

The study of spatial autocorrelation changes within decades of the annual average snow density in Northwest Iran

Zahra Heydari Monfared*¹ , Seysd Hossein Mirmousavi² , Hossein Asakereh³ , Koohzad Raispour⁴

1- (*Corresponding author) Doctoral student of hydrology and meteorology, Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: zhmonfared@znu.ac.ir

2- Associate professor of Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: hossein.mirmousavi@znu.ac.ir

3- Professor of Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: Asakereh1@yahoo.com

4- Assistant professor of Zanjan University, Zanjan, Iran. Email: raispour@znu.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2023/08/04

Date of last review:

2023/10/20

Date of accept:

2024/01/19

Date of online publication:

2024/02/18

Keywords:

Snow density,
 Spatial statistics,
 Spatial autocorrelation,
 Moran index,
 Hot spots,
 Cluster pattern,
 Northwest

Extended Abstract

Introduction

Snow-cover changes and related phenomena (especially depth, snow water equivalent and snow density) have a fundamental role in mountainous environments and strongly affect water availability in downstream areas. In this way, the importance of correct and appropriate analysis is more visible. Due to the fact that most of the rainfall falls in the form of snow in mountainous areas, the management of snow resources in these areas is very important, and knowing the different aspects of variability and geographical patterns governing the phenomenon of snow is a scientific and practical need. It is considered special in water resources and in the agricultural sector. Thus, in the current research, the spatio-temporal patterns governing the annual average of snow density in different decades and the difference of each of the decades compared to the entire time period have been estimated and analyzed using spatial statistics methods.

Materials & Methods

The studied area with an area of about 151,771.91 square kilometers is located between 34°44' to 39°25' north latitude from the equator and 44°3' to 49°52' east longitude from the Greenwich meridian. In order to investigate the spatial autocorrelation changes of the average snow density in northwest Iran during the years 1982-2022 from the data obtained from the database of the European Center for Medium-Range Atmospheric Forecasting ECMWF4/ ERA5 based on daily data, and to identify and understand the spatial patterns of density Barf, based on statistical and graphic models have been used in the geographic information system environment ... ► Page 98

How to Cite:

Heydari Monfared, Z. Mirmousavi, S.H. Asakereh, H. Raispour, K. (2026). The study of spatial autocorrelation changes within decades of the annual average snow density in Northwest Iran. Scientific -Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 34(136), 97-121.

In the study of temporal-spatial changes of the average snow density of the region in different time periods including 4 decades ((1982-1992), (1992-2002), (2002-2012), (2012-2022)) and the whole period of 41 years (2022) -1982)), general Moran's I and Getis-Ord G_i^* statistics were used. Also, in the current research, in order to investigate the effect of changes in Extreme snow precipitation on the amount of snow density in the northwest region, it has been done to determine the snow threshold. In order to estimate snow drift, a threshold was defined. Since the station snowfall amount data has a high dispersion, values above the mean cannot be accurate for defining the threshold of freezing snow. In this way, the 99th percentile index has been used to determine the snow threshold.

Results & Discussion

The aim of the current research is to investigate the spatial autocorrelation changes of the annual mean snow density in the northwest of Iran. For this purpose, the annual snow density data during the statistical period of 1982-2022 was obtained from the ECMWF/EAR5 database with a resolution of 0.25×0.25 degrees, and then divided into four ten-year periods. In order to analyze spatial autocorrelation changes, global Moran indices and hot spot analysis (Gettys-RDJ) were used at the significance level of 90, 95 and 99%. Also, in order to investigate the effect of extreme precipitation on changes in the level of snow density, the 99th percentile statistical index was used, and based on this index, the freezing threshold of each synoptic station in the region was determined during the last decade (2012-2022) and the interval the entire statistical period (1982-2002) was carried out. The results of the present research showed that in the studied area, snow density has spatial autocorrelation and a strong cluster pattern. With a density threshold less than 0.10 kg/m^3 , from the first decade to the end of the fourth decade, the area (number of pixels) and the amount of snow density in the northwest have decreased. The results of the analysis of the changes in precipitation in the 99th percentile showed that the amount of this type of precipitation has increased significantly during the last

decade of the study, and this has caused the snow density to increase relatively in the last decade compared to the first to third decades. However, in general, the amount of snow density in the entire northwest area has significantly decreased during the last four decades.

Conclusion

The evaluation of the temporal changes of snow density also strengthened the hypothesis of the occurrence of freezing snow precipitation leading to an increase in snow density in the months of cold seasons during the last decade. This point was confirmed by examining the statistical index of the 99th percentile of snowy days of each synoptic station in the region during the last decade (2009-2018) compared to the entire period of station statistics (2000-2018). The results of the analysis of the changes in precipitation in the 99th percentile showed that the amount of this type of precipitation has increased significantly in the last decade of the study and this has caused the snow density in the last decade to increase relatively compared to the first to third decades. However, in general, the amount of snow density in the entire northwest area has decreased significantly during the last four decades. Moran's statistic was used to explain the pattern governing snow density in northwest Iran. The results of Moran's index about the annual average of snow density showed that the values related to different time periods have a positive coefficient and are close to one, which indicates that the snow density data has spatial autocorrelation and has a cluster pattern. Also, the results of standard Z score and P-value confirmed the cluster significance of the spatial distribution of snow density in the northwest. Finally, the analysis of hot spots has been a clear confirmation of the continuation of concentration and clustering of snow density in northwest Iran in space with the increase of the time period, which mountainous areas have the first rank in the formation of hot clusters with a probability of 99%. have given.



مطالعه‌ی تغییرات خودهمبستگی فضایی درون دهه‌ای میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب ایران

زهرا حیدری منفرد*^۱، سیدحسین میرموسوی^۲، حسین عساکره^۳، کوهرزاد رئیس‌پور^۴

۱- *نویسنده مسئول) دانشجوی دکترای آب و هواشناسی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران zhmonfared@znu.ac.ir

۲- دانشیار، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران hosseini.mirmousavi@znu.ac.ir

۳- استاد، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران Asakereh1@yahoo.com

۴- استادیار، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران raispour@znu.ac.ir

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات خودهمبستگی فضایی میانگین سالانه‌ی تراکم برف پهنه‌ی شمال غرب ایران است. برای این منظور ابتدا داده‌های سالانه‌ی تراکم برف طی دوره‌ی آماری ۲۰۲۲-۱۹۸۲ از پایگاه داده ECMWF/EAR5 با تفکیک 0.25×0.25 درجه اخذ، و سپس به چهار دوره ده ساله تقسیم شد. به منظور تحلیل تغییرات خودهمبستگی فضایی، شاخص‌های موران جهانی و تحلیل لکه‌های داغ (گتیس-آرد جی) در سطح معنی‌داری ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای بررسی تأثیر بارش‌های فرین بر تغییرات سطح تراکم برف از شاخص آماری صدک ۹۹ استفاده شد و بر اساس این شاخص نسبت به تعیین آستانه‌ی برف فرین هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه طی دهه‌ی اخیر (۲۰۱۸-۲۰۰۹) و نیز بازه‌ی زمانی کل دوره‌ی آماری (۲۰۱۸-۲۰۰۰) اقدام شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در منطقه مورد مطالعه تراکم برف دارای خودهمبستگی فضایی و الگوی خوشه‌ای شدید است. با آستانه تراکمی کمتر از 0.10 کیلوگرم بر متر مکعب، از دهه اول تا پایان دهه چهارم از پهنه (تعداد پیکسل) و مقدار تراکم برف شمال غرب کاسته شده است. نتایج حاصل از بررسی تغییرات بارش‌های فرین در صدک ۹۹ نشان داد که میزان این نوع بارش در طی دهه آخر مورد مطالعه افزایش چشمگیری داشته و این موضوع سبب شده است تا تراکم برف در دهه آخر نسبت به دهه‌های اول تا سوم افزایش نسبی داشته باشد، هر چند در حالت کلی میزان تراکم برف در کل گستره شمال غرب در طی چهار دهه اخیر کاهش محسوسی داشته است.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۵/۱۳

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۲/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۱۱/۲۹

تاریخ انتشار:

۱۴۰۲/۱۱/۲۹

واژه‌های کلیدی:

تراکم برف؛

آمار فضایی؛

خودهمبستگی فضایی؛

شاخص موران؛

لکه‌های داغ؛

الگوی خوشه‌ای؛

شمال غرب

استناد به این مقاله:

حیدری منفرد، ز؛ میرموسوی، س.ح؛ عساکره، ح؛ رئیس‌پور، ک (۱۴۰۴) مطالعه‌ی تغییرات خودهمبستگی فضایی درون دهه‌ای میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب ایران؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۴ (۱۳۶)، ۹۷ - ۱۲۱.

مقدمه

مطالعات زیادی در ایران از جمله تحقیقات عفیفی (۱۴۰۰)، سیفی (۱۴۰۰)، انتظامی و همکاران (۱۴۰۰) و یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۹) اشاره نمود.

بخشی از مطالعات برف در سطح جهان و ایران در ارتباط با تحلیل سینوپتیکی این پدیده انجام شده است که می‌توان به پژوهش‌های وایلی و مرسر^۸ (۲۰۲۰)، سوریانو و همکاران^۹ (۲۰۱۹)، سوریانو و لیزرس^{۱۰} (۲۰۱۷)، هاشمی‌دوین و همکاران (۱۳۹۹)، مرادی و رنجبر سعادت آبادی (۱۳۹۹)، قصابی و همکاران (۱۳۹۹) و نخعی و همکاران (۱۳۹۷) اشاره کرد.

قسمتی از مطالعات در زمینه پدیده برف و ارتباط آن با پارامترهای جوئی به روش‌های آماری صورت گرفته که در ادامه به بخشی از آن‌ها اشاره می‌شود: لی و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۹)، هارتل و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۸)، شن و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۸)، بایناس-رودینو و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۸) و منجذب مرودشتی و همکاران (۱۴۰۰)، جهانبخش و همکاران (۱۴۰۰).

با توجه به اینکه در دهه‌های اخیر اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای مختلف اقلیمی از جمله برف مورد توجه محققین در سراسر جهان قرار گرفته است بخشی از مطالعات به این موضوع نیز اختصاص یافته است که به تعدادی از این مطالعات اشاره می‌شود: ایشیدا و همکاران^{۱۵} (۲۰۱۹)، ایتورسوننا و همکاران^{۱۶} (۲۰۱۹)، رایسانن^{۱۷} (۲۰۱۵)، گورمن^{۱۸} (۲۰۱۴) و حقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)، فتاحی و مقیمی (۱۳۹۸)، خزائی و همکاران (۱۳۹۷).

