



The effect of climate change on snowfall and its prediction in Hamedan County

Zohreh Maryanji ¹, Meysam Toulabi Nejad ², Zeynab Dolatshahi ³

1. Department of geography, Faculty of Literature and Humanities Seyed Jamaloddin Asadabadi University, Asadabad, Iran

Email: maryanaji@sjau.ac.ir

2. Department of climatology, Faculty of Geographical Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

Email: meysam.toulabi@gmail.com

3. Department of climatology, Faculty of Geographical Science, Kharazmi University, Tehran, Iran

Email: zb.dolatshahi@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:
2 February 2023

Received in revised form:
31 March 2023

Accepted:
6 May 2023

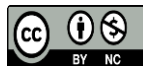
Keywords:

*Changes in Snow Regime,
Diffraction,
Homogenization,
Modeling, Hamedan*

ABSTRACT

This research aims to investigate and predict the trend of snow changes in Hamedan region using MODIS satellite data and images, general atmospheric circulation data, and analysis of coefficients. In order to carry out the work, using Hamedan station snowfall data and satellite images and the NDSI index, the trend of snowfall changes from 1992 to 2022 has been analyzed, modeled and predicted for the next 20 years. Lars was also used to predict and scale HadGEM2-ES and CMIP5 model data. The results of the analysis of satellite images showed that the level of snow cover in Hamedan city had decreased significantly; So that from 20% snow cover compared to the entire area of the city, it has reached 7% in the last decade. Also, the amount of diffraction during the statistical period investigated in the first coefficient is about 75%, indicating snowfall's high contribution in the region from synoptic systems. The diffraction rate of the second coefficient is 20 percent, which expresses the effect of Alvand Mountain on snowfall, which has reached 27 percent in recent years, which indicates the decrease in the contribution of large-scale synoptic systems, climate change and warmer winters in Hamedan. The maximum snowfall in the first level is 16.2 cm, which has decreased to 13.2 cm in recent years. In recent years, the phase angle or time of maximum snowfall has changed from mid-autumn to early winter.

Cite this article: Maryanji, Z., Toulabi Nejad, M., & Dolatshahi, Z. (2023). The effect of climate change on snowfall and its prediction in Hamedan County. *Physical Geography Research Quarterly*, 55 (1), 113-129
<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.358026.1007765>



© The Author (s).

DOI: [10.22059/JPHGR.2023.358026.1007765](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.358026.1007765)

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Snow is the most important type of precipitation in high mountain areas, whose increase and decrease affect the activities of other atmospheric phenomena, agriculture and even tourism. Besides, snow is a vital source for feeding river flows in spring and summer. The high reflection coefficient of snow reflects a large part of incoming solar rays to the earth and gradually causes the warming process in spring. Therefore, snow and its duration play a key role in many ecological and economic-social systems, especially in the mountainous areas of Zagros. Therefore, snow can be considered a climatic element, which with its spatial and temporal variability and accurate knowledge of snow cover, provides valuable information about climatic and hydrological conditions, which is necessary to understand the details of the climate system and the water cycle along with their changes; because snow and snow cover is one of the major sources of water supply in most countries of the world, especially in their mountainous regions.

Therefore, the snow covers and its equivalent provide about one-third of the water needed for agricultural and irrigation activities all over the planet. In most northern regions of the Northern Hemisphere and alpine environments, snow runoff is responsible for the maximum instantaneous flow intensity and an essential part of the annual flow intensity. The high albedo of snow, along with its high surface extension, has a significant impact on the earth's radiation budget. According to climatologists and meteorologists who study climate and atmospheric changes from a global perspective, snow cover monitoring is a necessity. Thus, due to the high efficiency of snow cover in various surveys, continuous monitoring of snow covers and preparation of snow-covered surface maps is an undeniable need. Climate changes in arid and semi-arid climate regions have always been considered one of the key components of sustainable development. In this regard, paying attention to the persistence and prevention of rainfall is

very important. Based on this, the ratio of snowfall to annual precipitation, durability, and height of snow are considered to be the most serious indicators of this adaptation to the ecological power and the structure of the residential space of Iran. Therefore, any change in this phenomenon first affects the available water volume. Then the spatial structure of the region undergoes severe and unpredictable changes from various economic, social and security aspects. This is especially necessary for the mountainous areas of Zagros, where the water from melting snow plays a vital role in the flow of water, which can be considered a major and fundamental operation in water resource management and flood control in Zagros. The present research uses combined methods to analyze the relationship between snow cover changes in the Middle Zagros region and atmospheric circulation changes.

Methodology

In this study, the snowfall data of the synoptic station, Hamedan Airport, has been exploited. The selected statistical period equals 30 years (1992-2020). In order to investigate changes in the snowfall regime in Hamedan, covariance analysis was used. In order to analyze more precisely, components such as trend and changeability were extracted from the data. In this study, the amount of trend was obtained through the linear regression function (assuming that the trend is linear) and the least square method, which was significant at the desired confidence level. Men Kendall's non-parametric test was applied to detect any possible trends in the snowfall statistical series and check the significance level of existing trends. Partial (short-term) trends, changes of position or the starting point of the trend in the snowfall series are also investigated by the graphs of the time series of $(t)u$ and $(t)ú$ values. Also, to investigate changes in snowfall in the studied area, MODIS snow cover data with a resolution of 0.05 degrees and NDSI index were exerted.

Results and discussion

Data analysis shows that the snow height in

Hamedan station has decreased by 9 cm on average. The rapid increase in winter temperature and decrease in snowfall indicate the effects of climate change and global warming in Hamedan region. In general, the meaningful results of this process are proved by Kendall's method. According to this method, u_i and u_i' graphs have been presented for snow height in the winter season at Hamedan station. These graphs show a significant trend in the time series of snow height in the winter season at Hamedan station. Also, from 2017 onwards, sudden changes in the trend are observed, and the slope of the changes increases. So that in the last ten years, the reduction of snowfalls and the relative heat of the air in the winter season in Hamedan is evident. Based on the predicted data in the Lars model, from 2020 to 2040, the minimum temperature will increase by 2 degrees and the maximum temperature by 2.5 degrees Celsius. Also, the examination of the changes in the amount of snowfall in Hamedan city shows that in the three seasons of winter, autumn and spring, the trend of snowfall in Hamedan city is decreasing, so the coefficient of the downward trend of snowfall changes in the winter season is 38.8 compared to the base year shows a decrease. The coefficients of these trends are 2.37 in the fall season and 36.00 in the spring season. These changes can be seen as the result of the interaction of the earth's climate changes and changes in climatic elements. However, the decrease in snowfall has had destructive consequences on the water cycle in Hamedan, so that the accumulation of snow has decreased compared to the base year, and the sources have faced the risk of drying up.

Conclusion

The results indicate the difference in the amount of diffraction, the maximum amount of snowfall and the time of its fall in recent years. The increase in the diffraction of the second coefficient indicates the decrease in snowfall due to changes in macro-scale systems, and it cannot be considered unrelated to climate change, which is considered the main challenge of the earth's ecosystem in recent years. The changes in time or phase angle in recent years also show that the snowfall in the autumn season has almost stopped, and the time of its fall has been extended towards the winter; in other words, the region's autumn has become warmer. Due to the range, in recent years, the maximum snowfall is also less, and the heavy winter snow in this area has decreased significantly. The analysis of satellite images and the NDSI index also showed that the snow cover in Hamedan has significantly decreased. In such a way that from about 20% of the snow cover compared to the entire area of the city, it has reached about 7% during the last decade and has faced a serious problem with the water reserves.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



اثر تغییر اقلیم بر بارش برف و پیش‌بینی آن در شهرستان همدان

زهره مریانجی^۱، میثم طولابی نژاد^۲، زینب دولتشاهی^۳

- ۱- گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران. رایانامه: maryanaji@sjau.ac.ir
- ۲- نویسنده مسئول، گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: meysam.toulabi@gmail.com
- ۳- گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: zb.dolatshahi@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

این تحقیق با هدف بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات برف در منطقه همدان با استفاده از داده و تصاویر ماهواره مودیس، داده‌های گردش عمومی جو و تحلیل همسازها و به انجام رسید. جهت انجام کار با استفاده از داده‌های بارش برف ایستگاه همدان و تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDSI در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ روند تغییرات بارش برف تحلیل، مدل‌سازی و برای ۲۰ سال آینده پیش‌بینی شده است. جهت پیش‌بینی و ریزمقیاس کردن داده‌های مدل HadGEM2-ES و CMIP5، نیز از لارس استفاده شد. نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که سطح برف پوشان در شهرستان همدان به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است؛ به طوری که از ۲۰ درصد پوشش برفی نسبت به مساحت کل شهرستان، به ۷ درصد در دهه اخیر رسیده است. همچنین مقدار پراش در طول دوره آماری مورد بررسی در همساز اول حدود ۷۵ درصد است که بیانگر سهم زیاد بارش برف منطقه از سیستم‌های سینوپتیک است. میزان پراش همساز دوم ۲۰ درصد می‌باشد که تأثیر کوهستان الوند را بر بارش برف بیان می‌کند که در سال‌های اخیر این مقدار به ۲۷ درصد رسیده که نشان‌دهنده کاهش سهم سیستم‌های بزرگ‌مقیاس سینوپتیک، تغییرات اقلیمی و گرم‌تر شدن زمستان‌های همدان است. حداکثر مقدار بارش برف در همساز اول ۱۶/۲ سانتیمتر است که در سال‌های اخیر به ۱۳/۲ سانتیمتر کاهش یافته است. زاویه فاز یا زمان ریزش حداکثر بارش برف نیز در سال‌های اخیر از اواسط پاییز به سمت اوایل زمستان تغییر زمان داده است.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۱۱/۱۳

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۱/۰۱/۱۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۲/۱۶

واژگان کلیدی:

