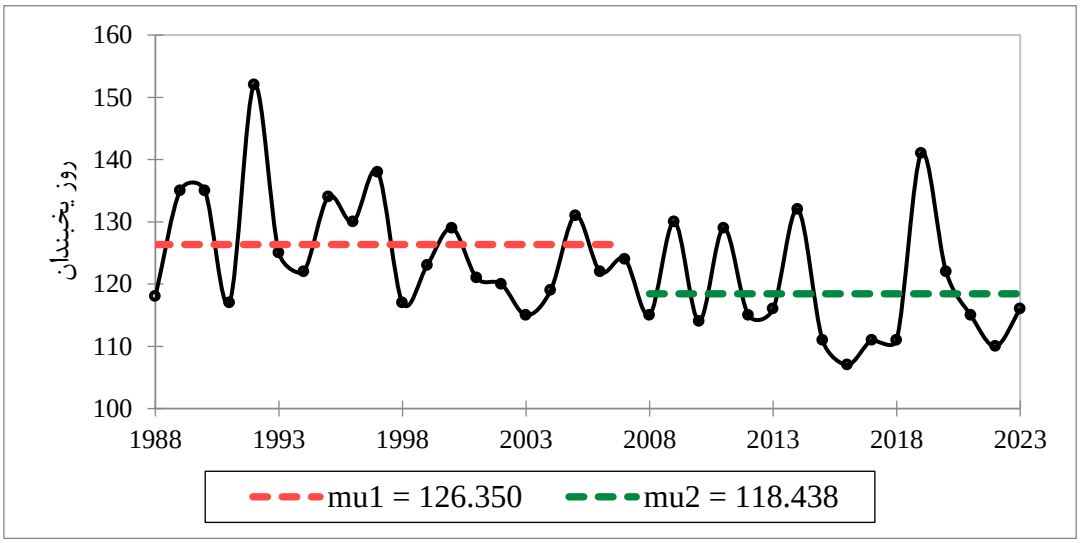
در بررسی تغییرات دما پنج شاخص میانگین دمای سالانه، میانگین کمینه و بیشینه دمای سالانه و کمینه و بیشینه مطلق دما توسط آزمون‌های من کندال و پیتت بررسی شد. یافته‌های آزمون من-کندال نشان داد میانگین کمینه دمای سالانه (Z=2.32) و بیشینه مطلق دما (Z=1.96) روند افزایشی معناداری را در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهند؛ اما در آزمون پیتت فاقد نقطه چرخش هستند. همچنین میانگین دمای سالانه (Z=4.14)، کمینه مطلق (Z=2.33) و میانگین بیشینه دمای سالانه (۴٫۸۶) هم دارای روند معنی‌دار افزایش و هم نقاط چرخش هستند. نتایج آزمون نشان داد کمینه دمای مطلق از سال ۲۰۰۸ و میانگین و بیشینه دما سالانه از ۲۰۰۹ به بعد افزایش یافته‌اند. میانگین دمای سالانه از ۹٫۴ به ۱۰٫۶، میانگین بیشینه از ۱۶ به ۱۷٫۸ و کمینه مطلق از ۲۵- به ۲۱٫۲- درجه سلسیوس افزایش یافته است (شکل ۳).



شکل ۳. نقاط چرخش سری زمانی میانگین سالانه شاخص های دما ایستگاه کوهرنگ (۲۰۲۳-۱۹۸۸)

۳- ۱- ۳- تعداد روزهای یخبندان

این شاخص اقلیمی نشان‌دهنده تعداد روزهایی است که دمای کمینه کمتر از صفر درجه سلسیوس است. اهمیت این شاخص علاوه بر این‌که تعداد روز یخبندان را نشان می‌دهد گویای شرایط مناسب برای ریزش برف است. نتایج آزمون من-کندال وجود روند کاهشی در تعداد روزهای با دمای کمینه کمتر از صفر را تأیید می‌کند (Z= -3.4). علاوه بر این، یافته‌های آزمون پیتت در این دوره آماری نشان می‌دهد تعداد این روزها از ۱۲۶ به ۱۱۸ روز کاهش یافته است. این بدان معنی است که پتانسیل شرایط اقلیمی ریزش برف منطقه کاهش معنی‌داری در دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۳ داشته است. لازم به ذکر است اگر چنانچه دوره آماری را بلندمدت در نظر بگیریم (۱۹۵۸-۲۰۲۳)؛ تعداد روزهای مذکور از ۱۴۳ روز به ۱۱۸ روز کاهش می‌یابد (شکل ۴).