در رابطه با تحلیل تغییرات ویژگی‌های فضایی و زمانی پوشش برف مطالعات اندکی صورت گرفته است.

در سال‌های اخیر مناطق کوهستانی به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند، به طوری که این مناطق به عنوان دیده‌بان تغییرات و تحولات در اقلیم به حساب می‌آیند. تغییرات برف-پوش و پدیده‌های مرتبط (مخصوصاً عمق، آب معادل برف^۱ و تراکم برف^۲)، دارای نقش اساسی در محیط‌های کوهستانی و به شدت بر استحصال آب در مناطق پائین دست مؤثر هستند (ساری صراف و همکاران، ۱۳۹۱، ۶۵۱). در واقع برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی مناطق کوهستانی بوده که در تأمین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی به صورت جریان‌های تأخیری در فصول پرآبی و جریان‌های کمینه در فصول کم آبی و تولید انرژی نقش ارزنده ایفا می‌کند (میریعیوب‌زاده و قنبرپور، ۱۳۱۹؛ ۱۶۱). پدیده‌ی برف به همراه ویژگی‌های مورد مطالعه‌ی آن (تراکم برف) همواره رفتارهای متفاوت زمانی و مکانی از خود نشان می‌دهد. به این ترتیب اهمیت تحلیل درست و مناسب آن بیشتر نمایان می‌شود.

مطالعات متعددی در زمینه پدیده‌ی برف صورت گرفته است، که آن‌ها را می‌توان در چهار دسته‌ی استفاده از محصولات ماهواره‌ای، تحلیل‌های سینوپتیکی، روش‌های آماری و اثرات تغییر اقلیم بر آن ارائه نمود.

در زمینه به‌کارگیری دانش سنجش از دور و محصولات ماهواره‌ها (به‌منظور تخمین مشخصات پوشش برف مانند مساحت، پایش تغییرات آن در طول زمان و بررسی ویژگی‌های فضایی و زمانی آن) در جهان می‌توان به تحقیقات توماسوزکا و همکاران^۳ (۲۰۲۰)، آلستا و همکاران^۴ (۲۰۲۰)، هو و همکاران^۵ (۲۰۱۹)، گاسکوئین و همکاران^۶ (۲۰۱۹)، چوبین و همکاران^۷ (۲۰۱۹)، و به

8- Wiley And Mercer

9- Suriano & et al

10- Suriano & Leathers

11- Li & et al

12- Hartl & et al

13- Shen & et al

14- Bajjnath-Rodino & et al

15- Ishida & et al

16- Eythorssona & et al

17- Raisanen

18- Gorman

1- Snow Water Equivalent (SWE)

2- Snow Density

3- Tomaszewska & et al

4- Aalstad & et al

5- Hu & et al

6- Gascoïn & et al

7-Choubin & et al

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۳)

مطالعه‌ی تغییرات خودهمبستگی فضایی درون دهه‌ای میانگین سالانه‌ی تراکم برف ... / ۱۰۱

پژوهش‌هایی که در ایران به ارزیابی برف پرداختند، غالباً در زمینه‌ی ارزیابی سطح پوشش برف با تصاویر ماهواره‌ای بوده، در خصوص ارزیابی ویژگی‌های برف از جمله تراکم، عمق و ذوب برف با روش‌های آمار فضایی مطالعات محدودی انجام شده است. از جمله ساری صراف و همکاران (۱۳۹۸)، خودهمبستگی فضایی عمق برف را در پهنه‌ی شمالی ایران (۲۰۱۶-۱۹۸۰) مورد ارزیابی قرار دادند، که نتایج تحقیق نشان داد عمق برف در پهنه‌ی شمالی ایران دارای الگوی خوشه‌ای است. نقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)، در ارزیابی تغییرات روند عمق برف پهنه‌ی شمالی ایران طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۰ نشان دادند که، غالباً روند و شیب روند به دست آمده کاهشی و معنی‌دار است. با توجه به این که بخش اعظم بارندگی‌ها در مناطق کوهستانی به شکل برف نازل می‌شوند مدیریت بر منابع برفی در این نواحی دارای اهمیت فراوانی است و شناخت جنبه‌های مختلف تغییرپذیری و الگوهای جغرافیایی حاکم بر پدیده‌ی برف از نیازهای علمی و عملی به ویژه در منابع آب و در بخش کشاورزی به شمار می‌آید. به این ترتیب در پژوهش حاضر الگوهای مکانی-زمانی حاکم بر میانگین^۱ سالانه‌ی تراکم برف در دهه‌های مختلف و اختلاف هر یک از دهه‌ها نسبت به کل بازه‌ی زمانی، با استفاده از روش‌های آمار فضایی برآورد و مورد تحلیل قرار گرفته است.

یکی از رایج‌ترین شاخص‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری خودهمبستگی فضایی جهانی شاخص موران است. این گرایش رویدادها به خوشه‌بندی، را با شناسایی نقاطی که دارای ارزش ویژگی‌های مشابه و از نظر مکانی نزدیک به یکدیگر هستند، اندازه‌گیری می‌کند. شاخص‌های محلی ارتباط فضایی را می‌توان به‌عنوان اجزای یک شاخص جهانی تعریف کرد که ابزاری را برای تقسیم‌بندی یک آزمون خوشه‌بندی به مجموعه‌ای از آزمایش‌ها برای تشخیص خوشه‌های نقاط داغ^۵ با مقادیر بالا یا نقاط سرد^۶ با مقادیر پایین فراهم می‌کند (Dogru, 2017; 349). آماره موران یکی از بهترین شاخص‌ها برای تشخیص خوشه‌بندی است. این آماره مشخص می‌کند که آیا نواحی مجاور به‌طور کلی دارای

پژوهش‌هایی که در ایران به ارزیابی برف پرداختند، غالباً در زمینه‌ی ارزیابی سطح پوشش برف با تصاویر ماهواره‌ای بوده، در خصوص ارزیابی ویژگی‌های برف از جمله تراکم، عمق و ذوب برف با روش‌های آمار فضایی مطالعات محدودی انجام شده است. از جمله ساری صراف و همکاران (۱۳۹۸)، خودهمبستگی فضایی عمق برف را در پهنه‌ی شمالی ایران (۲۰۱۶-۱۹۸۰) مورد ارزیابی قرار دادند، که نتایج تحقیق نشان داد عمق برف در پهنه‌ی شمالی ایران دارای الگوی خوشه‌ای است. نقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)، در ارزیابی تغییرات روند عمق برف پهنه‌ی شمالی ایران طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۰ نشان دادند که، غالباً روند و شیب روند به دست آمده کاهشی و معنی‌دار است. با توجه به این که بخش اعظم بارندگی‌ها در مناطق کوهستانی به شکل برف نازل می‌شوند مدیریت بر منابع برفی در این نواحی دارای اهمیت فراوانی است و شناخت جنبه‌های مختلف تغییرپذیری و الگوهای جغرافیایی حاکم بر پدیده‌ی برف از نیازهای علمی و عملی به ویژه در منابع آب و در بخش کشاورزی به شمار می‌آید. به این ترتیب در پژوهش حاضر الگوهای مکانی-زمانی حاکم بر میانگین^۱ سالانه‌ی تراکم برف در دهه‌های مختلف و اختلاف هر یک از دهه‌ها نسبت به کل بازه‌ی زمانی، با استفاده از روش‌های آمار فضایی برآورد و مورد تحلیل قرار گرفته است.

داده و روش

منطقه مورد مطالعه با پنج استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل، زنجان و کردستان؛ با مساحت حدوداً ۱۵۱۷۷۱/۹۱ کیلومتر مربع بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (نگاره ۱). در بررسی تغییرات زمانی-مکانی میانگین تراکم برف منطقه در بازه‌های مختلف زمانی شامل چهار دهه ((۱۹۹۲-۱۹۸۲)، (۲۰۰۲-۱۹۹۲)،

2- European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF)

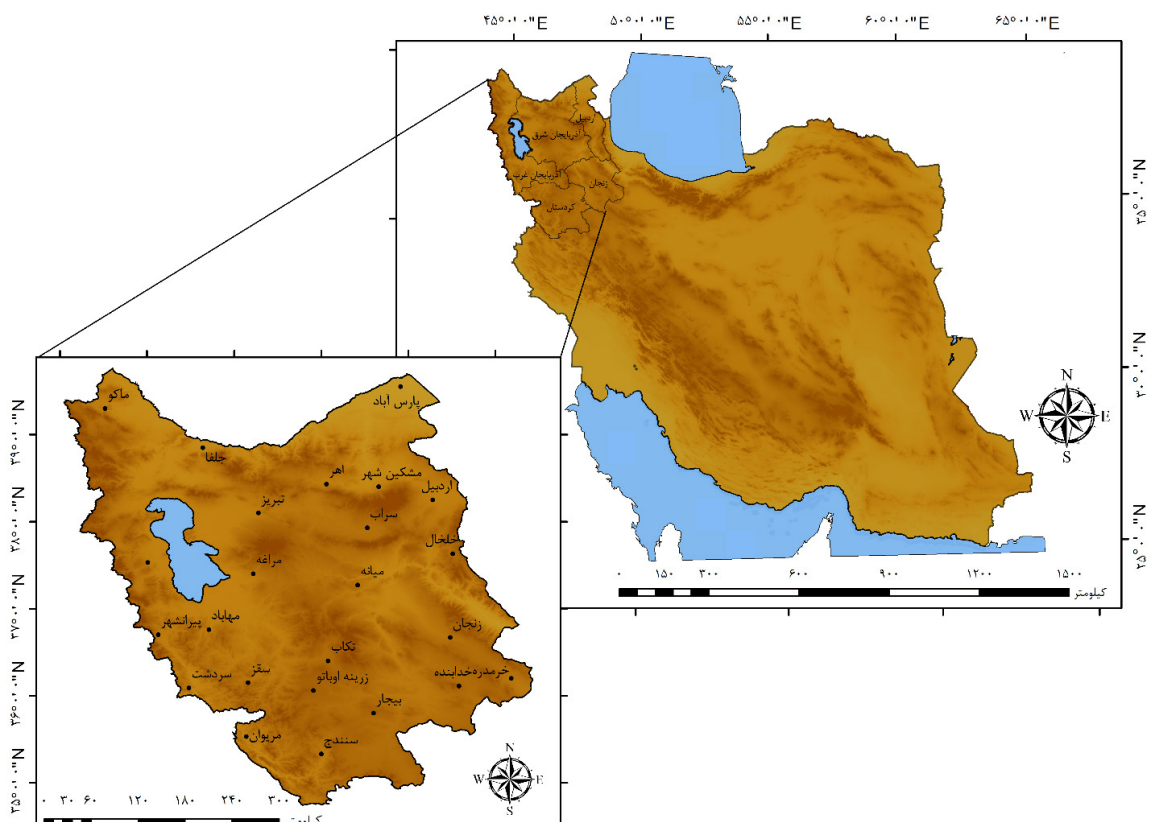
3- Geographic Information System

4- Global Moran Index

5- Hot Spots

6- Cold Spots

1- Mean



نگاره ۱: نقشه موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه‌ی منطقه‌ی شمال غرب ایران