تغییرات رژیم برف،

NDSI

همساز،

مدل‌سازی، همدان

استناد: مریانجی، زهره؛ طولابی نژاد، میثم و دولتشاهی، زینب. (۱۴۰۲). اثر تغییر اقلیم بر بارش برف و پیش‌بینی آن در شهرستان همدان. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۵ (۱)، ۱۱۳-۱۲۹.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.358026.1007765>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
DOI: [10.22059/JPHGR.2023.358026.1007765](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.358026.1007765)

© نویسنده گان



مقدمه

بررسی تغییرات زمانی و مکانی ریزش‌های برفی برای پایش منابع آب و برنامه‌ریزی مناسب برای آینده لازم است. بخشی از آب موردنیاز برای کشاورزی در جهان از ذوب برف‌های باریده شده در زمستان تأمین می‌شود. علاوه بر کشاورزی، برف در تأمین آب شرب در سال‌هایی که خشک‌سالی بر منطقه حکم‌فرماست و شرایطی کلی آب‌وهوایی آن منطقه خشک و نیمه‌خشک باشد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. پوشش برف اثرات قابل توجهی در انرژی تابشی منطقه و گردش جوی و حرارتی دارد و هرگونه تغییرات در زمان، میزان و توزیع برف ممکن است درازمدت عواقب زیست‌محیطی و اقتصادی داشته باشد (Tryhorn & Degaetao, 2013: 2729). برف مهم‌ترین گونه بارش در مناطق کوهستانی مرتفع است که افزایش و کاهش آن فعالیت‌های دیگر پدیده‌های اتمسفری، کشاورزی و حتی گردشگری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ضمن آنکه برف منبع مهمی برای تغذیه جریان‌هایی رودخانه‌ای در بهار و تابستان است (نکونام و مزیدی، ۱۳۸۹: ۱). ضریب انعکاس بالای برف موجب بازتاب بخش زیادی از پرتوهای ورودی خورشیدی به زمین بوده و موجب تدریجی شدن فرآیند گرم شدن در بهار می‌شود (Tekeli et al, 2005: 217). از این رو برف و مدت‌زمان ماندگاری آن نقش کلیدی در بسیاری سیستم‌های زیست‌محیطی و اقتصادی - اجتماعی به‌ویژه در نواحی کوهستانی زاگرس دارد. بنابراین می‌توان برف را یک عنصر اقلیمی دانست که با تغییرپذیری مکانی و زمانی آن و اطلاع دقیق از پوشش برفی اطلاعات ارزشمندی از شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی فراهم می‌آورد که برای فهم جزئیات سامانه اقلیم و چرخه آب همراه تغییرات آن‌ها ضروری است. این امر به‌ویژه در نواحی کوهستانی زاگرس که آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی در روان آب‌ها دارد ضرورت پیدا می‌کند که می‌توان آن را عملیاتی محوری و اساسی در زمینه مدیریت منابع آب و کنترل سیلاب‌ها در زاگرس در نظر گرفت از این رو تحقیق حاضر سعی دارد با استفاده از روش‌های ترکیبی، ارتباط تغییرات پوشش برف در منطقه زاگرس میانی با تغییرات گردش جو را واکاوی نماید. بیش از ۴۰٪ نیمکره شمالی در زمستان به‌صورت فصلی پوشیده از برف می‌باشد. برف و پوشش برفی یکی از منابع بزرگ تأمین‌کننده آب در بیشتر کشورهای جهان و به‌ویژه منطقه‌های کوهستانی آن‌ها می‌باشد. پوشش برفی و آب معادل آن حدود یک‌سوم از آب موردنیاز برای فعالیت‌های کشاورزی و آبیاری را در سراسر کره زمین تأمین می‌کند. در بیشتر منطقه‌های شمالی نیمکره شمالی و محیط‌های آلبی، رواناب برف هم مسئول شدت جریان بیشینه لحظه‌ای بوده و هم یک بخش مهم شدت جریان سالیانه می‌باشد. آلبیدوی بالای برف به همراه گسترش سطحی بالای آن تأثیر زیادی بر بودجه تابشی زمین دارد. از نظر اقلیم شناسان و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی و اتمسفری را بررسی می‌کنند در یک دید جهانی، پایش پوشش برف یک نیاز است. بنابراین با توجه به کارایی بالای پوشش برفی در بررسی‌های مختلف پایش پیوسته پوشش برفی و تهیه نقشه‌های سطح پوشیده از برف یک نیاز انکارناپذیر است. رایگانی و همکاران، (۱۳۸۷: ۵۲۶). تغییرات آب‌وهوایی در مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک همواره به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی در امر توسعه پایدار مطرح بوده است. در این راستا توجه به پایداری و مانایی بارش از اهمیت شایان توجه برخوردار است. بر این اساس نسبت بارش برف به بارش سالانه، ماندگاری و ارتفاع برف از جدی‌ترین شاخص‌های این انطباق با توان اکولوژیکی و ساختار فضای سکونتگاهی ایران محسوب می‌شوند. بنابراین هرگونه تغییر در این پدیده ابتدا بر حجم آب در دسترس و سپس ساختار فضایی منطقه را دستخوش تغییرات شدید و غیرقابل پیش‌بینی از وجوه مختلف اقتصادی، اجتماعی و امنیتی می‌نماید (فرج زاده، ۱۳۸۴: ۵۵).

استان همدان از جمله مناطقی است که با میزان متوسط بارش ۳۰۰ میلی‌متر در سال جزء مناطق نیمه‌خشک به شمار

می‌رود و توزیع زمانی و مکانی بارندگی در آن بسیار نامناسب است محدودیت آب قابل‌دسترس، توزیع غیریکنواخت آن در سطح منطقه، الگوی نامناسب شهرنشینی و مراکز سکونتگاهی و نوع و شیوه تولید محصولات زراعی، تأمین آب موردنیاز را در این منطقه از کشور مشکل ساخته است. بارش مداوم برف از دیرباز در این منطقه کوهستانی از خصوصیات اصلی اقلیم محسوب می‌گردد که در سال‌های اخیر بشدت کاهش یافته است. برف از جنبه‌های گوناگونی نظیر شرایط بارش، ماندگاری، ذوب و ایجاد سیل با روش‌های مختلف همواره موردتوجه محققین بوده است. در تحلیل شرایط بارش برف بیشتر عوامل هواشناسی نظیر پروفیل عمودی دما (جو سطح زمین و جو بالا)، شبنم و... موردتوجه بوده است (Zeinivand & Smedt et al, 2010: 452).

تحقیقات بسیاری در دنیا و در ایران بر روی ویژگی‌های بارش برف انجام شده است که می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود:

آصف^۱ (۲۰۰۷: ۱۵۵) به کمک معادلات غیرخطی و مدل SCS با اتکا بر بیلان انرژی ورودی و واکنش سطوح پوشیده از برف مدلی را برای تخمین ذوب برف ابداع نمودند. ژانگ^۲ و همکاران (۲۰۰۷: ۲۶) با توجه به گرادیان دما-ارتفاع، نقش دمای حداکثر روزانه با تأخیر ۱۲ ساعته در ذوب برف را موثرتر از متوسط دما می‌دانند. جین^۳ (۲۰۱۰: ۱۷۶۳) منظور شبیه‌سازی ذوب برف و رواناب حاصل از آن در حوضه‌های کوهستانی از متوسط درجه حرارت بیشتر از صفر درجه سانتی‌گراد و بارش استفاده نمودند. احمد طاهر^۴ و همکاران (۲۰۱۱: ۱۰۴)، با مطالعه تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS مربوط به زیر حوضه‌های رودخانه آستور^۵، واقع در کشور پاکستان، سطح پوشش برف و یخ را به دست آورده و به‌وسیله داده‌های اقلیمی و نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، آب حاصل از ذوب برف و یخچال را محاسبه کردند. نتایج این تحقیق رفتار هیدرولوژیکی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه را مشخص کرد که می‌تواند در پیش‌بینی سیل و مدیریت منابع آب کاربرد داشته باشد. آنتونیو^۶ و همکاران (۲۰۱۶: ۱۴۳)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS سطح پوشش برف کوه سیرا نوادا^۷، واقع در جنوب اسپانیا را استخراج کرده و با استفاده از ۲۳ نقطه برداشت‌شده زمینی رواناب ناشی از ذوب برف را به‌وسیله مدل SRM برای منطقه مورد مطالعه به دست آوردند. داریان^۸ و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی که برای منطقه کوهستانی البرز مرکزی در شمال ایران انجام دادند، به مقایسه تغییرات سطوح برف طی سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۵ پرداختند و با توسعه شاخص حذف متوالی ابر، سطح برف را با دقت بیش‌تری از طریق تصاویر ماهواره‌ای MODIS برآورد کردند. نتایج تحقیق نشان داد که میزان سطح برف منطقه کوهستانی البرز مرکزی در یک دوره کوتاه‌مدت (۱۳ سال)، کاهش شدیدی را داشته است. کوچند^۹ و همکاران (۲۰۱۹: ۳) از مدل HGS اصلاح‌شده برای ارزیابی تأثیر بالقوه تغییرات آب‌وهوایی بر ذوب برف و جریان سطحی و زیرسطحی در حوضه آبریز رودخانه سنت چارلز، کبک (کانادا) برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ استفاده نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد دبی رودخانه‌های زمستانی منطقه مورد بررسی به دلیل زمستان‌های گرم‌تر و ذوب بیشتر برف، حدود ۸۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درصد افزایش خواهد داشت. جوادی نژاد و همکاران (۲۰۲۰: ۱۷۱۵) به مدل‌سازی اقلیمی (بارش برف و دما) پرداختند و تحت سناریوهای مختلف میزان

1. Assaf
2. Zhang YiChi
3. Jain
4. Ahmad Tahir
5. Astor
6. Antonio
7. Sirara Nevada
8. Dariane
9. Cochand

رواناب ناشی از ذوب برف را در زاینده‌رود تعیین نمودند. نتایج آنان پیش‌بینی افزایش در دما و کاهش بارش و پوشش برف را در پی داشت. گیروتو^۱ (۲۰۲۰: ۸۱) نیز در تحقیقی مدل‌سازی، سنجش‌ازدور، و تکنیک‌های شبیه‌سازی داده‌ها را که برای تخمین برف فصلی اعمال می‌شود، مورد استفاده قرار داد. اوها^۲ و ساگیمتو^۳ (۲۰۲۰: ۳۱۵۱) به بررسی تأثیر تغییر آب‌وهوا بر رویدادهای بارش برف سنگین در ژاپن پرداختند. نتایج آن‌ها افزایش خطر بارش شدید برف مرطوب در بخش شمالی ژاپن (مناطق کوهستانی در مرکز ژاپن) و هوکایدو را نشان داد. سییریلا^۴ و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی تغییرات و اثرات کاهش ناشی از ریزش برف را در غرب ایالات متحده مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد تا سال ۲۰۵۰ معادل ۲۵ درصدی آب ناشی از ذوب برف کاهش خواهد داشت. موسلمن^۵ و همکاران (۲۰۲۱: ۴۱۸) به مطالعه تغییرات بلندمدت ذوب برف در غرب آمریکای شمالی پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که ۳۴٪ از ایستگاه‌ها روند افزایشی ذوب برف زمستانی دارند.