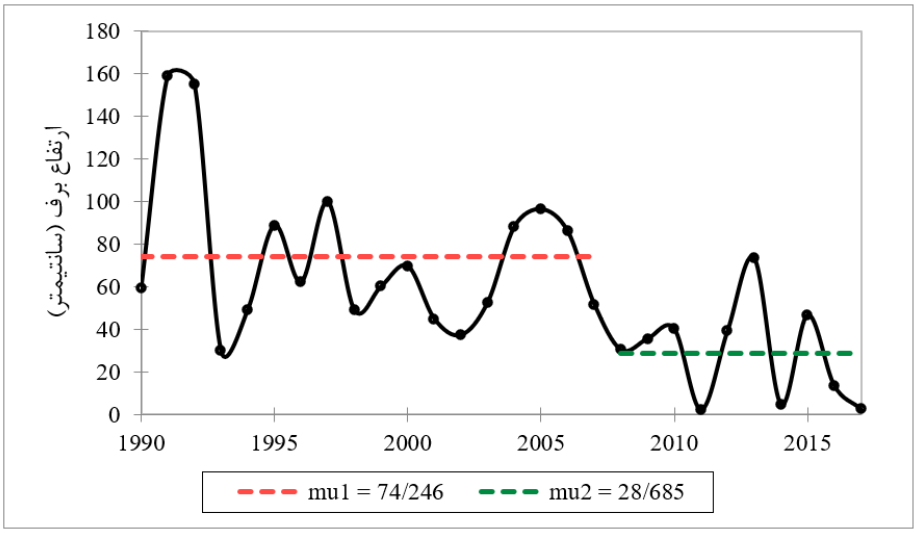


شکل ٤. نقاط چرخش سری زمانی میانگین تعداد روز یخبندان ایستگاه کوهرنگ (۲۰۲۳-۱۹۸۸)

۳- ۱- ٤- روند ارتفاع برف

ارتفاع برف مهم‌ترین شاخص اقلیمی مؤثر در فعالیت پیست‌های اسکی و ورزش‌های زمستانی محسوب می‌شود. نتایج آزمون (P-Test) ارتفاع برف ایستگاه کوهرنگ به عنوان ایستگاه شاخص جهت توان‌سنجی فعالیت‌های پیست اسکی نشان داد که ارتفاع برف از سال ۲۰۰۸ تا انتهای دوره روند کاهشی معنی‌داری داشته است. به نحوی که ارتفاع برف این منطقه از ۷۴٫۲۵ به ۲۸٫۷

سانتی‌متر کاهش یافته است (شکل ۵). به عبارتی ارتفاع برف حدود ۶۲٪ کاهش یافته است. این کاهش تأثیرات مخربی بر دوره فعالیت پیست اسکی، فعالیت‌های اقتصادی و ورزش‌های زمستانی داشته است.



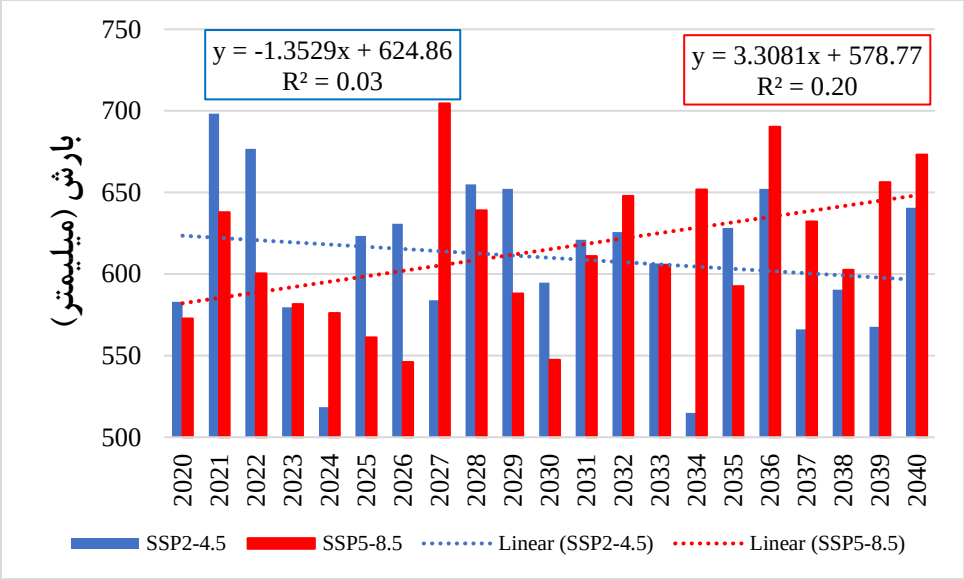
شکل ۵. نقاط چرخش سری زمانی میانگین ارتفاع برف ایستگاه کوهرنگ (۲۰۲۳-۱۹۸۸)