آیا نقاط با تراکم بالا و یا نقاط با تراکم کم اطراف منطقه مورد مطالعه وجود دارد. اساس این شاخص تراکم نقاط همسایگی است. اگر ارزش یک نقطه به همراه ارزش نقاط همسایگی بالا باشد، آن منطقه بخشی از یک نقطه داغ است. بنابراین مجموع محلی برای یکی از نقاط و همسایه‌های آن نسبت به مجموع تمام نقاط محاسبه می‌شود. فرمول‌ها و فرایند محاسبه این شاخص در رابطه‌های ۲، ۳ و ۴ بیان شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۴).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - X \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad \text{رابطه ۴:}$$

ارزش‌های مشابه، و یا غیر مشابه هستند. شاخص موران طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود، که در آن تعداد نمونه‌ها، x_i مقدار متغیر در ناحیه i ، x_j مقدار متغیر در ناحیه j ، \bar{x} میانگین متغیر در کلیه نواحی و w_{ij} وزن به کار رفته برای مقایسه دو ناحیه i و j است. w_{ij} مشابه به یک ضریب همبستگی تفسیر می‌شود. مقادیر نزدیک +۱ نشان دهنده یک الگوی فضایی قوی هستند (سیف‌الدینی و منصوریان، ۱۳۹۰: ۵۸).

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{رابطه ۱:}$$

در پژوهش حاضر برای بررسی مناطقی با تراکم بالای برف که از نظر آماری نیز معنی‌دار هستند از شاخص گتیس و ارد استفاده شد. این شاخص یک شاخص محلی است که تراکم بالا یا پایین یک ساختار خوشه‌ای را نشان می‌دهد. ابزار تجزیه و تحلیل نقطه داغ آماره Getis-Ord G_i^* بیان می‌کند

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

مطالعه‌ی تغییرات خودهمبستگی فضایی درون دهه‌ای میانگین سالانه‌ی تراکم برف ... / ۱۰۳

(۲۰۱۸-۲۰۰۹) و نیز بازه‌ی زمانی کل دوره‌ی آماری (۲۰۱۸-۲۰۰۰) اقدام شد. دلیل انتخاب این دوره‌ی زمانی مورد بررسی، فقدان داده‌های ایستگاهی اخذ شده از سازمان هواشناسی کشور بوده است.

بحث

تغییرات فضایی-زمانی وسعت و مقدار نواحی تراکم برف، نکته‌ای مهم در مطالعه‌ی انباشتگی برف و ماندگاری آن است که عامل تأثیرگذاری در روند ذخیره سازی منابع آبی زیرزمینی محسوب می‌شود. در این پژوهش طی چهار دهه‌ی زمانی متوالی ((۱۹۹۲-۱۹۸۲)، (۲۰۰۲-۱۹۹۲)، (۲۰۱۲-۲۰۰۲)، ((۲۰۲۲-۲۰۱۲)) و کل دوره ۴۱ ساله (۲۰۲۲-۱۹۸۲)، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، طی ماه‌های فصول سرد سال در پهنه‌ی شمال غرب ایران به روش کریجینگ اقدام به درون‌یابی میانگین تراکم برف شد (نگاره‌های ۳، ۶ و ۸). در پژوهش حاضر به دلیل یکسان نبودن دامنه‌ی تغییرات مقدار تراکم برف در هر بازه‌ی زمانی، بر اساس خوشه‌های تراکم برف کل دوره‌ی آماری (۲۰۲۲-۱۹۸۲) اقدام به تعریف آستانه‌های تراکم برف شد. سپس با هر یک از آستانه‌های یکسان، تعداد پیکسل‌ها و نیز متوسط مقدار تراکم برف در هر یک از بازه‌های زمانی مدنظر برآورد شد. به‌این ترتیب بررسی تغییرات زمانی و مکانی تراکم برف پهنه‌ی شمال غرب با فراوانی پیکسل‌ها بر اساس آستانه‌های یکسان میسر شد. بررسی آماری متوسط تراکم برف شمال غرب نشان داد که میزان تراکم این پدیده بین ۰/۰۰۳ تا ۲۱/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب در فصل پاییز، دهه‌ی دوم ماه اکتبر و فصل زمستان، دهه‌ی اول ماه فوریه در نوسان است (جدول ۱). مقدار متوسط بالای تراکم برف در فصل زمستان قابل پیش‌بینی بوده، چرا که رژیم غالب بارش شمال غرب، زمستانه بوده و درصد عمده‌ای از بارش آن متأثر از بادهای غربی و توده‌های مدیترانه‌ای است. اگر چه شکل غالب بارش، عمدتاً باران (مایع) بوده؛ اما اشکال جامد بارش (به مانند

در این رابطه، G_i^* ضریب همیشگی حادثه i از n حادثه است. W فاصله مکانی بین نقطه i و j . X_i یک مقدار توصیفی برای نقطه یا عارضه i هستند. نمره Z حاصل از این مدل، حالاتی که مقادیر بالا یا پایین خوشه از نظر فضایی را دارند، شناسایی می‌کند. از نظر معنی‌داری آماری، نمرات Z مثبت و بزرگ‌تر، نشان می‌دهد که خوشه‌بندی مقادیر بالا (نقطه داغ) شدیدتر است، و نمرات Z منفی و کوچک‌تر نشان دهنده‌ی شدت خوشه‌بندی مقادیر پایین (نقطه سرد) است. نمره‌ی Z نزدیک به صفر نیز نشان‌دهنده عدم خوشه‌بندی فضایی آشکار است. ابزار تجزیه و تحلیل نقطه‌ی داغ، برای هر ویژگی در یک مجموعه داده، آمار G_i^* Getis-Ord را محاسبه می‌کند. نمره‌ی Z حاصل نشان می‌دهد که ویژگی‌های دارای مقادیر بالا یا پایین از نظر فضایی کجا خوشه‌بندی می‌شوند. این ابزار با نگاه کردن به هر ویژگی در بافت ویژگی‌های همسایه، کار می‌کند (Mrityunjoy & Nityananda, 2016; 3). همچنین در پژوهش حاضر برای بررسی اثر تغییرات بارش‌های برف فرین بر میزان تراکم برف در منطقه شمال غرب نسبت به تعیین آستانه برف فرین اقدام شده است. بارش‌های فرین در هر نقطه، به بارش‌های نابهنجار گفته می‌شود که در دنباله و دور از نقطه تمرکز توزیع فراوانی بارش آن نقطه قرار گرفته باشند (مظفری و همکاران، ۱۳۹۶؛ ۱۶۹). به‌منظور برآورد فرین یک آستانه تعریف شد. از آنجایی که داده‌های مقدار بارش برف ایستگاهی دارای پراکندگی زیاد هستند، ارزش‌های بالاتر از میانگین برای تعریف آستانه برف فرین نمی‌توانند دقیق باشند. به‌این ترتیب از شاخص صدک ۹۹ برای تعیین آستانه برف فرین استفاده شده است. روزهایی با بارش برف مساوی و بزرگ‌تر از صدک ۹۹ برای هر یک از ایستگاه‌های پهنه‌ی شمال غرب، یعنی ۱ درصد مشاهدات بیشتر از آن، بارش‌های فرین^۱ هر یک از ایستگاه‌ها را شامل می‌شود. بر اساس این شاخص نسبت به تعیین آستانه‌ی برف فرین هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه طی دهه‌ی اخیر

برای مقادیر ارائه شده در این جداول، متوسط ماهانه‌ی کشیدگی مشاهدات نیز در بازه‌های زمانی مدنظر مثبت برآورد شده است. کشیدگی با ارزش مثبت گویای تمرکز مشاهدات و توزیع نوک تیز است (عساکره، ۱۳۹۰؛ ۱۳۳). از این رو می‌توان چنین استنباط کرد که توزیع مشاهدات نسبت به یک توزیع قرینه (کمی) افراشته‌تر است. ماه‌های اکتبر و نوامبر نیز در دهه‌های مختلف زمانی کمترین مقادیر تراکم برف منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین تراکم برف به دست آمده در پهنه شمال غرب با $100/664$ کیلوگرم بر مترمکعب در دهه‌ی سوم ماه مارس به دست آمده است، که می‌تواند ناشی از انباشتگی برف حاصل از بارش‌های فصل زمستان باشد. همچنین تأثیر عامل ارتفاع و شرایط مهاجم سینوپتیکی بر بارش برف این منطقه کاملاً مشهود است. در رخداد زمانی گذار پایانی بهار - گذار آغازین پاییزی، نیمه‌ی شمالی ایران تحت تأثیر بادهای غربی موج بوده، که در رخداد زمان گذار پایانی پاییزی، پسروری بیشتر و تشدید تضعیف پرفشار جنب حاره در مقابل تقویت و گسترش قلمرو حلقه‌های بادهای غربی به طرف عرض‌های پایین‌تر شرایط مساعد بارش در منطقه را به وجود آورده است. در نهایت در رخداد زمان پس از دوره گرم نشان از تقویت و گسترش قلمرو حلقه بادهای غربی نمایان می‌شود (حلیان، ۱۳۹۰؛ ۱۵۳). به عبارتی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر آب و هوای منطقه شمال غرب ایران شرایط سینوپتیک و عوارض توپوگرافی محلی است. به طوری که فرا رسیدن سامانه‌های جوئی (توده‌های هوا) در مقیاس سینوپتیک اولین و مهم‌ترین عامل اثرگذار روی شرایط آب و هوایی منطقه در دراز مدت است (جهانبخش اصل و ذوالفقاری، ۱۳۸۱؛ ۲۶۱). به طور مثال برخورد هوای گرم و نسبتاً معتدل با هوای سرد مهاجم به ویژه در فصل‌های پاییز و زمستان منجر به تشکیل جبهه سرد منطقه در نتیجه بارش‌های شدید می‌شود (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۷۸؛ ۵۷).