در ایران رایگانی و همکاران (۱۳۸۷: ۵۲۵) با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای MODIS و شاخص NDSI به منظور تهیه نقشه‌های پوشش برفی اقدام نمودند. نتایج نشان داد بیشتر روش‌های کارآمد پایش پیوسته پوشش برفی بر پایه سنجش‌ازدور با تصویرهای ماهواره‌ای می‌باشد. تصویرهای ماهواره‌ای مودیس به علت دقت زمینی بهتر (۲۵۰ متر) و شمار باندهای بیشتر برای این منظور مناسب‌تر از تصویرهای سنجنده‌های دیگر مانند NOAA می‌باشد. امینی نیا (۱۳۸۹: ۱۳۵) در تحقیقی به بررسی و تحلیل نوسانات بارش برف سنگین در شمال غرب ایران پرداخته‌اند. استفاده از آزمون رتبه‌ای من-کندال در مورد ایستگاه‌های دارای آمار طولانی‌مدت، وجود روند نزولی دریافت بارش برف سنگین را برای ایستگاه‌های تبریز و ارومیه و عدم وجود روند در اردبیل و خوی را نشان داد. میرموسوی و صبور (۱۳۹۳: ۱۸۱)، به پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه شمال غرب ایران برای سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۰۰ میلادی پرداختند. در این منطقه از شاخص NDSI طبقه‌بندی‌های نظارت‌نشده و نظارت‌شده به‌عنوان روش استفاده شد. بررسی نقشه‌های مربوط به تغییرات پوشش برف در ماه آوریل نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه کمترین مقدار پوشش برف مربوط به سال ۲۰۰۸ با ۱۰۴۰ کیلومترمربع و بیشترین مساحت مربوط به سال ۲۰۰۷ با ۱۰۴۷۱ کیلومترمربع می‌باشد. ایلدرومی و همکاران (۱۳۹۴: ۱۲۵)، از طریق شاخص NDSI با اعمال آستانه‌های به شناسایی و تفکیک سطوح پوشیده از برف حوضه آبخیز بهار در استان همدان به‌واسطه تصاویر سنجنده MIDIS پرداختند. نقشه‌های سطح پوشیده از برف در این تحقیق با احتساب خطای شاخص NDSI به‌طور متوسط دارای خطای کمتر از ۲۰ درصد بودند. محمدپور و محمدپور (۱۳۹۵: ۱) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS به بررسی میزان اختلاف در بازتابش باندهای مختلف در تصاویر پرداختند. آن‌ها با به کار بردن شاخص NDSI در تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی در نرم‌افزارهای Erdas و ArcMap سطح پوشش برف را استخراج کردند. نتایج نشان داد که شاخص پوشش برفی همراه با آستانه گذاری طیفی بر روی باند ۲ و ۴ رابطه‌ای پایدار در استخراج نقشه پوشش برفی دارد. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۸: ۱) با استفاده از شاخص پوشش برف سطح نرمال شده (NDSI) به بررسی سیرک‌های یخچالی منطقه اشترانکوه پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که سیرک‌های دامنه شمال شرقی با توجه به تابش دریافتی کمتر و تأثیرپذیری کمتر از فرآیندهای مختلف شکل‌زا مانند هوازدگی و رواناب ناشی از ذوب، کمتر از دامنه

1. Giroto
2. Ohba
3. Sugimoto
4. Siirila
5. Musselman

مقابل دستخوش تغییر شده‌اند و از سیرک‌های مشخص و تیپ یک با توجه به تعریف ایوانس برخوردار است. محمدی و همکاران (۱۳۹۸: ۳۵۵)، تغییرات پوشش برف در رشته‌کوه زاگرس را با استفاده از داده‌های روزانه سنجنده MODIS بررسی کرده و دریافته‌اند که پوشش برف و برف مرز به‌طور کلی چه در سطح معناداری ۹۹ درصد و چه ۹۵ درصد فاقد روند است. بررسی آمارهای پوشش برف هرماه نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۹ نقطه عطفی در پوشش برف زاگرس به شمار می‌رود و از این سال به بعد تا سال ۲۰۱۶ برای تمامی ماه‌ها به جز ماه نوامبر تغییرات پوشش برف کاهشی است. بررسی تغییرات میانگین سطح پوشش برف طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۹ نسبت به سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۸ نشان می‌دهد که ماه ژانویه با بیشترین کسری پوشش برف به میزان ۱۱/۵۵- درصدی در دامنه ارتفاعی ۱۱۶۲-۴۲۱۲ و کسری بارش ۴۵/۸۵- برای ایستگاه‌های سینوپتیک مواجه بوده است. ارزیابی دقت تصاویر پوشش برف MODIS نسبت به تصاویر ASTER نیز نشان می‌دهد که مقادیر ضرایب R^2 ، RMSE و MAPE بین سطح پوشش برآوردی توسط هر دو تصویر به ترتیب ۰/۹۹، ۴۹/۳ کیلومتر مربع و ۲۱/۵۱ درصد بوده است. سیفی (۱۴۰۰: ۳۷) به برآورد سطح پوشش برف از طریق تکنیک‌های شیء‌گرا با استفاده از تصاویر سنجنده‌های OLI و TIRS برای کوهستان سیلان پرداخت. در این پژوهش، به دلیل استفاده از داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا (۳۰ متر) و روش نوین طبقه‌بندی تصاویر، سطح برف به‌وسیله شاخص نرمال‌شده تفاوت برفی (NDSI)، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، دمای سطح زمین (LST) و ضریب روشنایی (Brightness) با دقت کلی ۹۱ درصد، به میزان ۲۱۴۲/۶۲ کیلومتر مربع برای محدوده کوهستانی سیلان استخراج گردید که از نتایج آن می‌توان به‌عنوان جایگزین ایستگاه‌های برف‌سنجی استفاده کرد.

محققان دیگر از جمله لیو^۱ و همکاران (۲۰۲۱: ۱)، لرتزمن^۲ و همکاران (۲۰۲۰: ۴۸۶۸)، بای^۳ و همکاران (۲۰۱۹: ۵۷۰۲)، ایکدا^۴ و همکاران (۲۰۲۱: ۲۱۹۱)، لی^۵ و همکاران (۲۰۱۹: ۵۷) و حمیدی^۶ و همکاران (۲۰۱۸: ۷۶۹) به بررسی و مدل‌سازی تغییرات برف پرداخته‌اند.

در این تحقیق به تغییرات و مدل‌سازی بارش برف در شهرستان همدان به‌عنوان یکی از شهرهای کوهستانی پرداخته شده است. بدین منظور تغییرپذیری و تحلیل رژیم بارش برف در شهر همدان در ۳۰ سال گذشته و مقایسه زمانی آن در این منطقه با استفاده از همسازهای مختلف و تحلیل‌های فوریه انجام شده و پیش‌بینی و ریزمقیاس‌نمایی توسط داده‌های مدل گردش عمومی جو (HadGEM2-ES) و مدل جفت شده (CMIP5) انجام شده است.

روش پژوهش

در این مطالعه از داده‌های بارش برف ایستگاه سینوپتیک، همدان فرودگاه استفاده شده است. دوره آماری انتخاب‌شده برابر با ۳۰ سال (۱۹۹۲-۲۰۲۰) می‌باشد. جهت بررسی تغییرات رژیم بارش برف در شهر همدان از تحلیل همسازها استفاده شد. بدین منظور با استفاده از میانگین ماهانه بارش برف به سانتیمتر با کاربرد سری‌های فوریه به تحلیل همسازهای بارش برف و رفتارهای تناوبی و تغییرات زمانی آن پرداخته شد. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر، مؤلفه‌هایی از قبیل روند و تغییرپذیری آن از داده‌ها استخراج گردید. در این مطالعه میزان روند از طریق تابع رگرسیون خطی (با فرض خطی بودن روند) و روش حداقل مربعات به دست آمد که در سطح اطمینان موردنظر معنادار بوده است. آزمون غیر پارامتری

1. Liu
2. Lertzman
3. Bai
4. Ikeda
5. Lee
6. Hamidi

منکندال به منظور تشخیص هرگونه روند احتمالی در سری آماری بارش برف و همچنین بررسی سطح معنی‌داری روندهای موجود بکار برده شد. روندهای جزئی (کوتاه‌مدت)، تغییر موقعیت یا نقطه شروع روند در سری بارش برف نیز به وسیله نمودارهای سری‌های زمانی مقادیر $u(t)$ و $\hat{u}(t)$ مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس مطالعات (Sneyers, 1990: 192) جهت انجام آزمون من - کندال از رابطه (۱) استفاده می‌گردد.

$$Var.(t_i) = [i(i-1)(2i+5)]/72 \quad \text{رابطه (۱)}$$

همچنین مقدار آماره $u(t_i)$ به وسیله رابطه (۲) محاسبه می‌گردد:

$$u(t_i) = [t_i - E(t_i)] / \sqrt{Var.(t_i)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