۳-۲- مطالعه وضعیت آینده عناصر اقلیمی

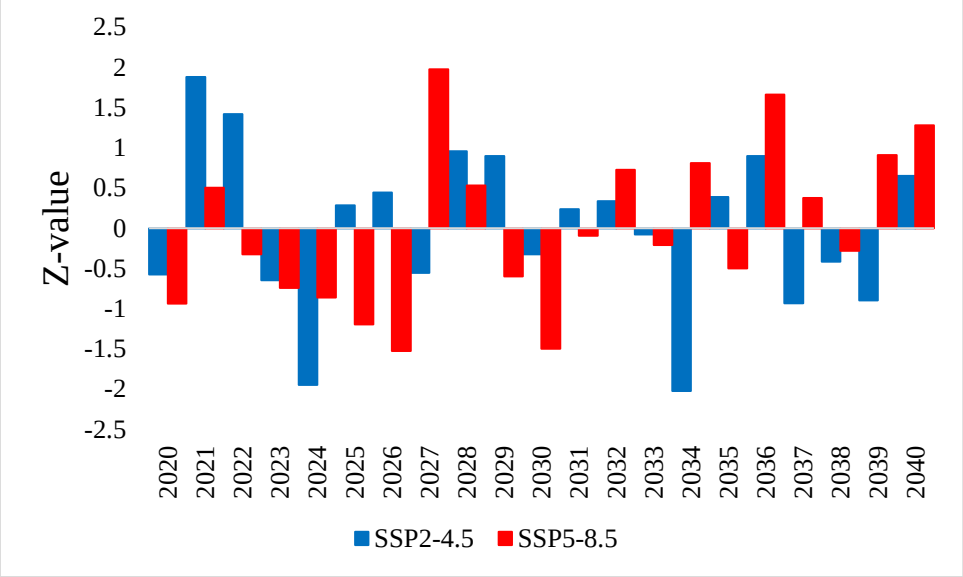
به منظور ارائه تصویری از وضعیت آینده متغیرهای اقلیمی مؤثر بر ارتفاع برف از داده‌های خروجی مدل‌های گزارش ششم ارزیابی استفاده گردید.

۳-۲-۱- بارش

بارش‌های برآوردی بر اساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، به دلیل تغییرپذیری و تنوع عوامل مؤثر بر آن دارای دقت پایین هستند. همان‌گونه که شکل ۶ نشان می‌دهد؛ میزان ضریب تعیین بارش سالانه ایستگاه کوهرنگ تا سال ۲۰۴۰، در سناریو واقع‌بینانه (SSP2-4.5) ۲۰٪ و در سناریو بدبینانه (SSP5-8.5) ۳ درصد است؛ بنابراین داده‌ها فاقد روند بوده و دارای نوسان‌های شدید هستند. بر اساس شکل ۷، بارش‌ها همچنان دارای محدودیت‌های فعلی و تداوم خشکسالی‌های شدید خواهند بود.



شکل ٦. تغییرات زمانی بارش‌های برآوردی ایستگاه کوهرنگ در دو سناریو گزارش ششم (۲۰۴۰-۲۰۲۰)



شکل ۷. ناهنجاری بارش‌های برآوردی ایستگاه کوهرنگ در دو سناریو گزارش ششم (۲۰٤۰-۲۰۲۰)

معنی‌داری بارش‌های برآوردی دوره آینده در سطح معناداری ۹۵٪ توسط آزمون تی بررسی شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود میزان خطا (P-value) در هر دو سناریو SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 بالاتر از ۰/۰۵ است. بنابراین فرض یک رد و فرض صفر مبنی بر عدم وجود اختلاف بین میانگین داده‌های برآوردی آینده و داده‌های مشاهداتی پذیرفته می‌شود. این موضوع به معنای عدم معناداری داده‌های بارش برآوردی ایستگاه کوهرنگ برای دوره آینده است.

جدول ۱. نتایج آزمون تی جهت سنجش معناداری داده‌های بارش برآوردی در دو سناریو گزارش ششم

	عدد تی (t Stat)	درجه آزادی (df)	میزان خطا (P-value)
SSP 2-4.5	۱۱/۱۷	۳۷	2.07E-13
SSP 5-8.5	۱۱/۴۸	۳۸	6.44E-14