برف) نیز عمدتاً در ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی بالا نمود پیدا می‌کند (صدقت و همکاران، ۱۴۰۱؛ ۲۵۶). با توجه به واریانس^۱ و انحراف معیار^۲ حاصل شده، بیشینه انحرافات تراکم برف از میانگین در فصل زمستان دهه‌ی چهارم ماه فوریه است. در فصل زمستان بیشینه مقدار متوسط تراکم برف در پهنه‌ی شمال غرب ایران در ماه فوریه $15/244$ کیلوگرم بر متر مکعب است. در دهه‌ی اول ماه فوریه (۱۹۹۲-۱۹۸۲)، بالاترین متوسط تراکم برف منطقه رخ داده که در دهه‌های بعدی (دهه دوم و سوم) کاهش یافته و در دهه‌ی چهارم (۲۰۲۲-۲۰۱۲)، نسبت به دو دهه‌ی قبل افزایش تراکم رخ داده است، که به نظر می‌رسد این مسئله ناشی از افزایش بارش‌های فرین در سال‌های اخیر باشد و این موضوع در پژوهش حاضر با بررسی تغییرات بارش برف در صدک ۹۹ مورد ارزیابی قرار گرفت. بیشترین مقدار انحراف معیار با مقادیر $13/274$ ، $12/454$ و $7/864$ به ترتیب در ماه‌های فوریه، ژانویه و مارس دهه‌ی چهارم اتفاق افتاده است. به این ترتیب می‌توان بیان کرد که بیشترین تغییرپذیری مقدار تراکم برف منطقه طی سال‌های اخیر در فصل زمستان، مخصوصاً ماه فوریه، رخ داده است. ضرایب چولگی^۳ و کشیدگی^۴ از عمده‌ترین توصیف‌گری‌های شکل و مقیاس توزیع بشمار می‌آیند. این دو ضریب به ترتیب انحراف توزیع از یک توزیع متقارن و کشیدگی - افراستگی آن را نسبت به یک توزیع متقارن بیان می‌دارند (عساکره، ۱۳۷۸؛ ۷۷). در محاسبه‌ی متوسط چولگی ماه‌های فصول سرد در بازه‌های زمانی متفاوت، مقادیر مثبت حاصل شده که این مقدار انحراف‌های بیشتر از صفر، بر چولگی قوی و مثبت (چوله به راست) دلالت دارد. بیشترین مقدار رخدادهای تراکم برف در مقادیر قبل از مقدار میانگین بوده، از این رو می‌توان استنباط کرد که مقادیر کم تراکم برف، بیشترین احتمال وقوع را به خود اختصاص داده‌اند (جدول‌های ۴-۲).

1- Variance

2- Standard deviation

3- Skewness

4- Kurtosis

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

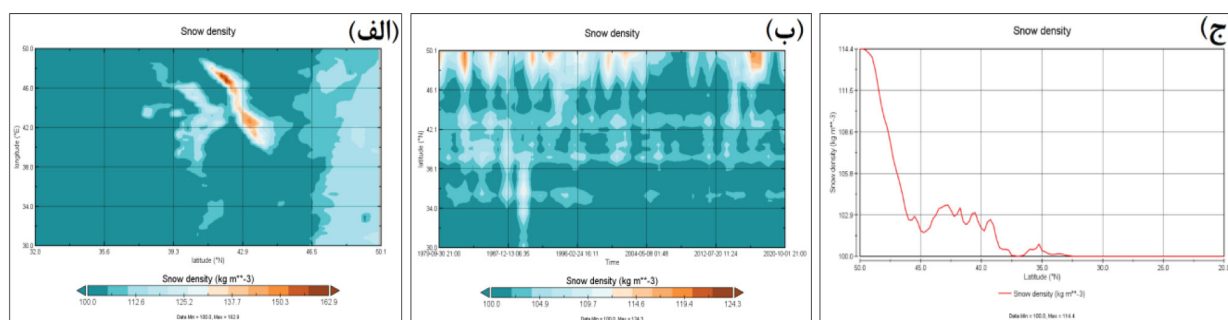
مطالعه‌ی تغییرات خودهمبستگی فضایی درون دهه‌ای میانگین سالانه‌ی تراکم برف ... / ۱۰۵

جدول ۱: مشخصات آماری تراکم برف ماهانه در پهنه‌ی شمال غرب ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

مبتنی بر پایگاه داده ECMWF/ERA5

مشخصه‌های آماری	بازه زمانی	زمستان				پائیز
		ژانویه	فوریه	مارس	اکتبر	
میانگین	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	۱۴/۴۸۰	۲۱/۵۱۵	۱۲/۶۷۴	۰/۰۳۵	۰/۸۳۰
	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	۹/۹۰۴	۱۲/۸۱۲	۷/۶۵۵	۰/۰۰۳	۰/۶۰۴
	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	۷/۱۶۶	۸/۹۳۵	۴/۰۶۱	۰/۰۰۵	۰/۴۸۱
	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	۱۲/۲۴۵	۱۷/۷۱۵	۷/۳۴۹	۰/۰۴۶	۰/۳۱۱
میانه (Median)	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	۱۳/۳۸۴	۱۹/۹۴۶	۹/۳۳۵	۰/۰۱۶	۰/۶۲۹
	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	۸/۴۲۵	۱۰/۵۱۴	۵/۱۹۰	۰/۰۰۰۵	۰/۳۳۷
	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	۴/۹۸۳	۵/۶۸۵	۰/۵۸۶	۰/۰۰۰۷	۰/۴۰۹
	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	۹/۵۹۸	۱۲/۹۳۹	۲/۴۰۷	۰/۰۰۲۳	۰/۲۱۷
واریانس	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	۵۵/۷۹۲	۱۴۷/۰۱۶	۱۴۰/۵۴۸	۰/۰۰۱	۰/۳۶۵
	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	۵۲/۱۸۵	۱۱۴/۱۶۰	۸۱/۱۴۵	۰/۰۰۰۰۳	۰/۴۴۸
	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	۵۶/۸۸۹	۱۲۰/۳۲۳	۹۸/۷۱۵	۰/۰۰۰۰۲	۰/۱۱۶
	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	۶۱/۸۴۸	۱۷۶/۱۹۵	۱۵۵/۱۰۰	۰/۰۱	۰/۱۰۳
انحراف معیار	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	۷/۴۶۹	۱۲/۱۲۵	۱۱/۸۵۵	۰/۰۴۳	۰/۶۰۴
	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	۷/۲۲۳	۱۰/۶۸۵	۹/۰۰۸	۰/۰۰۶	۰/۶۶۹
	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	۷/۵۴۲	۱۰/۹۶۹	۹/۹۳۶	۰/۰۱۴	۰/۳۴۱
	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	۷/۸۶۴	۱۳/۲۷۴	۱۲/۴۵۴	۰/۱۰۲	۰/۳۲۲
کشیدگی	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	۳/۴۳	۳/۴۳	۷/۶۰	۲/۲۹	۰/۴۳
	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	۴/۶۸	۷/۲۲	۱۱/۱۲	۵/۷	۵/۱۹
	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	۱۲/۶۱	۱۳/۷۵	۲۸/۲۰	۲۴/۸	۱/۰۳
	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	۰/۸۵	۲/۹۷	۱۱/۲۲	۱۰/۶۲	۴/۶۳
چولگی	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	۱/۳۸	۱/۳۳	۲/۳۴	۱/۶۵	۱/۱۲
	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	۱/۸۰	۲/۲۶	۲/۸۸	۲/۴	۲/۰۵
	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	۳/۱۰	۳/۲۴	۴/۶۹	۴/۵	۱/۰۹
	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	۱/۱۳	۱/۶۹	۳/۱۷	۳/۱	۲/۰۵
بیشینه (Maximum)	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	۵۲/۴۰	۸۲/۹۰۲	۸۶/۳۲۳	۰/۲۱	۲/۷۷۲
	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	۵۰/۲۵	۷۸/۶۸۷	۷۰/۹۳۰	۰/۰۳۱	۴/۱۹۰
	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	۴/۹۸	۹۲/۸۶۷	۱۰۰/۶۶۴	۰/۱۲۹	۱/۷۴۸
	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	۹/۵۹	۷۳/۱۶۰	۸۵/۲۷۷	۰/۷۵۱	۱/۷۰۷
کمینه (Minimum)	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	۰/۹۷	۱/۰۶۶	۰/۱۴۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۴۵
	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	۰/۶۰	۰/۴۹۱	۰/۰۷۰	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۱
	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	۰/۰۰۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۲۶
	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	۰/۷۷	۳/۱۵۰	۰/۰۰۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۹

با توجه به نیمرخ تغییرات مکانی تراکم برف ماه اکتبر پهنه‌ی شمال غرب ایران پدیده تراکم برف روی داده (نگاره ۲، الف)، در محدوده‌ی طول و عرض جغرافیایی است. همانطور که مشاهده می‌شود در خارج از محدوده‌ی



نگاره ۲: نیمرخ تغییرات مکانی (الف)، نیمرخ تغییرات زمانی (ب) و نیمرخ تغییرات مقدار (ج) میانگین تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب) در امتداد عرض‌های مختلف جغرافیایی ماه اکتبر در شمال غرب ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