رفتارهای تناوبی به هر شکل که باشند، با استفاده از توابع سینوسی در فرکانس‌های مختلف با تقریب مناسب و قابل قبولی برآورد و پیش‌بینی می‌شوند. در این راستا مدل‌های همساز از ابزارهای مفید و کارا به شمار می‌آید. در واقع هر همساز گویای یک‌روند رو به بالا و یک‌روند رو به پائین در یک سری زمانی است. بنابراین هر طول موج متوالی در سری زمانی تناوبی با یک همساز نشان داده می‌شود. این تحلیل به کمک یک سری زمانی به صورت (روابط ۳ تا ۹) نشان داده می‌شود (Tarawneh & Kadioğlu, 2003: 126):

$$X_t = \bar{X} + \sum_{i=1}^n \left[a_i \cos \frac{2\pi}{T} it + b_i \sin \frac{2\pi}{T} it \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

رابطه (۳) را یک الگوی فوریه گویند. ضروری است یادآوری شود که هرچند نمایش فوریه (یک دنباله متناهی) مقوله‌ای صرفاً ریاضی است ولی تعیین آن با تعداد معدودی از همسازها است که به لحاظ آماری معنی‌دار بوده و تقریب خوبی به دست می‌دهد. و در تعیین حالت کلی رفتار جو اهمیت بسیاری داشته در حقیقت غالباً تعداد کمی از همسازها برای بیان رفتار یک عنصر اقلیمی کفایت می‌کند (رابسون^۱، ۱۹۹۷: ۳۵۲).

در رابطه (۳) a_i و b_i ضرایب همساز نامیده می‌شوند و همانند یک رگرسیون چند متغیره با استفاده از روش کمترین مربعات خطا به دست می‌آیند. این ضرایب می‌توانند به صورت روابط (۴ و ۵) بیان شوند (Tarawneh & Kadioğlu, 2003: 127):

$$a_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^{N-1} x_t \cos \left(\frac{2\pi}{12} it \right), i = 1, 2, \dots, \frac{N}{2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$b_i = \frac{2}{N} \sum_{t=0}^{N-1} x_t \sin \left(\frac{2\pi}{12} it \right), i = 1, 2, \dots, \frac{N}{2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که x_t متوسط بارش ماهانه و N شمار مشاهدات است. دامنه نیز به صورت رابطه (۶) می‌تواند نوشته شود:

$$A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

زاویه فاز i امین همساز به صورت رابطه (۷) خواهد بود:

$$\phi_i = \arctan \left[\frac{b_i}{a_i} \right] \quad \text{رابطه (۷)}$$

مقدار (t) یا زمان وقوع حداکثر بارش در هر همساز به صورت رابطه (۸) خواهد بود:

$$t_i = \left(\frac{T}{2\pi i} \right) \phi_i, \quad \text{رابطه (۸)}$$

مقدار واریانس در هر همساز به صورت رابطه (۹) است:

$$V_i = \frac{A_i^2}{2} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در این مطالعه از داده‌های میانگین بارش ماهانه برف جهت تحلیل همسازها استفاده شده است. به‌طور کلی اولین همساز یک چرخه سالانه منفرد از مشاهدات، دومین همساز نشان‌دهنده گرایش به یک تغییر نیم سالانه و سومین همساز جزئیات بیشتری از تغییرات سالانه رژیم بارش برف را توصیف می‌کند (Tarawneh & Kadioğlu, 2003: 129). زمان (t) تغییر مکان‌های بیشینه در طول محور زمان را نشان می‌دهد. با تحلیل تغییرات سه‌م واریانس همسازهای مختلف، دامنه (مقدار حداکثر بارش در مناطق مختلف) و نیز زمان وقوع حداکثر بارش برف و تغییرات ریزش برف در شهرستان همدان در دوره مورد مطالعه مشخص می‌گردد. به‌طور نرمال در داده‌های ماهانه ۶ همساز برای استفاده و تحلیل توزیع داده‌ها وجود دارد اما در این مطالعه درصد‌های پراش اول تا دوم به‌طور نسبی بیش از ۹۵ درصد مقادیر را در منطقه پوشش داده لذا برای تفسیر تغییرپذیری ریزش برف از دو همساز اول و دوم استفاده شده است. همچنین جهت بررسی تغییرات ریزش برف در پهنه مورد مطالعه از محصول MOD10CM داده‌های ماهانه پوشش برف سنجنده مادیس از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ با قدرت تفکیک ۰/۰۵ درجه در ماه‌های سرد سال استفاده گردید.

شاخص NDSI^۱

شاخص برف نرمال شده به‌عنوان یک شاخص استخراج اتوماتیک برف به همراه مجموعه‌ای از آستانه‌ها به کار می‌رود. این شاخص بر مبنای این حقیقت که برف دارای بازتابندگی بالا در ناحیه مرئی و بازتابندگی پایین در مادون قرمز میانی می‌باشد جهت تشخیص برف از ابر و مناطق فاقد برف استفاده می‌شود (نولین و لیانگ، ۲۰۲۱). هنگام شناسایی حضور برف، ابزارهای ماهواره‌ای شامل طول موج‌های ۰/۶۶ و ۱/۶ میکرومتر هستند. در اتمسفر در طول موج شفافیت وجود دارد، درحالی‌که برف در ۱/۶ میکرومتر بازتابی ندارد و در طول موج ۰/۶۶ میکرومتر بسیار منعکس می‌شود. پوشش برفی به‌اندازه ابرها روشن است و این باعث می‌شود که تمایز آن از پوشش ابر دشوار باشد. باین‌حال، در طول موج ۱/۶ میکرومتر، پوشش برف نور خورشید را جذب می‌کند و به همین دلیل، تیره‌تر از ابرها به نظر می‌رسد. این امکان تمایز موثر بین ابرها و پوشش برف را فراهم می‌کند (Hall & Riggs, 2011: 25).

NDSI اندازه‌گیری مقدار نسبی اختلاف بازتاب بین مرئی (سبز) و امواج مادون قرمز (SWIR) است. واریانس دو باند (یکی در مادون قرمز نزدیک یا موج کوتاه مادون قرمز و دیگری در قسمت‌های مرئی طیف) را کنترل می‌کند. این برای نقشه‌برداری برف مفید است. برف نه تنها در قسمت‌های مرئی طیف الکترومغناطیسی بسیار بازتاب‌کننده است، بلکه در NIR یا قسمت مادون قرمز موج کوتاه طیف نیز بسیار جذب می‌شود، درحالی‌که بیشترین بازتاب ابر همچنان در همان بخش‌های طیف بالاست. اجازه می‌دهد تا به‌خوبی از بسیاری از ابرها و برف جدا شود (Hall & Riggs, 2019: 26) برای محاسبه نسبت دو باند در یک تصویر ماهواره‌ای مودیس در یک‌زمان و مکان خاص از رابطه (۱۰ و ۱۱) استفاده

1. Normalized-difference snow index (NDSI)

می‌شود.

رابطه (۱۰) محاسبه برای لندست ۴ تا ۷ $NDSI = (Band\ 2 - Band\ 5) / (Band\ 2 + Band\ 5)$

رابطه (۱۱) محاسبه برای لندست ۸ تا ۹ $NDSI = (Band\ 3 - Band\ 6) / (Band\ 3 + Band\ 6)$

باند ۲ و ۳: سبز قابل مشاهده، ۰٫۵۳ - ۰٫۶۱ میکرومتر

باند ۵ و ۶: موج کوتاه مادون قرمز، ۱٫۵۵ - ۱٫۷۵ میکرومتر

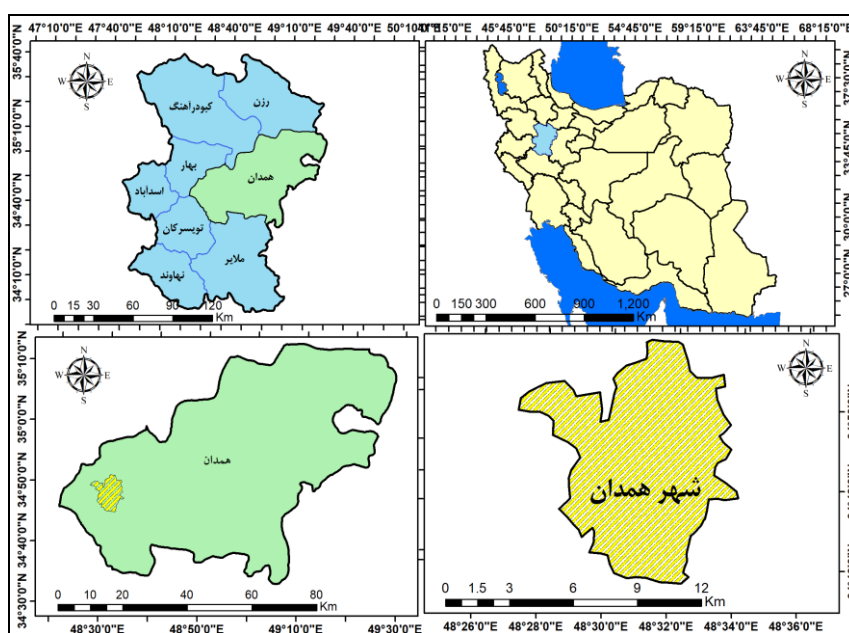
محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان همدان واقع در میانه استان همدان است. وجود کوهستان الوند در این منطقه سهم عمده‌ای را در بارش برف دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

شهرستان همدان شهرستان همدان با ۳۵۲۱ کیلومترمربع وسعت و متوسط ارتفاع ۱۸۲۰ متر بالاتر از سطح دریا، نخستین قطب جمعیتی استان همدان محسوب می‌شود. این شهرستان یکی از ۹ شهرستان استان همدان به مرکزیت شهر همدان است. آب‌وهوای استان به‌طور کلی تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاع، مکان، امتداد کوه‌ها و فاصله از دریاست جابه‌جایی توده‌های هوا در تعیین نوع آب‌وهوای هر منطقه نقش مهمی دارد. توده‌های هوایی که استان را تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارت‌اند از توده‌های شمالی: این توده‌ها در ماه‌های سرد سال از عرض‌های شمالی کشور حرکت می‌کند، هوای استان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب کاهش دما و بارندگی بیشتر به‌صورت برف می‌باشد.