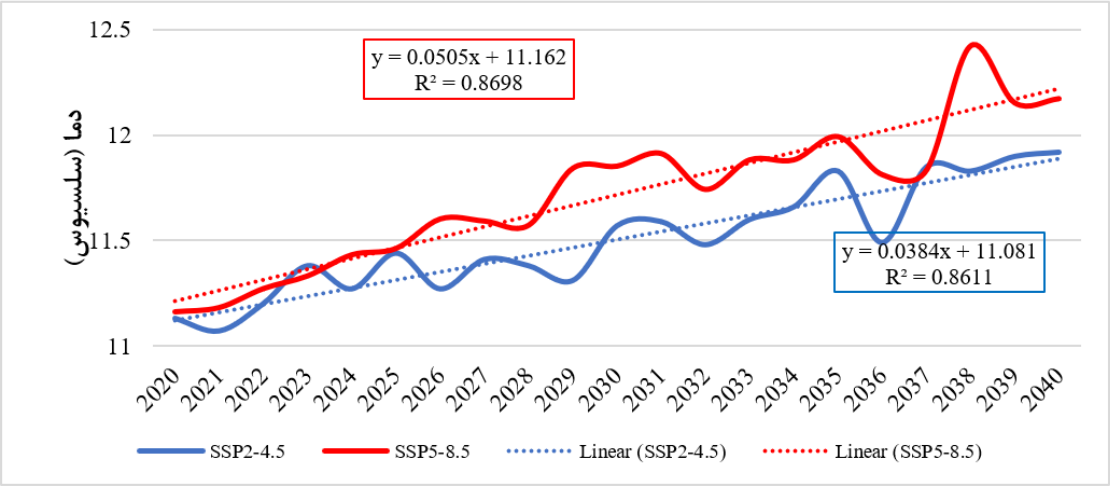
۳- ۲- ۲- دما

نتایج آزمون داده‌های برآوردی دما بر اساس سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 حاکی از روند افزایشی است. میزان ضریب تعیین در سه متغیر میانگین سالانه،کمینه و بیشینه دما به ترتیب بیش از ۹۰/۸۶ و ۷۳ درصد است. همچنین، بیشترین میزان افزایش مربوط به دماهای کمینه خواهد بود. دما در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۰ بین ۰.۰۳۵ تا ۰.۰۵۳ درجه سلسیوس به ازای هر سال افزایش خواهد یافت. بنابراین، روند افزایشی فعلی دما در سطح منطقه ادامه خواهد یافت (شکل ۸).

جدول (۲) نتایج آزمون تی برای داده‌های دماهای بیشینه، کمینه و میانگین برآوردی دوره آینده را نشان می‌دهد. به جز داده‌های دمای بیشینه سناریو SSP2-4.5 که معنی‌دار است، سایر موارد دارای خطای بالاتر از ۰/۰۵ هستند.

جدول ۲. نتایج آزمون تی جهت سنجش معناداری داده‌های دماهای بیشینه، کمینه و میانگین برآوردی در دو سناریو گزارش ششم

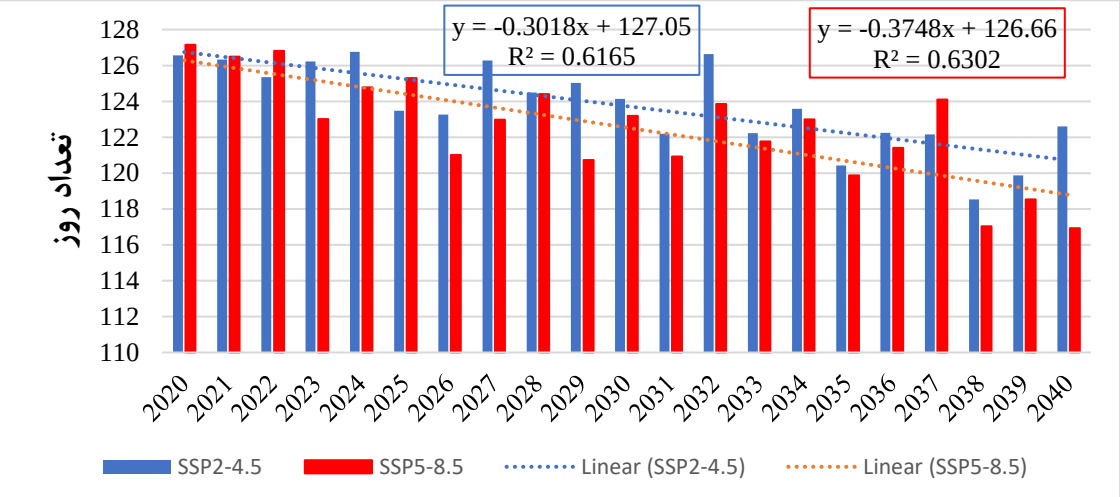
	عدد تی (t Stat)	درجه آزادی (df)	میزان خطا (P-value)
دمای بیشینه (SSP 2-4.5)	-۴.۲۷	۴۲	0.0001
دمای بیشینه (SSP 5-8.5)	-۵.۲۵	۴۵	3.98E-06
دمای کمینه (SSP 2-4.5)	-۱۸.۹۸	۵۰	1.67E-24
دمای کمینه (SSP 5-8.5)	-۱۸.۸۶	۵۵	1.1E-25
دمای میانگین (SSP 2-4.5)	-۱۰.۲۱	45	2.65E-13
دمای میانگین (SSP 5-8.5)	-۱۱.۰۷	50	4.6E-15



شکل ۸. تغییرات زمانی میانگین دما سالانه برآوردی ایستگاه کوهرنگ در دو سناریو گزارش ششم (۲۰۴۰-۲۰۲۰).