۲. شمال غرب ایران، در عرض‌های جغرافیایی ۴۰ درجه‌ی شمالی به بالاتر، هسته‌های قوی تراکم برف با گستردگی زیاد ایجاد شده‌اند. در نیمرخ تغییرات زمانی تراکم برف در امتداد عرض جغرافیایی (نگاره ۲، ب)، در محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه (۳۴ الی ۵۰ درجه‌ی شمالی)، دهه‌ی اول بیشترین مقدار تراکم برف منطقه رخ داده است. طی دهه‌های دوم و سوم از گستردگی و مقدار تراکم برف کاسته شده که در دهه‌ی چهارم مجدداً هسته‌های تراکم نسبتاً بالا شکل گرفته است، که افزایش مجدد تراکم برف در سال‌های اخیر می‌تواند ناشی از رخداد بارش‌های فرین در این بازه‌ی زمانی باشد. همچنین با افزودن عرض جغرافیایی در پهنه‌ی شمال غرب ایران تراکم برف نیز افزایش می‌یابد، ولی به شدت افزایش تراکم در عرض‌های بالاتر (مخصوصاً عرض جغرافیایی ۴۵ درجه شمالی به بالاتر) نیست (نگاره ۲، ج). نکته قابل توجه، وجود تفاوت چشمگیر بین مقادیر تراکم برف در عرض‌های جغرافیایی مجاور (نمودارهای نگاره ۲) با مقادیر تراکم برف پهنه‌ی شمال غرب ایران است. در واقع متوسط تراکم برف منطقه حتی در پربارش‌ترین زمان خود، از میانگین تراکم برف عرض‌های مجاور کمتر است به عبارتی علاوه بر فقر بارش باران (مطالعات مرتبط مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷؛ ۹۴، قمقاسی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ۱۶۷ و بسیاری دیگر از پژوهش‌ها)، دچار فقر بارش برف نیز هست. فصل پاییز آغاز دوره نفوذ بادهای غربی بر محدوده ایران است. نفوذ این بادهای همراه با ناپایداری و رطوبت ابتدا از شمال غرب بوده، بنابراین انتظار می‌رود که بارندگی‌های دوره سرد سال ابتدا از این منطقه شروع شود. با این وجود در ماه اکتبر بارش برف و متقابلاً تراکم برف به نسبت سایر ماه‌های فصول سرد کم است (جدول ۲ و نگاره ۳).

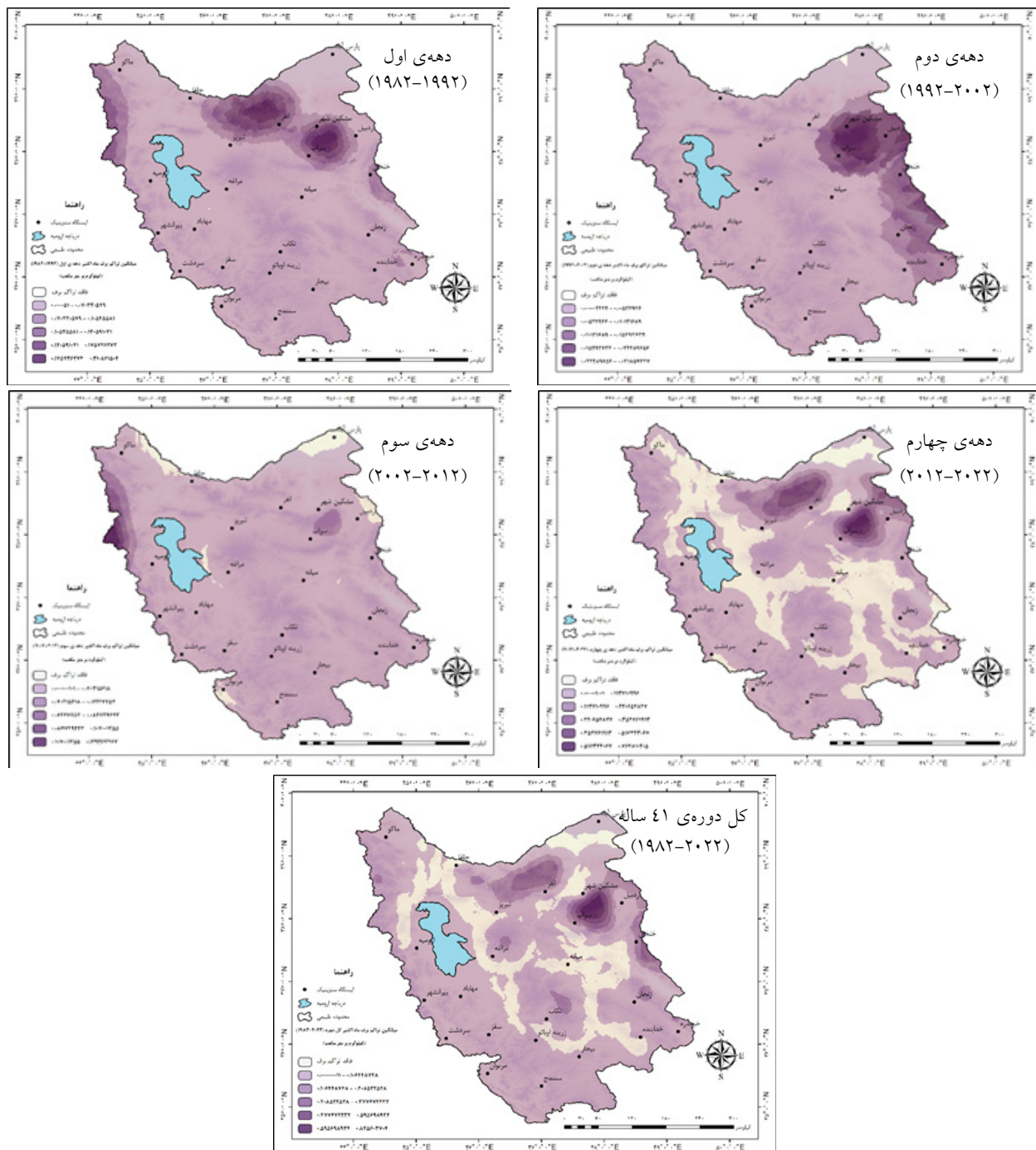
۲. فراوانی پیکسل پهنه‌های میانگین تراکم برف ماه اکتبر دهه‌های مختلف (کیلوگرم بر متر مکعب) بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال غرب ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

جدول ۲: فراوانی پیکسل پهنه‌های میانگین تراکم برف ماه اکتبر دهه‌های مختلف (کیلوگرم بر متر مکعب) بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال غرب ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

فراوانی پیکسل و متوسط مقدار تراکم برف ماه اکتبر در هر دهه					آستانه تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب)
کل دوره‌ی ۴۱ ساله (۱۹۸۲-۲۰۲۲)	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	
۰/۰۱۷ و ۳۹۲۲	۰/۰۱۱ و ۳۵۸۲	۰/۰۰۵ و ۵۴۵۴	۰/۰۰۳ و ۵۶۴۵	۰/۰۲۴ و ۵۰۷۱	≤۰/۱۰
۰/۲۲۲ و ۶۲۱	۰/۲۵۷ و ۶۰۶	۰/۱۱۶ و ۲۴	۰	۰/۱۴۰ و ۵۷۳	>۰/۱۰
۰/۳۶۲ و ۲۳۸	۰/۳۵۱ و ۳۳۳	۰	۰	۰/۲۰۴ و ۱۷	>۰/۲۰
۰/۵۷۶ و ۷۷	۰/۴۷۷ و ۱۲۴	۰	۰	۰	>۰/۳۷
۰/۷۱۲ و ۳۴	۰/۶۵۷ و ۱۸	۰	۰	۰	>۰/۵۹

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

مطالعه‌ی تغییرات خودهمبستگی فضایی درون دهه‌های میانگین سالانه‌ی تراکم برف ... / ۱۰۷



نگاره ۳: پهنه‌بندی میانگین تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب) دهه‌های مختلف ماه اکتبر در شمال غرب ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

داشته و باران کم تولید می‌کنند (علیچانی، ۱۳۸۹، ۱۳۸-۱۳۰). بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی میانگین تراکم برف طی دهه‌های مختلف ماه اکتبر در شمال غرب ایران (نگاره ۳) و نتایج

یکی از دلایلی که می‌تواند سبب کاهش بارندگی مخصوصاً در بخش شمالی منطقه شود، نفوذ توده‌های هوای سرد منطقه قفقاز است که گنجایش بخار آب کمتری

با آستانه‌ی ۰/۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب تراکم برف، نسبت به کل دوره‌ی آماری (۲۰۲۲-۱۹۸۲) به لحاظ گستردگی (تعداد پیکسل) (به‌طور متوسط ۲۸۶ پیکسل) و مقدار (به‌طور متوسط ۰/۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب) رفتار مشابهی داشته، ولی با آستانه‌ی ۰/۳۷ و ۰/۵۹ کیلوگرم بر متر مکعب تراکم برف، نسبت به بازه‌ی زمانی کل، (به همراه کاهش مقدار تراکم در هر دو آستانه) به ترتیب افزایش و کاهش تعداد پیکسل داشته است.

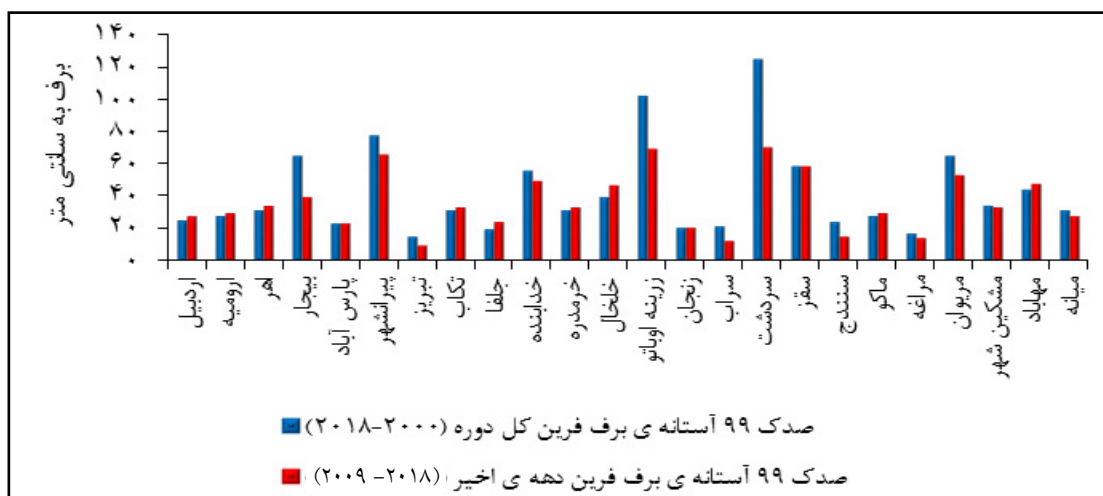
در کل می‌توان گفت که گستردگی (تعداد پیکسل) و مقدار تراکم برف در سال‌های اخیر (۲۰۲۲-۲۰۱۲) افزایش چشمگیری داشته است. این افزایش تراکم برف در دهه‌ی اخیر را می‌توان به افزایش رخداد‌های فرین مرتبط دانست. چنانچه در مقایسه شاخص آماری صدک ۹۹ روزهای برف فرین کل دوره‌ی آماری (۲۰۱۸-۲۰۰۰) با روزهای برف فرین دهه‌ی اخیر (۲۰۱۸-۲۰۰۹)، چنین نتیجه‌ای حاصل شد که آستانه‌ی صدک ۹۹ روزهای برفی دهه‌ی اخیر نسبت به آستانه‌ی صدک ۹۹ روزهای برفی کل دوره، مساوی و یا بیشتر شده است. به عبارت دیگر شدت فرین‌های سال‌های اخیر برای حدود ۵۴ درصد ایستگاه‌های شمال غرب افزایش یافته است. به‌طور مثال، بر اساس شاخص آماری صدک ۹۹، طی دوره‌ی آماری ۱۹ ساله، روزهایی با بارش برف که مساوی و بزرگتر از ۳۲ سانتی‌متر باشد به‌عنوان آستانه برف فرین ایستگاه اهر تعیین شد. در حالی که با همین شاخص طی دهه‌ی اخیر، روزهای با بارش برف که مساوی و بزرگتر از ۳۵ سانتی‌متر باشد به‌عنوان آستانه برف فرین ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه شمال غرب تعیین شد. به‌این ترتیب شدت وقوع بارش‌های فرین دهه‌ی اخیر، در بیش از نصف ایستگاه‌های منطقه افزایش داشته است (نگاره ۴).