توده‌های جنوبی: این توده‌ها در ماه‌های گرم سال از عرض‌های جنوبی کشور و منطقه حرکت می‌کند. استان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و موجب افزایش دما و کاهش یا قطع بارندگی می‌شود.

توده‌های غربی: این توده‌ها در ماه‌های مرطوب به سال (آبان تا خرداد) از غرب، جنوب غرب و شمال غرب وارد کشور شده و موجب افزایش نسبی دما و بارندگی در سطح استان می‌شود (اداره کل هواشناسی استان همدان، ۱۴۰۰).

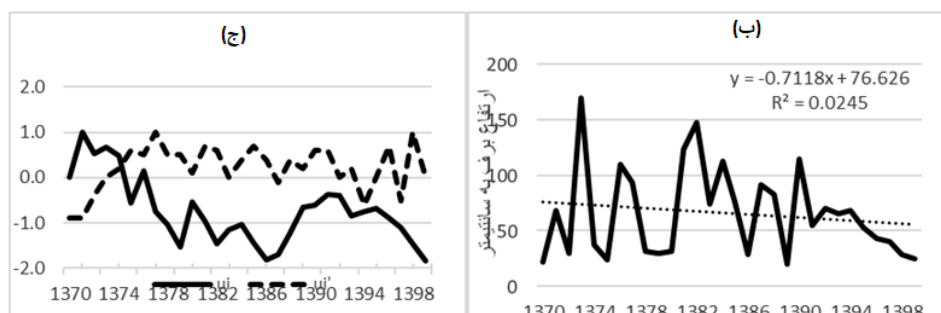
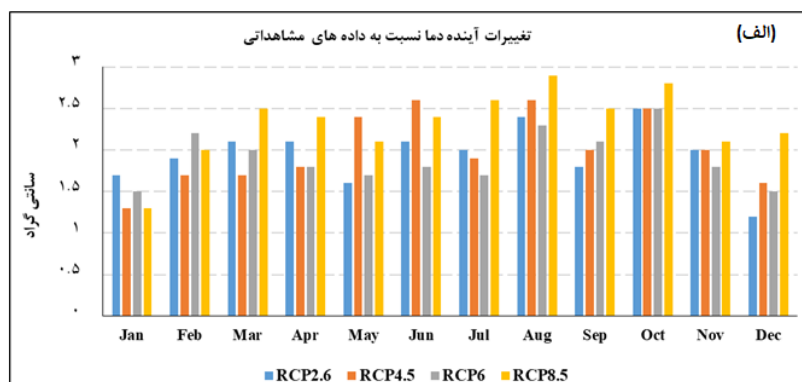


شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

یافته‌ها

تحلیل روند برف

با توجه به اتکای طولانی‌مدت برف در مدیریت آب، تغییرات اقلیمی نشان از کاهش برف‌های فصلی در سطح جهان دارد که پیامدهای بالقوه فاجعه‌باری بر منابع آب دارد. به‌طوری‌که با توجه به شکل (۲ ب) در ایستگاه همدان ارتفاع برف به‌طور در یک دوره ۳۰ ساله میانگین ۹ سانتیمتر کاهش داشته است. روند تند افزایشی در دمای فصل زمستان و کاهش ریزش برف نشانگر اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در منطقه همدان است. به‌طور کلی نتایج معنادار بودن این روند از روش من‌کندال اثبات می‌گردد. با توجه به این روش، نمودارهای u_i و u_{ii} ، برای ارتفاع برف در فصل زمستان در ایستگاه همدان ارائه شده است. شکل (۲ ب) این نمودارها بیانگر وجود روند معنادار در سری زمانی ارتفاع برف در فصل زمستان در ایستگاه همدان می‌باشد. ضمناً از سال ۱۳۸۷ به بعد تغییرات ناگهانی در روند مشاهده می‌شود و شیب تغییرات بیشتر می‌گردد. به‌طوری‌که در ده سال اخیر کاهش ریزش برف و گرمای نسبی هوا در فصل زمستان در شهر همدان مشهود می‌باشد. بر اساس داده‌های پیش‌بینی شده با مدل جفت شده اقیانوسی (HADGEM) از سال (۱۳۹۹) تا سال (۱۴۱۹) ۲۰۴۰ از حداقل ۱/۳ درجه در RCP2.6 تا حداکثر ۲/۹ درجه سانتی‌گراد RCP8.5 در برخی ماه‌ها افزایش خواهد یافت (۲ الف). بر اساس روند افزایشی دما در داده‌های آینده منطقه واضح است که باعث کاهش ریزش برف خواهد شد.

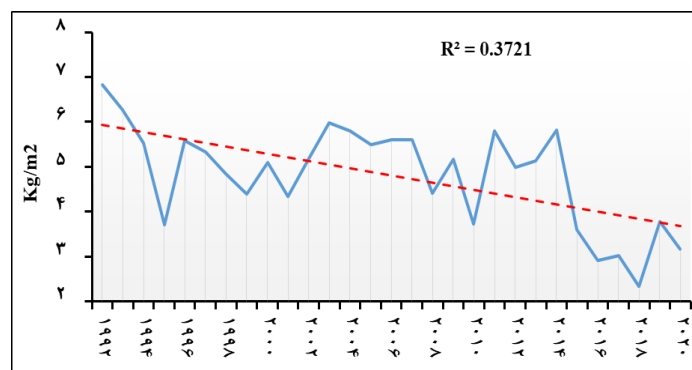


شکل ۲. الف) تغییرات دما برای ۲۰ سال آینده (ب) میزان روند و منحنی‌های u_i و u_{ii} برای حداقل، حداکثر (ج) ارتفاع برف در فصل زمستان در ایستگاه همدان (۱۳۷۰-۱۳۹۹)

بر اساس نتایج بررسی شکل (۲) تغییرات داده‌های در ایستگاه همدان نشان می‌دهد، ارتفاع برف ۹ سانتیمتر کاهش داشته که این روند معنادار است. به‌طوری‌که با توجه به پیش‌بینی افزایش دما، در بیست سال آینده کاهش ریزش برف در فصل زمستان (از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۴۰) ادامه خواهد یافت.

تغییرات سالانه ریزش برف

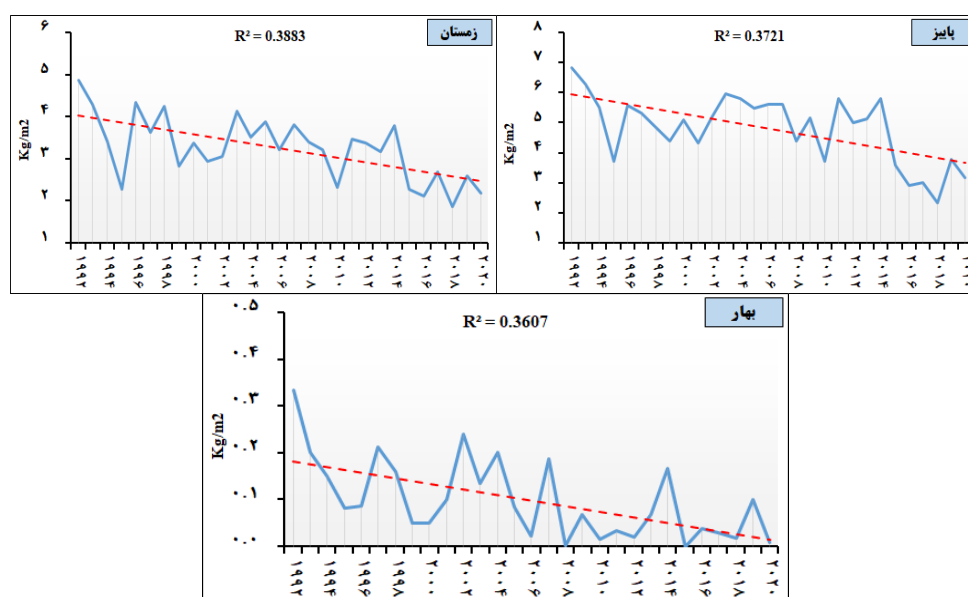
شکل (۳) تغییرات سالانه ریزش برف در سطح شهرستان همدان را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، ریزش برف در واحد سطح (کیلوگرم در مترمربع) در پهنه شهرستان همدان با کاهش شدیدی همراه شده است، به طوری که نسبت به سال پایه (۱۹۹۲) با ضریب ۰/۳۷ در حال کاهش می‌باشد.



شکل ۳. تغییرات مجموع سالانه ریزش برف در پهنه شهرستان همدان (۱۹۹۲-۲۰۲۰) (میانگین مجموع ریزش در هر فصل)

تغییرات فصلی

شکل (۴) تغییرات مقادیر ریزش برف در پهنه شهرستان همدان را نشان می‌دهد. این مقادیر بر حسب کیلوگرم در مترمربع از سنجنده مادیس اخذ شده است. همان‌گونه که شکل (۴) نشان می‌دهد در سه فصل زمستان، پاییز و بهار، روند ریزش برف در شهرستان همدان نزولی می‌باشد به طوری که ضریب روند نزولی تغییرات ریزش برف در فصل زمستان ۰/۳۹ نسبت به سال پایه (۱۹۹۲) کاهش نشان می‌دهد. ضرایب این روندها در فصل پاییز ۰/۳۷، و در فصل بهار ۰/۳۶ می‌باشد. این تغییرات را می‌توان نتیجه اندرکنش وقوع تغییرات آب‌وهوایی کره زمین و تغییر در عناصر اقلیمی دانست. به‌رحال کاهش ریزش برف عواقب مخربی در چرخه آب در شهرستان همدان داشته است به طوری که انباشت برف نسبت به سال پایه نیز کمتر شده و سرچشمه‌ها با خطر خشک شدن مواجه شده‌اند.