۳- ۲- ۳- روز یخبندان

بررسی تغییرات زمانی فراوانی روزهای با دمای کمینه کمتر از صفر درجه سلسیوس یا روز یخبندان وجود روند کاهشی در داده‌های تاریخی و مشاهداتی را نشان می‌دهد. داده‌های برآوردی دو سناریوی SSp2-4.5 و SSP5-8.5 نیز تأییدکننده تداوم کاهش این روزها است. میزان ضریب تعیین بین ۶۱ تا ۶۳ درصد است که به ازای هر سال حدود ۰/۳ تا ۰/۴ فراوانی روزهای یخبندان کاهش پیدا می‌کند (شکل ۹). بدین ترتیب تعداد روزهای با دماهای کمینه کمتر از صفر در هر دهه ۳ تا ۴ روز و در یک دوره ۲۰ ساله ۶ تا ۸ روز کمتر خواهند شد.



شکل ۹. تغییرات زمانی تعداد برآوردی روزهای یخبندان ایستگاه کوهرنگ در دو سناریو گزارش ششم (۲۰۴۰-۲۰۲۰)

مطابق جدول (۳)، سنجش معنی‌داری داده‌های برآوردی مربوط به تعداد روزهای یخبندان نشان می‌دهد که میزان خطا در هر دو سناریو SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 بالاتر از ۰/۰۵ است. این موضوع به معنای عدم وجود معناداری در داده‌های مربوطه است.

جدول ۳. نتایج آزمون تی جهت سنجش معناداری داده‌های برآوردی تعداد روزهای یخبندان در دو سناریو گزارش ششم

	عدد تی (t Stat)	درجه آزادی (df)	میزان خطا (P-value)
SSP 2-4.5	-۰.۲۶	۴۲	۰.۷۹
SSP 5-8.5	۰.۴۰	۴۵	۰.۶۸

۳- ۲- ٤- تغییر اقلیم و ارتفاع برف

به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر ارتفاع برف، میزان اثرگذاری و اثرپذیری متغیرها در طول دوره آماری (۲۰۱۷-۱۹۹۰) از طریق آزمون همبستگی مورد واکاویی قرار گرفت (جدول ۴). همانطور که مشاهده می‌شود ارتفاع برف بیشترین همبستگی را با عنصر دما به ویژه دمای بیشینه دارد. بدین ترتیب با افزایش دما، میزان ارتفاع برف کاهش می‌یابد؛ اما با افزایش بارش و خصوصاً تعداد روز یخبندان، ارتفاع برف نیز بیشتر می‌شود.

جدول ٤. ضرایب همبستگی متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه (۲۰۱۷-۱۹۹۰)

	دمای کمینه	دمای بیشینه	دمای میانگین	بارش سالانه	روز یخبندان	ارتفاع برف
ارتفاع برف	-۰.۶۲۴	-۰.۶۷۱	-۰.۶۷۰	۰.۳۶۲	۰.۶۱۶	۱

علاوه بر این، نتایج آزمون همبستگی چند متغیره نشان داد عناصر اقلیمی دمای کمینه، میانگین و بیشینه، بارش و روز یخبندان حدود ۶۰٪ از تغییرات ارتفاع برف را تبیین می‌نمایند (R^2= 0.592). جدول (۵) ضرایب مدل رگرسیون چند متغیره را نشان می‌دهد. با استفاده از مقادیر به دست آمده می‌توان میزان ارتفاع برف را در سطح خطای ۰/۰۵ برآورد کرد.