هئیت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱، تغییرات احتمالی را در فراوانی و شدت رویدادهای شدید آب و هوایی^۲ توصیف کرده است (Hermida & et al, 2015; 175). بسیاری دیگر از پژوهش‌ها در دنیا و ایران نیز وجود دارند که حاکی

عددی آن در جدول ۲، فراوانی پیکسل‌های تراکم برف با آستانه‌ی تراکم برف کمتر از ۰/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب در هر چهار دهه و کل دوره به‌طور متوسط تعداد ۴۷۳۶ پیکسل بوده است. با این آستانه در دهه‌ی اول تقریباً کل پهنه‌ی شمال غرب ایران تراکم برف را به مقدار متوسط ۰/۰۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب تجربه داشته‌اند. همچنین در دهه‌ی دوم و سوم نسبت به دهه‌ی اول بر وسعت پهنه‌های تراکم برف کمی افزوده، در حالی که از مقدار آن کاسته شده است. به عبارت دیگر در پهنه‌های بیشتری از منطقه شمال غرب طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲ تراکم برف بشدت کاهش پیدا کرده است. در دهه‌ی چهارم با آستانه کمتر از ۰/۱۰ تعداد پیکسل‌های تراکم برف (پهنه‌های تراکم برف) کاسته شده است. ولی متوسط مقدار تراکم در این دوره نسبت به دو دهه‌ی قبل افزایش یافته در حالی که نسبت به دهه‌ی اول کاهش یافته است. دهه‌ی چهارم به لحاظ وسعت پهنه (تعداد پیکسل‌ها) و مقدار تقریباً شبیه به پهنه‌های تراکم برف کل دوره آماری رفتار نموده است. در حالی که پهنه‌های تراکم (تعداد پیکسل) در سه دهه‌ی اول نسبت به کل دوره بیشتر بوده، با این تفاوت که مقدار تراکم برف دهه‌ی اول نسبت به تمامی دهه‌ها و کل دوره بیشتر بوده است. در دهه‌ی دوم و سوم با کاهش شدید مقدار تراکم مواجه بوده سپس در دهه‌ی چهارم افزایش مقدار تراکم (به مقدار نصف تراکم دهه اول) رخ داده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که با آستانه تراکمی کمتر از ۰/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب، از دهه اول تا پایان دهه چهارم از پهنه (تعداد پیکسل) و مقدار تراکم برف شمال غرب کاسته شده است. طی دهه‌ی دوم با آستانه‌ی ۰/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب به بالا، تراکم برف در هیچ پهنه‌ی از منطقه شمال غرب قابل مشاهده نیست. در دهه‌ی سوم به بعد تعداد پیکسل‌های با این آستانه تراکم برف افزایش یافته است. این افزایش تعداد پیکسل و مقدار تراکم برف با آستانه‌های ۰/۲۰، ۰/۳۷ و ۰/۵۹ کیلوگرم بر متر مکعب همچنان در دهه‌ی چهارم نسبت به سه دهه‌ی قبل رخ داده است. تراکم برف دهه‌ی چهارم (۲۰۲۲-۲۰۱۲)

1- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)

2- Extreme Weather Events



نگاره ۴: نمودار صدک ۹۹ آستانه‌ی برف فرین دهه‌ی اخیر (۲۰۰۹-۲۰۱۸) و کل دوره‌ی آماری (۲۰۰۰-۲۰۱۸) ایستگاه‌های سینوپتیک شمال غرب ایران

روز از سال به صورت بارش‌های سنگین و ابرسنگین رخ می‌دهد (مسهودیان و دارند، ۱۳۹۲: ۳۹). در حالتی که ۶۰-۷۰ درصد گستره شمال غرب زیر پوشش بارش‌های فرین باشد، ماه‌های می، اکتبر و مارس با فراوانی‌های برابر (دو بار برای هر ماه)، فراوانی بیشینه را به خود اختصاص داده‌اند (عساکره و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۹). فراوانی و متوسط بارش‌های فرین غرب ایران تحت تأثیر ناهمواری‌ها و آرایش آنها و همچنین سامانه‌های هم‌دیدگی است (مظفری و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۶۹). به این ترتیب در پژوهش حاضر نیز با بررسی شاخص آماری صدک ۹۹ روزهای برفی دهه‌ی اخیر (۲۰۰۹-۲۰۱۸) نسبت به بازه‌ی زمانی کل دوره‌ی آماری (۲۰۰۰-۲۰۱۸) برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک شمال غرب، تأثیر رویدادهای فرین بارش برف بر هسته‌های دائمی تراکم برف منطقه آشکار می‌شود. در ادامه‌ی بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی شده تراکم برف دو ماه دیگر پاییز، در ماه دسامبر نیز هسته‌های تقریباً دائمی تراکم برف منطبق بر مناطق مرتفع طی دهه‌های متفاوت، در دهه‌ی اخیر از شدت بیشتری برخوردار بوده‌اند. این مسئله نیز با در نظر گرفتن وقوع پدیده‌ی فرین بارش برف قابل قبول است.

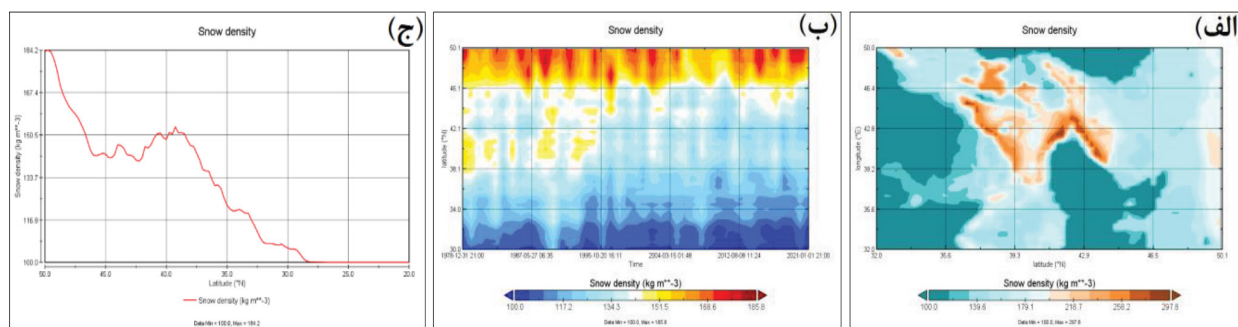
در بررسی بارش برف ماه‌های فصل زمستان می‌توان به این نکته اشاره داشت که، فراوانی تعداد موج‌های کوتاه

از موافقت با افزایش بارش‌های فرین در سال‌های اخیر هستند. به این ترتیب، تغییرات آب و هوایی اخیر با تغییر در فراوانی برخی از پدیده‌های هواشناسی مشخص می‌شود. به طوری که در دوره گرم سال همه ایستگاه‌های شرق رومانی (۲۰۰۸-۱۹۶۱) در تعداد روزهای بارانی (بارش غیرهمرفتی باران و برف) روند کاهشی معنی‌داری را نشان می‌دهند، در حالی که فراوانی بارش باران و برف (بارش همرفتی^۱) در حال افزایش است (Manea & et al, 2016; 357). فراوانی و شدت^۲ بارش‌های سنگین^۳ روزانه‌ی حوضه راین آلمان طی سال‌های ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۱ در تمامی فصول سال به جز تابستان (روند معکوس)، دارای روند افزایشی بوده است (Hundecha & Bardossy, 2005; 1189). افزایش بارش‌های فرین در بسیاری از نقاط دیگر روی داده است. چنان چه سهم رویدادهای بارش فرین در کل بارش شمال شرق پرتغال، عمدتاً در زمستان و بهار افزایش یافته است (Costa & et al, 2012; 2017). در ایران نیز نتایج پژوهش‌هایی مبنی بر افزایش بارش‌های فرین طی سال‌های اخیر وجود دارد. زمان رخداد بارش در مناطق جنوب غرب و غرب در سال‌های اخیر متمرکز شده و سهم بسیار زیادی از بارش سالانه در چند

1- convective precipitation

2- Precipitation Intensity

3- Heavy Precipitation



نگاره ۵: نیمرخ تغییرات مکانی (الف)، نیمرخ تغییرات زمانی (ب) و نیمرخ تغییرات مقدار (ج) میانگین تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب) در امتداد عرض‌های مختلف جغرافیایی ماه ژانویه در شمال غرب ایران (۲۰۲۲-۱۹۸۲)