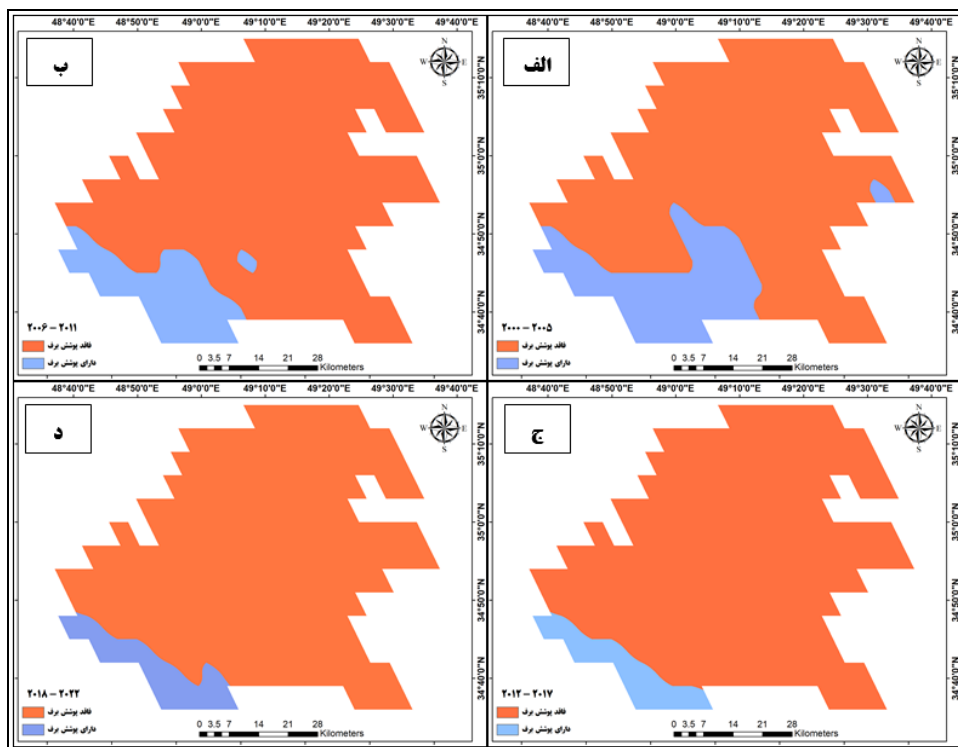
شکل ۴. تغییرات فصلی ریزش برف در پهنه شهرستان همدان (۱۹۹۲-۲۰۲۰) (میانگین مجموع ریزش برف در هر فصل)

تغییرات پوشش برف بر اساس شاخص NDSI

جدول (۱) و اشکال (۵) پراکنش فضایی تغییرات ماهانه پوشش برفی در ۴ دوره مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره مادیس بر اساس شاخص NDSI در پهنه شهرستان همدان را در دی‌ماه نشان می‌دهد. همان‌گونه که اشکال و جداول به‌خوبی نشان می‌دهند، در دوره اول به‌طور میانگین تنها ۲۰/۴ درصد از پهنه شهرستان همدان در دی‌ماه دارای پوشش برفی بوده است ولی نسبت به دوره‌های دیگر بیشترین مقدار به شمار می‌رود. در دوره دوم مقدار از پوشش برفی به ۱۲/۷ درصد و در دوره سوم به ۶/۷ درصد رسیده است که روند نزولی را به دنبال داشته است اما در دوره چهارم اندکی با رشد همراه بوده و به ۷/۵ درصد از کل پهنه شهرستان همدان رسیده است؛ اما این افزایش ۰/۸ درصدی نسبت به دوره سوم ناچیز بوده است، چراکه این مقدار نسبت به دوره اول ۱۲/۹ درصد و نسبت به دوره دوم ۵/۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. در کل می‌توان گفت که شهرستان همدان در دو دهه اخیر با کاهش شدید سطح برف پوشان مواجه شده و منابع آب در این شهرستان با چالش جدی مواجه شده است.

جدول ۱. آمار فضایی مساحت پوشش برف بر اساس شاخص NDSI برای در ۴ دوره مختلف

دوره	دارای پوشش برف		فاقد پوشش برف	
	مساحت (km ²)	درصد پوشش	مساحت (km ²)	درصد فاقد پوشش
دوره اول (۲۰۰۵ - ۲۰۰۰)	۸۴۴/۸	۲۰/۴	۳۳۰۰/۵	۷۹/۶
دوره دوم (۲۰۱۱ - ۲۰۰۶)	۵۲۷/۵	۱۲/۷	۳۶۱۷/۸	۸۷/۳
دوره سوم (۲۰۱۷ - ۲۰۱۲)	۲۷۶/۹	۶/۷	۳۸۶۸/۴	۹۳/۳
دوره چهارم (۲۰۲۲ - ۲۰۱۸)	۳۱۰/۴	۷/۵	۳۸۳۴/۹	۹۲/۵
میانگین کل دوره	۴۸۹/۹	۱۱/۸	۳۶۵۵/۴	۸۸/۲
مساحت کل شهرستان	۴۱۴۵/۳ کیلومتر مربع			



شکل ۵. میانگین ماهانه پوشش برف دی‌ماه در شهرستان همدان بر اساس شاخص NDSI (الف) ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ (ب) ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ (ج) ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ (د) ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲

تغییرات رژیم بارش برف در همدان

با تحلیل سهم پراش همسازهای مختلف، بارش برف از منابع مختلف تعیین و با تحلیل دامنه مقدار حداکثر ریزش برف مشخص و نیز زمان وقوع حداکثر بارش برف تخمین زده می‌شود. زاویه فاز یا (t) تغییر زمان مقدار حداکثر (اوج) یک همساز را نشان می‌دهد. مقدار صفر نیمه آذر (۱۵ دسامبر) را نشان می‌دهد. مقدار $0/5$ ، ۱۵ روز بعد یعنی اوایل دی (۱ ژانویه) را نمایش می‌دهد و... جدول (۲) مقدار زاویه فاز یا (t) را برای روزهای مشخص نشان می‌دهد (لیودا^۱ و همکاران، ۲۰۰۸).

جدول ۲. مقدار زاویه فاز یا (t) زمان رخداد حداکثر بارش برف (لیودا و همکاران، ۲۰۰۸).

زمان	۱ نوامبر	۱۵ نوامبر	۱ دسامبر	۱۵ دسامبر	۱ ژانویه	۱۵ ژانویه	۱ فوریه
(t)	-۱/۵	-۱	-۰/۵	۰	۰/۵	۱	۱/۵

در این مطالعه از داده‌های میانگین ریزش برف برای تعیین مقادیری همچون دامنه فراوانی‌ها، زاویه فاز، زمان رخدادهای حداکثر هر همساز، پراش هر همساز و درصد پراش هر همساز استفاده شد. تحلیل همساز می‌تواند به صورت یک ترکیب متفاوت از سیگنال‌ها نوشته شود. اطلاعات محاسبه شده در رابطه (۳ تا ۹)، به طور جداگانه در جدول (۲) برای یک دوره سی ساله ارائه شده است. با توجه به جدول (۳)، سهم هر یک از همسازها را برای همسازهای اول تا ششم در کل دوره سی ساله در ایستگاه موردنظر نشان می‌دهند.

جدول ۳. اطلاعات همسازهای بارش برف در منطقه موردبررسی

همساز	ai	bi	Ai	ϕ_i	ti	vi	PVRi	CPVRI
۱	۱۲/۷۵	۵/۸	۱۶/۲	۲۱	۰/۸	۱۱۱	۷۵/۱	۷۵/۱
۲	۶/۳	۵/۳	۷/۲	۴۱/۱	۰/۵۸	۳۴	۲۰	۹۵
۳	۱/۷	۳/۶	۲/۸	۶۱/۱	۰/۷	۷/۷	۳/۲	۹۸/۳
۴	-۰/۵۵	۲/۱	۲	-۷۲	-۰/۶	۲/۲	۱/۱	۹۹/۴
۵	-۱/۷	۰/۷۸	۱/۶	-۱۸	-۰/۲	۱/۴	۰/۴	۹۹/۸
۶	-۱/۴	۰	۱/۲	۰	۰	۱/۱	۰/۲	۱۰۰

اولین همساز توسط یک موج نشان داده شده است. اولین همساز با دامنه بزرگ (بزرگ‌ترین دامنه) است که تمام دوره را پوشش می‌دهد. هر تغییر کوچکی نمی‌تواند با اولین همساز نشان داده شود. دومین همساز نشان دهنده تغییرات زمانی و مکانی در طی دوره‌های نیمه سالانه است. دومین همساز شامل دو موج یا به عبارت دیگر شامل افزایش فراوانی است. بنابراین بارش برف نیمه سالانه یا فصلی مثل بارش‌های همرفتی، می‌تواند به دومین همساز اشاره داشته باشد. در ایستگاه همدان برای توصیف تغییرات داده‌ها، همسازهای اول و دوم کافی هستند. چون درصد تجمعی واریانس‌ها در این ایستگاه ۹۵ درصد است. این مسئله نشان می‌دهد که در ایستگاه همدان انواع تغییرات سالانه - نیمه سالانه - ۴ ماهی و ... در بارش برف این منطقه موثر می‌باشند؛ اما باید توجه داشت که دو همساز اول و دوم مؤثرترند. مقدار پراش در کل دوره سی ساله در همساز اول ($PVR_i = 1$) حدود ۷۵ درصد است که بیانگر سهم ۷۵ درصد برف منطقه از سیستم‌های برون‌مرزی است که خارج از مرزهای ایران و بیشتر دریای مدیترانه تشکیل می‌شود و بر اقلیم منطقه اثر می‌گذارد (مانند توده‌های هوای قطبی - جبهه قطبی تأثیر رطوبت دریای مدیترانه توسط امواج کوتاه و بادهای غربی).