جدول ۵. ضرایب مدل رگرسیون چند متغیره عناصر اقلیمی جهت برآورد ارتفاع برف (۲۰۱۷-۱۹۹۰)

روز یخبندان	بارش سالانه	دمای میانگین	دمای بیشینه	دمای کمینه	عرض از مبدأ
۴.۴۱	۰.۰۸۹	۱۴۸۰.۴	-۷۶۲.۷	-۷۵۵.۱	**-٦۵.۹**

٤- نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم بر پیست اسکی کوهرنگ تأثیرگذار بوده است. میانگین دما طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳، ۱.۲ درجه سلسیوس افزایش و تعداد روز یخبندان ۸ روز کاهش یافته است. این تغییرات منجر به کاهش ۶۱ درصدی ارتفاع برف در طول دوره زمانی مورد مطالعه شده است. نتایج برآوردی از تغییر عناصر اقلیمی در آینده نشان می‌دهد که افزایش دما، کاهش تعداد روز یخبندان و وقوع خشکسالی‌های پی در پی ادامه خواهند داشت؛ بنابراین تداوم وضع موجود منجر به کاهش ارتفاع برف و ایجاد محدودیت بیشتر برای ورزش‌های زمستانی در پیست اسکی کوهرنگ خواهد شد.

یافته‌های این تحقیق در مورد اثر تغییر اقلیم بر کاهش ارتفاع برف با یافته‌های مورین و نیز رحیمی و داناپور (Morin, 2021; Rahimi & Danapour, 2012) همخوانی و مطابقت دارد. همچنین وجود روند کاهشی ارتفاع برف منطقه با نتایج یافته‌های نوروزی و همکاران، نوری و همائی و ویلیبالد و همکاران (Norouzi et al., 2020; Nouri & Homaei, 2021; Willibald et al., 2021) مقایسه گردید که دارای هماهنگی است.

با توجه به جایگاه پیست اسکی کوهرنگ در جذب گردشگران علاقمند به ورزش‌های زمستانی، کاهش ارتفاع برف مشکلات عمده‌ای ایجاد خواهد کرد. از جمله مهم‌ترین این چالش‌ها، کاهش راندمان بخش‌های اقتصادی خواهد بود. در واقع تغییر اقلیم کارایی سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های گردشگری مانند اقامتگاه‌ها، تجهیز پیست اسکی از نظر امکانات و بخش خدمات فعال شهرستان کوهرنگ را با مشکلات مهمی روبه‌رو خواهد کرد.

از جمله محدودیت‌های این پژوهش عدم دسترسی به داده‌های اقلیمی همچون ارتفاع برف تا سال ۲۰۲۵ است. بررسی چالش‌های ناشی از تغییر اقلیم مؤثر بر پیست اسکی کوهرنگ مانند جابه‌جایی برفمرز، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آن بر برف‌پوشان و تعیین سیاست‌های مناسب سازگاری با تغییر اقلیم مانند ایجاد برف مصنوعی، امکان‌سنجی تنوع‌بخشی به سایر ورزش‌های زمستانی مانند دوچرخه‌سواری کوهستان، پیاده‌روی، جابه‌جایی تجهیزات پیست اسکی به ارتفاعات بالاتر از جمله محورهای مطالعاتی ضروری در

منطقه هستند.

به همین منظور برای سنجش این مبحث دسترسی به فعالیت‌های مختلف در قالب فرمت رستر، تبدیل به فرمت شیپ فایل نقطه[1] و سپس آن‌ها با یکدیگر ادغام[2] گردیدند و بار دیگر به فرمت رستر تبدیل شدند. هدف از این عمل تغییر حالت همپوشانیِ رستر به حالت کنار هم قرارگیری ارزش‌های سلولی پهنه دسترسی اماکن بوده که برای تحلیل تنوع در تابع «آماره ناحیه‌ای»[3] قابل اجرا باشد. خروجی این مرحله، فایل رستری با ارزش‌های سلولی مختلف است که در آن مقادیر بالا، نشان‌دهنده، تنوع بیشتر است (شکل ۷).

افزایش دما و کمبود برف یک تهدید جدی برای گردشگری اسکی است که پیامدهای گسترده اقتصادی و اجتماعی در جوامع مناطق کوهستانی وابسته به گردشگری خواهد داشت. در این پژوهش، تلاش شد با درک بهتر تأثیر آب و هوای گذشته بر ارتفاع برف در چارچوب تغییر اقلیم، خطرات تغییر اقلیم بر ورزش اسکی ارزیابی شود.

نتایج نشان داد منطقه مورد مطالعه، کاملاً متأثر از پیامدهای تغییر اقلیم بوده است. ارتفاع برف در طول دوره آماری مورد مطالعه کاهش معناداری داشته است. به نحوی که از سال ۲۰۰۷ به بعد ۶۱ درصد کاهش یافته است. مهم‌ترین عنصر اقلیمی در این رخداد، دما بوده که از سال ۲۰۰۸ به بعد بیش از یک درجه افزایش یافته است. افزایش حدود ۱٫۲°C میانگین دما، ۱٫۸ °C میانگین بیشینه و ۳٫۸ درجه سلسیوس کمینه مطلق حاکی از گرمایش شدید اقلیمی منطقه در یک دوره ۲۶ ساله است. این افزایش بالاتر از نرخ میانگین جهانی اعلام شده توسط IPCC است که ۰٫۷۴ درجه سلسیوس به ازای هر صد سال است. شتاب افزایش دما در این منطقه در یک دوره ۲۶ ساله در مقایسه با رشد افزایشی دمای جهانی نشان‌دهنده جدی بودن و آسیب‌پذیر بودن این منطقه از تغییر اقلیم در مقایسه با سایر مناطق سیاره زمین است.