تداوم تراکم برف بالاتری نسبت به سایر عرض‌ها برخوردار می‌شوند، به طوری که در این فصل در تمام ایران حاکمیت بادهای غربی به چشم می‌خورد (علیچانی، ۱۳۸۹، ۳۴ و ۹۵). به این ترتیب بادهای غربی بر آب و هوای منطقه حاکم بوده، و قسمت جلوی فرود مدیترانه بر آن مستقر شده است که موجب ناپایداری در منطقه می‌شود. با تشدید فعالیت بادهای غربی در فصل زمستان نفوذ پهنه‌های تراکم برف شدیدتر در محدوده عرض‌های جغرافیایی شمال غرب نیز نمایان‌تر می‌شود. هسته‌های تراکمی نسبتاً قوی در محدوده‌های ایستگاه‌هایی چون زرینه اوباتو (عرض جغرافیایی ۳۶/۰۶ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۴۶/۹۱ درجه شرقی) و مشکین شهر (عرض جغرافیایی ۳۸/۴۰ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷/۶۶ درجه شرقی) مستقر شده‌اند (نگاره ۵، الف). به مانند فصل پاییز عرض‌های شمالی‌تر از شدت و

افزایش تراکم برف ماه ژانویه حدوداً از عرض جغرافیایی ۲۸ درجه شمالی شروع شده و در محدوده شمال غرب ایران نیز این افزایش ادامه داشته است (نگاره ۵، ج). مقدار آستانه‌های تراکم برف شمال غرب در ماه ژانویه زمستان (جدول ۳ و نگاره ۶) به نسبت فصل پاییز حاکی از افزایش پدیده‌ی تراکم برف بوده است. با آستانه‌ی ۱۴/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب و کمتر در دهه‌ی اول پهنه‌ی شمال

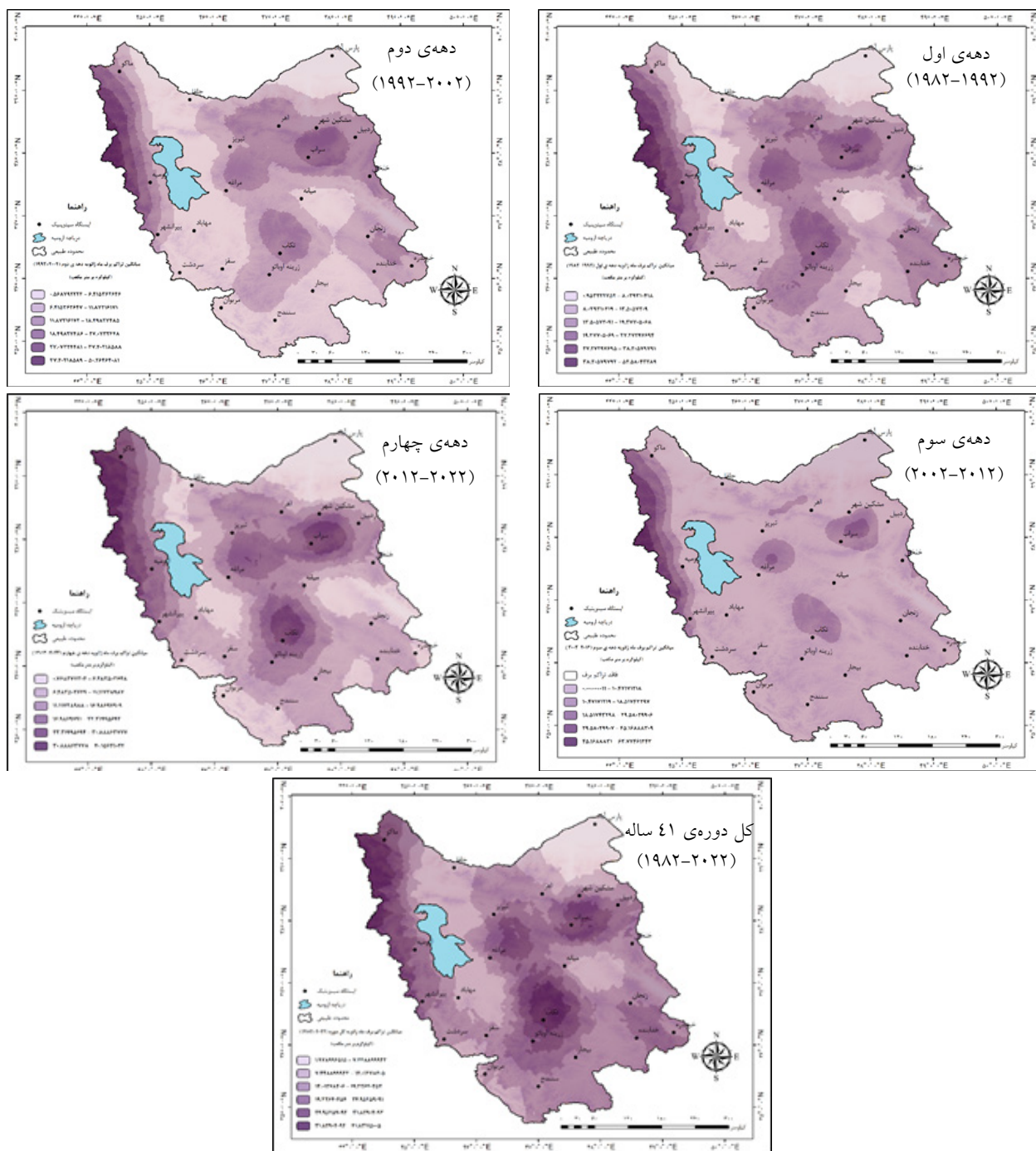
جدول ۳: فراوانی پیکسل پهنه‌های میانگین تراکم برف ماه ژانویه دهه‌های مختلف (کیلوگرم بر متر مکعب)

بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال غرب ایران (۲۰۲۲-۱۹۸۲)

فراوانی پیکسل و متوسط مقدار تراکم برف ماه ژانویه در هر دهه					آستانه تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب)
کل دوره‌ی ۴۱ ساله (۱۹۸۲-۲۰۲۲)	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	
۹/۵۲۱ و ۱۳۵۱	۷/۶۲۱ و ۳۷۷۶	۵/۰۹۹ و ۵۰۴۲	۶/۹۴۷ و ۴۴۰۹	۹/۳۳۰ و ۳۰۴۳	≤ ۱۴/۰۱
۲۱/۵۱۶ و ۴۲۹۳	۲۱/۵۸۹ و ۱۸۶۹	۲۴/۷۵۷ و ۵۹۵	۲۰/۴۶۲ و ۱۲۳۵	۲۰/۵۰۴ و ۲۶۰۱	> ۱۴/۰۱
۲۵/۸۰۰ و ۲۲۵۶	۲۵/۸۲۲ و ۱۰۲۵	۳۱/۰۸۲ و ۳۴۴۴	۲۷/۶۵۲ و ۴۶۹	۲۵/۷۷۹ و ۱۱۰۱	> ۱۹/۳۲
۳۰/۱۵۰ و ۱۰۶۸	۳۰/۳۳۳ و ۴۸۱	۳۵/۶۰۰ و ۲۳۲	۳۳/۰۲۹ و ۲۳۸	۳۲/۹۱۹ و ۴۰۶	> ۲۴/۹۵
۳۵/۶۴۹ و ۳۱۲	۳۵/۶۶۳ و ۱۵۹	۴۰/۸۴۹ و ۱۳۸	۳۷/۹۷۹ و ۱۲۵	۳۹/۴۴۰ و ۱۸۳	> ۳۱/۸۲

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

مطالعه‌ی تغییرات خودهمبستگی فضایی درون دهه‌های میانگین سالانه‌ی تراکم برف ... / ۱۱۱



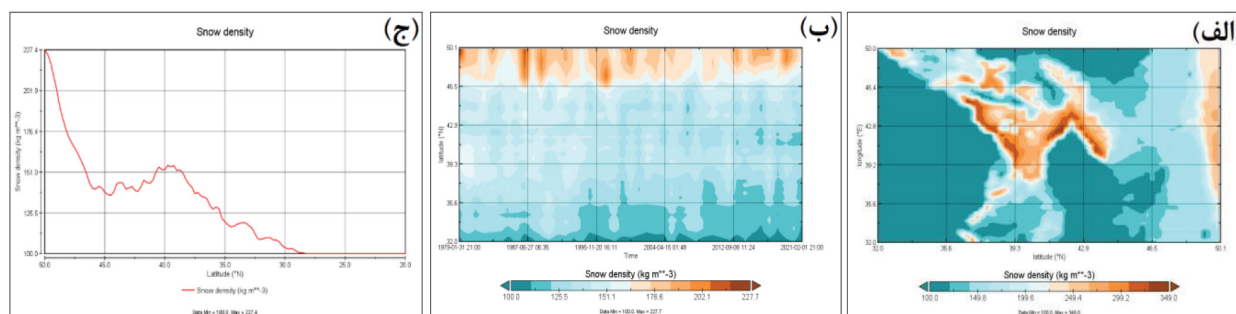
نگاره ۶: پهنه‌بندی میانگین تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب) دهه‌های مختلف ماه ژانویه در شمال غرب ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

افزوده شده، در حالی که از مقدار آن کاسته شده است. در واقع پهنه‌های بیشتری از شمال غرب طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲ تراکم برف با مقادیر کمتر اتفاق افتاده است. در دهه‌ی

غرب ایران تراکم برف را به مقدار متوسط ۹/۳۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب تجربه داشته است. همچنین در دهه‌ی دوم و سوم نسبت به دهه‌ی اول بر وسعت پهنه‌های تراکم برف

در ماه فوریه نفوذ بادهای غربی همراه با ناپایداری و رطوبت به مانند ماه ژانویه از بخش شمال غرب به سمت ایران بوده، با این تفاوت که از قدرت بیشتری برخوردار است. به مانند ماه قبل در بخش غربی منطقه مورد مطالعه و امتداد مسیر نفوذش در ایستگاه‌هایی چون زرینه اوباتو، مشکین شهر و سردشت (عرض جغرافیایی ۳۶/۰۹ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۴۵/۴۸ درجه شرقی) هسته‌های قوی تراکم برف شکل گرفته‌اند. نفوذ هسته‌های قوی‌تر تراکم برف به عرض‌های پایین‌تر حاکی از پیشروی عامل شکل‌گیری بارش یعنی بادهای غربی به عرض‌های پایین‌تر است (نگاره ۷، الف). دو سامانه هم‌دید- محلی تا بیش از ۹۰ درصد تغییرات مکانی بسیار زیاد بارش شمال غرب را توجیه می‌کند. کمترین سهم بارش حاصل از سامانه‌های هم‌دید در شمال شرقی (پهنه کم بارش، به مانند ایستگاه پارس آباد با عرض جغرافیایی ۳۹/۵۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷/۹۱ درجه شرقی) رخ می‌دهد. بنابراین سهم بارش حاصل از سامانه‌های محلی (بارش همرفتی، کوهستانی، جبهه‌های محلی و غیره) در این بخش بیشتر است. در حالی که متناسب با افزایش بارش سالانه، سهم سامانه‌های هم‌دید نیز فزونی می‌یابد. بخش‌های جنوب غربی شمال غرب ایران بیشینه‌ی بارش افزون‌تری از سامانه‌های هم‌دید را دریافت می‌دارند (عساکره و رزمی، ۱۳۹۰، ۱۵۳-۱۲۱). پیشروی تراکم برف با متوسط مقدار ۱۵۰ کیلوگرم