مقدار پراش همساز دوم (PVRi 2) در منطقه همدان قابل ملاحظه است، مقدار آن ۲۰ در صد می‌باشد و بیانگر تأثیر کوهستان الوند بر بارش برف منطقه است که با افزایش ارتفاع کاهش دما و صعود اجباری توده‌های هوا در فصل پاییز در دامنه الوند و تبدیل بارش به برف اتفاق می‌افتد و نشان می‌دهد علت ریزش برف تا ۲۰ درصد مربوط به ارتفاع و توپوگرافی است. در سال‌های اخیر این مقدار بیشتر می‌گردد (۲۷ درصد) و بیانگر این است که سهم سیستم‌های سینوپتیک به‌طور نسبی در بارش برف کاهش یافته است.

دامنه یا A نشان‌دهنده حداکثر بارش برف در همسازهای مختلف است. در همساز اول مقدار حداکثر بارش برف حدود ۱۶/۲ سانتی‌متر و در همساز دوم حدود ۷/۲ سانتی‌متر است. اما در سال‌های موردبررسی این مقدار در همساز اول در سال‌های اخیر به ۱۳/۲ سانتی‌متر کاهش می‌یابد. مقادیر دامنه در سه همساز بیانگر کاهش چشمگیر برف در منطقه همدان است. بر اساس داده‌های جدول ۲ زمان اوج ریزش برف دهه دوم دی‌ماه است. بر اساس یافته، جدول (۲) ویژگی پنهان افزایش دما و کاهش ریزش برف را در داده‌ها نشان می‌دهد.

بحث

وضعیت اقلیمی یک منطقه مهم‌ترین عامل بر چگونگی وضعیت منابع آب آن می‌باشد که تأمین‌کننده ورودی اصلی چرخه آب یعنی بارش است. شهرستان همدان با اقلیم نیمه‌خشک از جمله مناطقی است که با برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر با بحران آب روبرو بوده است. در این منطقه کوهستانی در دوره سرد سال، بارش برف به‌عنوان مهم‌ترین عنصر اقلیمی محسوب می‌شود و ذخیره برف زمستانی، منبع مهمی است که می‌توان برای تأمین آب مصرفی و کاهش مشکلات ناشی از کم‌آبی استفاده نمود.

هدف این تحقیق، بررسی تغییرات اقلیمی بارش برف و تغییرپذیری روند و رژیم آن است. در این تحقیق، تغییرات بارش برف زمستان در شهرستان همدان، طی دوره سی‌ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۲) مورد تجزیه و تحلیل واقع شد. با شناخت روند گذشته و داده‌های مدل گردش عمومی جو برای بیست سال آینده پیش‌بینی و از مدل‌های آماری نظیر روش همسازها روش آماری من کندال و مدل ریزمقیاس لارس استفاده شد و مشخص گردید در سی سال گذشته مقدار برف تا ارتفاع ۹ سانتی‌متر روند کاهشی معنادار داشته است. بر اساس داده‌های خروجی مدل لارس در بیست سال آینده (۲۰۱۶-۲۰۲۵) مقدار کاهش برف چشمگیر خواهد شد. مطالعات همسازها نیز ویژگی‌های پنهان داده‌های اقلیمی را نشان داد. با توجه به نتایج حاصل از بررسی داده‌های برف سنجی ایستگاه سینوپتیک همدان و نیز داده‌های ماهواره‌ای در آینده نزدیک بارش برف در همدان به‌طور چشمگیری کاهش خواهد یافت که در نتیجه این تغییرات، یخچال‌های الوند کم‌رنگ‌تر و در نتیجه منابع آب به‌طور چشم‌گیری کاهش خواهند یافت.

نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق سبیریل و همکاران (۲۰۲۱) که تغییرات و اثرات کاهشی ناشی از ریزش برف را در غرب ایالات متحده موردبررسی قرار دادند و نشان داند تا سال ۲۰۵۰ معادل ۲۵ درصدی آب ناشی از ذوب برف کاهش خواهد داشت، و پژوهش موسلمن و همکاران (۲۰۲۱) که تغییرات بلندمدت ذوب برف در غرب آمریکای شمالی را مطالعه کردند و دریافتند که ۳۴٪ از ایستگاه‌ها روند افزایشی ذوب برف زمستانی دارند در یک راستا می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق با سایر تحقیقات داخلی از جمله محمدی و همکاران (۱۳۹۸) که روند پوشش برف را در رشته‌کوه زاگرس بررسی کرده و دریافتند که سطح پوشش برف طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۹ نسبت به سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۸ نشان می‌دهد که ماه ژانویه با بیشترین کسری پوشش برف مواجه بوده است. همچنین تحقیق امینی نیا (۱۳۸۹) که به بررسی و تحلیل

نوسانات بارش برف سنگین در شمال غرب ایران، میرموسوی و صبور (۱۳۹۳)، به بررسی تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه شمال غرب ایران و ایلدرومی و همکاران (۱۳۹۴)، به شناسایی و تفکیک سطوح پوشیده از برف حوضه آبخیز بهار در استان همدان با تصاویر سنجنده MODIS پرداختند، همگی نشان از کاهش سطح پوشش برف داشته‌اند که با نتایج این تحقیق در یک راستا می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از تفاوت مقدار پراش، مقدار حداکثر بارش برف و زمان ریزش آن در سال‌های اخیر است. مقدار افزایش پراش همساز دوم بیانگر کاهش ریزش برف به دلیل تغییرات سیستم‌های کلان‌مقیاس می‌باشد. و نمی‌توان آن را به تغییرات اقلیمی که در سال‌های اخیر چالش اصلی اکوسیستم زمین محسوب می‌شود، بی‌ارتباط دانست. تغییرات زمانی یا زاویه فاز نیز در سال‌های اخیر نشان‌دهنده این است که بارش برف در فصل پاییز تقریباً متوقف و زمان ریزش آن به سمت زمستان کشیده شده به عبارتی پاییز منطقه گرم‌تر شده است. با توجه به میزان دامنه در سال‌های اخیر مقدار حداکثر بارش برف نیز کمتر و برف سنگین زمستانه این منطقه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

نتایج حاصل از بررسی تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDSI نیز نشان داد که سطح برف پوشان در شهرستان همدان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با کاهش روبرو بوده است به‌طوری‌که از حدود ۲۰ درصد پوشش برفی نسبت به مساحت کل شهرستان، به حدود ۷ درصد طی دهه اخیر رسیده و ذخایر آب را با مشکل جدی مواجه نموده است.

با توجه به نتایج حاصل از بررسی داده‌های ماهواره‌ای، در سه فصل زمستان، پاییز و بهار، روند ریزش برف در شهرستان همدان نزولی بوده است به‌طوری‌که ضریب روند نزولی تغییرات ریزش برف در فصل زمستان ۰/۳۹ نسبت به سال پایه (۱۹۹۲) کاهش است. ضرایب این روندها در فصل پاییز ۰/۳۷، و در فصل بهار ۰/۳۶ می‌باشد. این تغییرات را می‌توان نتیجه اندرکنش وقوع تغییرات آب‌وهوایی کره زمین و تغییر در عناصر اقلیمی دانست. به‌رحال کاهش ریزش برف عواقب مخربی در چرخه آب در شهرستان همدان داشته است به‌طوری‌که انباشت برف نسبت به سال پایه نیز کمتر شده و سرچشمه‌ها با خطر خشک شدن مواجه شده‌اند. در کل می‌توان گفت که شهرستان همدان به لحاظ منابع آب‌های زیرزمینی وابسته به بارش برف در ارتفاعات الوند می‌باشد. بنابراین با توجه به دغدغه‌های کمبود منابع آب و بالا بودن میزان وابستگی فضاهای طبیعی به ریزش‌های جوی در این منطقه، یافته‌های این تحقیق جهت هرگونه برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب می‌تواند سودمند باشد. آشکارسازی تغییرات رژیم بارش برف در منطقه مطالعات و تحقیقات بیشتری را می‌طلبد.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- ۱) احمدآبادی، علی؛ فتح اله زاده، محمد؛ کیانی، طیبه و عمادالدین، فاطمه. (۱۳۹۸). تعیین و بررسی سیرک‌های یخچالی اشترانکوه با استفاده از شاخص سطح نرمال شده پوشش برف (NDSI). هیدروژئومورفولوژی، ۵(۱۹)، ۱-۱۸.
- ۲) امینی نیا، کریم؛ لشکری، حسن و علیجانی، بهلول. (۱۳۸۹). بررسی و تحلیل نوسانات بارش برف سنگین در شمال غرب ایران. مجله فضای جغرافیایی، ۱۰(۲۹)، ۱۳۵-۱۶۳.

- (۳) ایلدرمی، علیرضا؛ حبیب نژادروشن، محمود؛ صفری شاد، مهتاب و دلال اوغلی، علی. (۱۳۹۴). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و شاخص NDSI به‌منظور تهیه نقشه پوشش برف (مطالعه موردی حوضه آبخیز بهار). *فضای جغرافیایی*، ۱۵(۵۰)، ۱۲۵-۱۴۰.
- (۴) رایگانی، بهزاد، سلطانی کوپایی، سعید، خواجه الدین، سیدجمال‌الدین و براتی، سوسن. (۱۳۸۷). استفاده از تصاویرهای ماهواره‌ای MODIS و شاخص NDSI به‌منظور تهیه نقشه‌های پوشش برفی. *منابع طبیعی ایران*، ۴۱(۴)، ۵۲۵-۵۳۶.
- (۵) سیفی هوشنگ. (۱۴۰۰). برآورد سطح پوشش برف از طریق تکنیک‌های شیء‌گرا با استفاده از تصاویر سنجنده های OLI و TIRS. *مطالعه موردی: کوهستان سبلان. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۱ (۶۳): ۱۹-۳۷.
- (۶) فرج زاده، منوچهر. (۱۳۸۴). *خشک‌سالی از مفهوم تا راهکار*. تهران: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- (۷) محمدپور، آیت و محمدپور، رقیه. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات سطح پوشش برف استان اردبیل با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷)، *دومین کنفرانس بین‌المللی ایده‌های نوین در کشاورزی، محیط‌زیست و گردشگری، اردبیل، مؤسسه حامیان زیست اندیش محیط آرمانی*.
- (۸) محمدی، احمد؛ محمودی، پیمان و خورانی، اسداله. (۱۳۹۸). تغییرات پوشش برف در رشته‌کوه زاگرس با استفاده از داده‌های روزانه سنجنده MODIS، *فیزیک زمین و فضا*، ۴۵(۲)، ۳۵۵-۳۷۱.
- (۹) میرموسوی، سیدحسین و صبور، لیلا. (۱۳۹۳). پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه شمال غرب ایران. *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۱۲(۳۵)، ۱۸۱-۲۰۰.
- (۱۰) نکونام، زری و مزیدی، احمد، (۱۳۸۹). تحلیل پوشش برف در حوضه فخرآباد یزد، *چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان*.