دومین عامل اثرگذار، کاهش شش درصدی تعداد روزهای یخبندان از سال ۲۰۰۷ به بعد بوده است. علاوه بر این، بارش‌ها روند معناداری نداشته‌اند؛ اما وجود خشکسالی‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ گویای محدودتر شدن توان محیطی ریزش برف در منطقه است.

بجز داده‌های دمای بیشینه سناریو SSP2-4.5، معناداری سایر عناصر اقلیمی برآوردی دوره آینده پذیرفته نشد؛ اما باید توجه داشت که شاید دقت پیش‌بینی داده‌های یک منطقه پایین باشد؛ اما تصویر کلی ارائه شده از چگونگی روندها در تحقیقات بسیار مهم است. بر اساس این نتایج، روند افزایشی دما و کاهش تعداد روزهای یخبندان در آینده نیز ادامه خواهد یافت. با توجه به وابستگی پیست اسکی کوهرنگ به بارش برف طبیعی، پیامدهای تغییر اقلیم می‌تواند تغییرات بزرگی در وضعیت فعلی پیست ایجاد کند؛ پیست به ارتفاعات بالاتر منتقل شود و یا کاملاً تعطیل شود.

٦- سپاس‌گزاری

نویسندگان از سازمان هواشناسی و وزارت نیرو کشور بابت در اختیار قرار دادن داده‌های هواشناسی و برف‌سنجی و همچنین از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اصفهان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۷- فهرست منابع

انصاری، مریم، نوری، غلامرضا، فتوحی، صمد. (۱۳۹۵). بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه کاجو استان سیستان و بلوچستان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، (۷)۱۴، ۱۵۸-۱۵۲.

رحیمی، داریوش و مهردیس، داناپور. (۱۳۹۱). تحلیل نوسانات اقلیمی مؤثر بر ارتفاع برف (منطقه کوهرنگ). فضای جغرافیایی، ۱۲(۳۸)، ۷۵-۶۱.

سازمان برنامه و بودجه (۱۳۷۹). گزارش هوا و اقلیم استان چهارمحال و بختیاری (بازنگری طرح مطالعات جامع استان)، مهندسین مشاور یکم.

کلانتری، خلیل. (۱۳۸۷). پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اقتصادی و اجتماعی، انتشارات فرهنگ صبا، چاپ سوم، تهران.

1. Point
2. Merge
3. Zonal Statistics

کیانی سلمی، صدیقه، موسوی، سید حجت، یگانه دستگردی، پریسا. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی مناطق مناسب برای احداث پیست اسکی با رویکرد گردشگری ورزشی (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (۴)۵۰، ۸۱۱-۷۹۱.

عباسی، سلیم، باقری، قدرت‌اله، عسگری، روح‌الله. (۱۳۹۷). تدوین راهبرد توسعهٔ گردشگری ورزش زمستانی در استان چهارمحال و بختیاری. مطالعات مدیریت ورزشی (پژوهش در علوم ورزشی)، ۱۰(۴۹)، ۱۱۵-۱۳۸.

مریانجی، زهره، عباسی، حامد. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات بارش برف به منظور برنامه‌ریزی گردشگری زمستانه در کوهستان الوند همدان. میراث و گردشگری، (۳)۱، ۵۲-۳۷.

نوروزی، شراره، طیبی ثانی، سیدمصطفی، فهیمی نژاد، علی، مرسل، باقر. (۱۳۹۹). بررسی اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر زیرساخت‌ها و رویدادهای ورزشی (مطالعه موردی: ورزش اسکی). جغرافیایی سرزمین، ۱۷(۶۵)، ۷۹-۹۵.