References

- 1) Ahmad Tahir, A., Chevallier, P., Arnaud, Y., & Ahmad, B. (2011). Modeling snowmelt-runoff under scenarios in the Hunza river basin, Karakoram Range, northern Pakistan. *Journal of hydrology*, 409(2), 104-117.
- 2) Antonio, J.L., Eulogio, P.I., & David, P.V. (2016). Estimation of snowpack matching ground-truth data and MODIS satellite-based observations by using regression kriging. *Geophysical research abstracts*, 18, 143-168.
- 3) Assaf, H. (2007). Development of an energy-budget snowmelt updating model for incorporating feedback from snow course survey measurements. *Journal of Engineering, Computing and Architecture*, 1(1), 155-67.
- 4) Bai, L., Shi, C., Shi, Q., Li, L., Wu, J., Yang, Y. & Meng, J. (2019). Change in the spatiotemporal pattern of snowfall during the cold season under climate change in a snow-dominated region of China. *International Journal of Climatology*, 39(15), 5702-5719.
- 5) Cochand, F., Therrien, R., & Lemieux, J. M. (2019). Integrated hydrological modeling of climate change impacts in a snow-influenced catchment. *Groundwater*, 57(1), 3-20.
- 6) Dariane, A; Khoramian, A; Santi, E. (2017). Investigating spatiotemporal snow cover variability via cloud-free MODIS snow cover product in central Alborz region, *Remote sensing of environment*, 1-14.
- 7) Giroto, M., Musselman, K. N., & Essery, R. L. (2020). Data assimilation improves estimates of climate-sensitive seasonal snow. *Current Climate Change Reports*, 6(3), 81-94.
- 8) Hall, D.K., & Riggs, G.A. (2011). *Normalized-Difference Snow Index (NDSI)*. In: Singh, V.P., Singh, P., Haritashya, U.K. (eds) *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2_376
- 9) Hamidi, O., Tapak, L., Abbasi, H., & Maryanaji, Z. (2018). Application of random forest time series, support vector regression and multivariate adaptive regression splines models in prediction of snowfall (a case study of Alvand in the middle Zagros, Iran). *Theoretical*

- and *Applied Climatology*, 134(3), 769-776.
- 10) Ikeda, K., Rasmussen, R., Liu, C., Newman, A., Chen, F., Barlage, M., & Musselman, K. (2021). Snowfall and snowpack in the Western US as captured by convection permitting climate simulations: current climate and pseudo global warming future climate. *Climate Dynamics*, 57(7), 2191-2215.
 - 11) Jain, S.K., Goswami, A. & Saraf, A.K. (2010). Assessment of Snowmelt Runoff Using Remote Sensing and Effect of Climate Change on Runoff. *Water Resour Manage*, 24, 1763–1777. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9523-1>
 - 12) Javadinejad, S., Dara, R., & Jafary, F. (2020). Climate change scenarios and effects on snow-melt runoff. *Civil Engineering Journal*, 6(9), 1715-1725.
 - 13) Jennifer Morin, a Paul Block, a, Balaji Rajagopalana,b and Martin Clarkb,. (2008) Identification of large scale climate patterns affecting snow variability in the eastern United States, *Int. J. Climate*, 28, 315–328. DOI: 10.1002/joc.1534
 - 14) Lee, S. H., & Kang, J. E. (2019). Risk assessment of heavy snowfall considering climate change: focusing on damage to roads and buildings. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 19(2), 57-68.
 - 15) Lertzman-Lepofsky, G. F., Kissel, A. M., Sinervo, B., & Palen, W. J. (2020). Water loss and temperature interact to compound amphibian vulnerability to climate change. *Global Change Biology*, 26(9), 4868-4879.
 - 16) Liang, D.; H. Guo, L. Zhang, Y. Cheng, Q. Zhu, & X. Liu. (2021). Time-series snowmelt detection over the Antarctic using Sentinel-1 SAR images on Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 256, 112318. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112318.
 - 17) Liu, Z., Herman, J. D., Huang, G., Kadir, T., & Dahlke, H. E. (2021). Identifying climate change impacts on surface water supply in the southern Central Valley. *California. Science of the Total Environment*, 759, 143429.
 - 18) Livada, I., Charalambous, G., & Assimakopoulos, M. (2008). Spatial and temporal study of precipitation characteristics over Greece, *Theor. Appl. Climatol*, 93, 45-55.
 - 19) Musselman, K. N., Addor, N., Vano, J. A., & Molotch, N. P. (2021). Winter melt trends portend widespread declines in snow water resources. *Nature Climate Change*, 11(5), 418-424.
 - 20) Ohba, M., & Sugimoto, S. (2020). Impacts of climate change on heavy wet snowfall in Japan. *Climate Dynamics*, 54(5), 3151-3164.
 - 21) Riggs, G. A. (2019). *MODIS Snow Products Collection 6.1 User Guide*. Version 1.0, April 2019, 66 pp.
 - 22) Robeson. M. (1997). Statistical consideration, in Russell. D. Thompson and Allen, perry *Applied climatology practice*.352p.first published. Routledge. London
 - 23) Siirila-Woodburn, E. R., Rhoades, A. M., Hatchett, B. J., Huning, L. S., Szinai, J., Tague, C., & Kaatz, L. (2021). A low-to-no snow future and its impacts on water resources in the western United States. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(11), 800-819.
 - 24) Sneyers, R. (1990). On the statistical analysis of series of observation. *World Meteorological Organization (WMO)*. Technical Note. No. 143, Geneva: 192 pp.
 - 25) Tarawneh, Q., & Kadioğlu, M. (2003) An analysis of precipitation climatology in Jordan. *Theor. Appl. Climatol*, 74, 123–136. <https://doi.org/10.1007/s00704-002-0705-5>
 - 26) Tekeli, A. Emre., Akyurek, Z., Sorman, A. Arda., Sensoy, A. & Sorman, U., (2005). Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Eastern Part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97, 216-230.
 - 27) Tryhorn, L., & Degaetao, A. (2013). A methodology for statistical downsampling seasonal snow cover characteristics over the North United States. *International Journal of Climatology*, 33(12), 2728-21.
 - 28) Valeo, C., & Ho. C. L. I, (2004), Modelling urban snowmelt runoff, *Journal of Hydrology* 299, 237–25.
 - 29) Zeinivand, H., & De Smedt, F. (2010). Prediction of snowmelt floods with a distributed

- hydrological model using a physical snow mass and energy balance approach. *Nat Hazards* 54, 451–468. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9478-9>
- 30) Zhang, Y., Li, B., & Bao, A. (2007). Study on snowmelt runoff simulation in the Kaidu River basin. *SCI CHINA SER D* 50 (Suppl 1), 26–35.
- 31) Ahmad Abadi, A, Fathollahzadeh, M, Kiani, T, & Emadeddin, F. (2019). Using NDSI to Identify the Glacier Cirques of Oshtoranku. *Hydrogeomorphology*, 5 (19), 1-18.
- 32) Amininia, Ka, Lashkari, H., & Alijani, B, (2010). Investigating and Analyzing heavy snowfall fluctuations in northwestern Iran, *Journal of Geographical Space*, 10 (29), 135-163.
- 33) Ildromi, A., Habib Nejad -e -Roushan, M., Safari Shad, M., & Dealer Ugli, A. (2015). Application of MODIS Sensor and NDSI Index to Produce Snow Cover Map (Case Study of Bahar Watershed, Iran). *Journal of Geographical Space*, 15 (50), 125-140.
- 34) Raigani, B., Soltani Kupaei, S., Khajehuddin, S. J., & Barati, S. (2009). Using MODIS Images and NDSI Index for preparation snow cover maps. *Iranian Journal of Natural Resources*, 61(4), 525-536.
- 35) Seifi H. (2020). Estimation of snow cover through object-oriented techniques using image sensors OLI and TIRS (Case Study: Sabalan Mountain). *Journal of Applied Researches in Geographical Science*, 21 (63):19-37.
- 36) Farajzadeh, M. (2005). *Drought from Concept to Solution*. Geographical Organization of the Armed Forces, Tehran.
- 37) Mohammadpour, A., & Mohammadpour, Rh. (2016). Investigating changes in Ardebil province's snow coverage using Modis sensor images (2008-2009). *Second International Conference on Modern Ideas in Agriculture, Environment and Tourism*, Ardebil, Institute of Environmental Sponsors.
- 38) Mohammadi Ahmadmahmoudi, P., & Khoodrani, A. (2019). Snow Cover Changes of Zagros Range in 2001-2016 Using Daily Data of MODIS. *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(2), 355-371.
- 39) Mirmousavi, S. H., & Saboor, L. (2014). Monitoring the Changes of Snow Cover by Using MODIS Sensing Images at North West of Iran. *Geography and Development*, 12(35), 181-200.
- 40) Nekounam, Z and Mazidi, A, (2010), Snow coverage analysis in Yazd Fakh Abad Basin, *Fourth International Congress of Islamic World Geographers*, Zahedan.