References

Abbasi, S., Bagheri, G., & Asgari, R. (2018). Determining strategy of Winter sports tourism development in Province of Chaharmahal and Bakhtiari. *Sport Management Studies*, *10*(49), 115-138. https://doi.org/10.22089/smrj.2017.4129.1795 **[In Persian]**

Ansari, M., Noori, Gh., & Fotuhi, S. (2017). Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). *J Watershed Manage Res*, *7*(14), 158-152. https:// 10.29252/jwmr.7.14.158 **[In Persian]**

Cholakova, S., & Dogramadjieva, E. (2023). Climate change adaptation in the ski industry: Stakeholders' perceptions regarding a mountain resort in southeastern Europe. Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 42, 100611. https://doi.org/10.1016/j.jort.2023.100611

IPCC (2014). Climate change 2014: Synthesis report. In: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

IPCC (2018). Global Warming of 1.5°C.An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R., Pidcock, S., Connors, J.B.R., Matthews, Y., Chen, X., Zhou, M.I., Gomis, E., Lonnoy, T., Maycock, M., Tignor, & T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616 pp. https://doi.org/ 10.1017/9781009157940.

Kalantari, Kh. (2009). *Data processing and analysis in socio -economic research* (Vol. 1). Farhang Saba Press. **[In Persian]**

Kendall, M.G. (1938). A new measure of rank correlation, Biometrika, 30(2), 81-93. https://doi.org/10.2307/2332226

Kiani Salmi, S., Mousavi, H., & Yeganeh Dastgerdi, P. (2018). Suitable Areas for Construction of Ski Fasilities with Sport Tourism Approach (Case Study: Chaharmahal & Bakhtiari Province, Iran). *Physical Geography Research*, 50 (4), 791-811. https://doi.org/ 10.22059/jphgr.2018.242946.1007125 **[In Persian]**

Knowles, N. L., & Scott, D. (2024). Advancing ski tourism transformations to climate change: A multi-stakeholder participatory approach in diverse Canadian destinations. Annals of Tourism Research Empirical Insights, 5(2), 100139. https://doi.org/10.1016/j.annale.2024.100139

Mann, H.B. (1945). Nonparametric test against trend, Econometrica, 13, 245-259. https://doi.org/10.2307/1907187

Maryanaji, Z., Abbasi, H. (2016). Study changes in snowfall for winter tourism planning in the mountains Alvand in Hamedan, *Journal of Heritage and Tourism,* 1(3), 37-52. https://www.magiran.com/p1703621 **[In Persian]**

Morin, S., Samacoïts, R., François, H., Carmagnola, C. M., Abegg, B., Demiroglu, O. C., ... & Cauchy, A. (2021). Pan-European meteorological and snow indicators of climate change impact on ski tourism. Climate Services, 22, 100215. https://doi.org/10.1016/j.cliser.2021.100215

Norouzi, Sh., Tayebi Sani, M., Fahiminejad, Ali., & Morsal, B. (2020). Investigating the Effects of Climate Change and Global Warming on Sports Infrastructure and Events (Case study: Ski). *Geographical journal of Territory*, 17(65), 79-95. https://sid.ir/paper/953950/fa **[In Persian]**

Nouri, M., & Homaee, M. (2021). Spatiotemporal changes of snow metrics in mountainous data-scarce areas using reanalyzes. Journal of Hydrology, 603, 126858. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126858

Palter, J., & Caraway, B. R. (2023). Understanding the approaches taken by private ski clubs in Southern Ontario to address climate change and sustainability. Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 43, 100683. https://doi.org/10.1016/j.jort.2023.100683

Pettitt, A.N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. J. R. Stat.Soc. Ser. C. (Appl. Stat.) 28 (2), 126–135. https://doi.org/10.2307/2346729

Planning and Budget Organization. (2001). Weather and Climate Report of Chaharmahal and Bakhtiari Province, Consulting Engineers I. **[In Persian]**

Rahimi, D., & Danapour, M. (2012). Analysis of Effectiveness of Climatic Variation on Snow Depth Case Study: Koohrang). Geographical, 12 (38), 61-75. http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-870-fa.html **[In Persian]**

Scott, D., Steiger, R., Rutty, M., Knowles, N., & Rushton, B. (2021). Future climate change risk in the US Midwestern ski industry. Tourism Management Perspectives, 40, 100875. https://doi.org/10.1016/j.tmp.2021.100875

Steiger, R., Posch, E., Tappeiner, G., & Walde, J. (2020). The impact of climate change on demand of ski tourism-a simulation study based on stated preferences. Ecological Economics, 170, 106589. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106589

Willibald, F., Kotlarski, S., Ebner, P. P., Bavay, M., Marty, C., Trentini, F. V., ... & Grêt-Regamey, A. (2021). Vulnerability of ski tourism towards internal climate variability and climate change in the Swiss Alps. Science of the Total Environment, 784, 147054. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147054

Xin-Wu, X. U., Shi-Jin, W. A. N. G., & Zhen-Yu, H. A. N. (2023). Potential impacts of climate change on the spatial distribution of Chinese ski resorts. Advances in Climate Change Research, 14(3), 420-428. https://doi.org/10.1016/j.accre.2023.05.003.