چهارم با آستانه کمتر از ۱۴/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب، تعداد پیکسل‌های تراکم برف (پهنه‌های تراکم برف) کاسته شده است. ولی متوسط مقدار تراکم در این دوره نسبت به دو دهه‌ی قبل افزایش یافته در حالی که نسبت به دهه‌ی اول کمتر شده است. دهه‌ی اول به لحاظ مقدار تراکم برف تقریباً شبیه به پهنه‌های تراکم برف کل دوره آماری رفتار نموده است. در حالی که در سه دهه‌ی قبل‌تر نسبت به کل دوره با مقدار کمتر، پهنه‌های تراکم (تعداد پیکسل) بیشتر بوده است. به عبارتی می‌توان گفت که دهه‌های اول تراکم برف تقریباً در مناطق بیشتر، در حالی که طی کل دوره مورد مطالعه این حجم از تراکم برف در مناطق محدودتر به مانند کوهستان‌ها رخ داده است. کاهش گستردگی (تعداد پیکسل) و افزایش مقدار تراکم برف در دهه‌ی سوم (۲۰۱۲-۲۰۰۲) با آستانه‌های تراکمی ۱۴/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب به بالاتر، نسبت به دهه‌های اول و دوم (۱۹۸۲ الی ۲۰۰۲)، می‌توان نتیجه گرفت که در این بازه زمانی تراکم برف با مقدار بیشتر در مناطق مرتفع منطقه تمرکز یافته‌اند. یعنی حجم زیادی از برف در محدوده‌ی کوچک‌تر (تعداد پیکسل‌های کم) تجمع یافته است. مجدداً در دهه‌ی چهارم تعداد پیکسل‌های تراکم برف با مقادیر کمتر (نسبت به دهه‌های اول) افزایش یافته است، که چنین فرضیه‌ای را شکل می‌دهد که در ماه ژانویه سال‌های اخیر مناطق کم ارتفاع بیشتری (با متوسط مقدار کمتری) درگیر پدیده‌ی تراکم برف بوده‌اند.



نگاره ۷: نیمرخ تغییرات مکانی (الف)، نیمرخ تغییرات زمانی (ب) و نیمرخ تغییرات مقدار (ج) میانگین تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب) در امتداد عرض‌های مختلف جغرافیایی ماه فوریه در شمال غرب ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)

مطالعه‌ی تغییرات خودهمبستگی فضایی درون دهه‌ای میانگین سالانه‌ی تراکم برف ... / ۱۱۳

جدول ۴: فراوانی پیکسل پهنه‌های میانگین تراکم برف ماه فوریه دهه‌های مختلف (کیلوگرم بر متر مکعب) بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال غرب ایران (۲۰۲۲-۱۹۸۲)

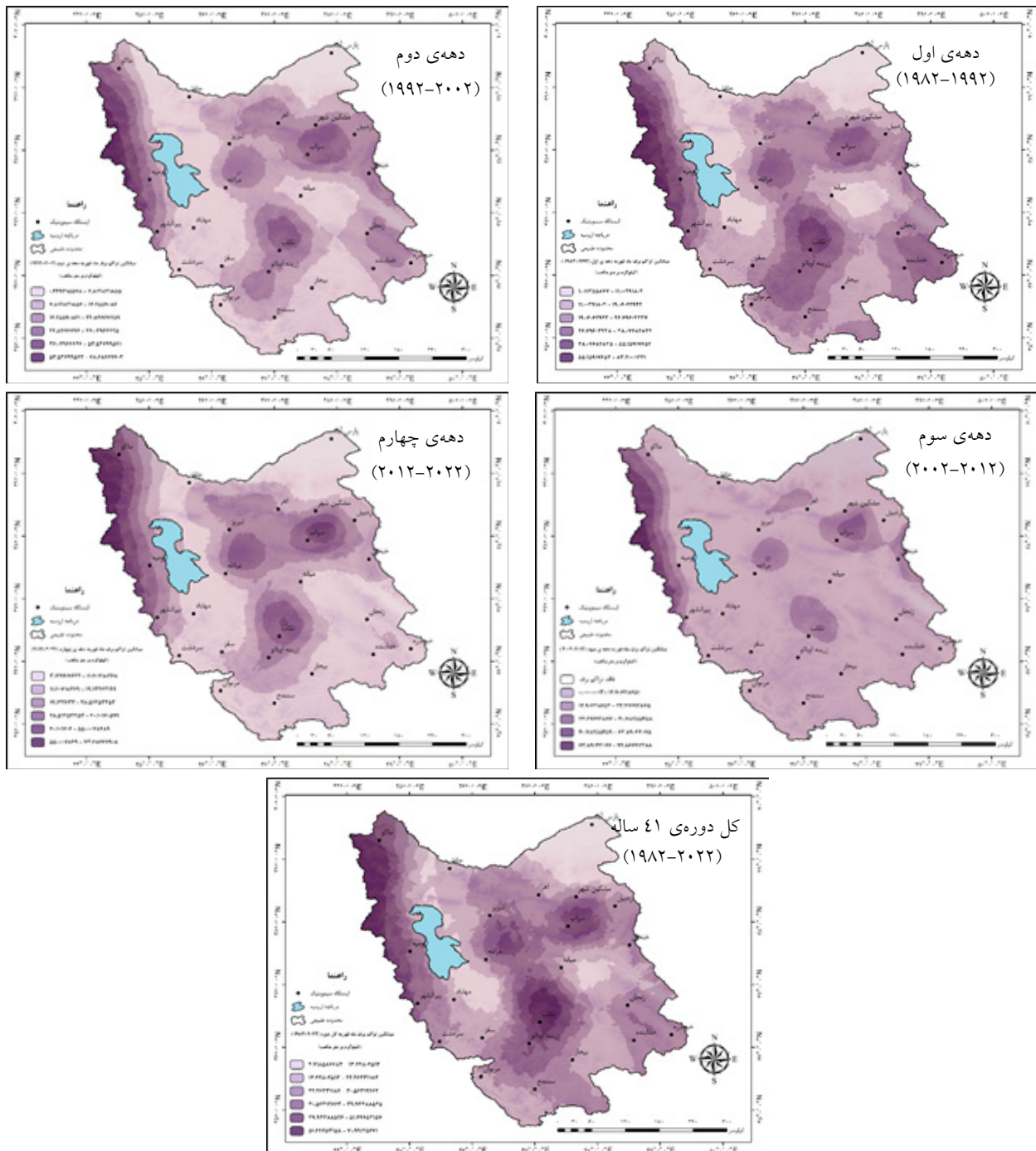
فراوانی پیکسل و متوسط مقدار تراکم برف ماه فوریه در هر دهه					آستانه تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب)
دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	دهه‌ی دوم (۲۰۰۲-۱۹۹۲)	دهه‌ی سوم (۲۰۱۲-۲۰۰۲)	دهه‌ی چهارم (۲۰۲۲-۲۰۱۲)	کل دوره‌ی ۴۱ ساله (۱۹۸۲-۲۰۲۲)	
۱۴/۲۹۰ و ۳۴۱۷	۹/۷۵۴ و ۴۹۶۵	۶/۴۱۸ و ۵۲۱۴	۴/۱۳۴ و ۱۱/۱۷۶	۱۵/۵۱۶ و ۲۱۴۱	≤۲۲/۲۶
۳۲/۶۰۰ و ۲۲۲۷	۱۳/۲۹۲ و ۵۴۱۳	۴۰/۱۰۰ و ۴۲۱	۳۵/۶۱۷ و ۱۵۱۰	۳۴/۰۸۶ و ۳۵۰۳	>۲۲/۲۶
۴۰/۹۰۱ و ۹۸۶	۴۴/۴۲۲ و ۳۴۱	۴۷/۸۵۴ و ۲۷۲	۴۳/۷۶۲ و ۸۲۷	۴۲/۱۱۲ و ۱۷۷۹	>۳۰/۵۶
۵۳/۱۲۹ و ۳۶۰	۵۲/۶۰۰ و ۱۸۸	۵۵/۵۹۳ و ۱۷۰	۵۳/۳۶۴ و ۳۹۷	۴۹/۵۱۳ و ۸۶۰	>۳۹/۹۳
۶۳/۴۵۷ و ۱۶۲	۶۱/۶۲۹ و ۸۶	۶۵/۳۳۰ و ۸۷	۶۱/۸۹۷ و ۱۹۹	۵۸/۲۸۲ و ۳۱۳	>۵۱/۴۴

هستند (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷: ۹۵). به عبارت دیگر به دلیل این که در ارتفاعات دما کمتر است بارش به صورت برف ظاهر می‌شود. از طرفی با وزش باد، برف در مناطق گود کوهستان‌ها متراکم خواهد شد (فرامرزی فرد و قاسمی، ۱۳۹۲: ۵)، در طی ۴۱ سال تراکم برف شمال غرب غالباً بر مناطق مرتفع منطقه شکل گرفته و منجر به شکل‌گیری هسته‌های تراکم برف تقریباً دائمی بر مناطق کوهستانی شده است. در آستانه ۵۶/۳۰ کیلوگرم به بالاتر، افزایش مقدار تراکم تا دهه‌ی سوم رخ داده و در دهه‌ی چهارم (با تعداد پیکسل بیشتر نسبت به دو دهه‌ی قبل) کاهش یافته است. می‌توان چنین برداشتی داشت که تراکم برف در سال‌های اخیر در محدوده گسترده‌تری با مقدار کمتر رخ داده است. در آستانه‌ی ۹۳/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب به بالاتر نیز، تراکم برف شمال غرب از دهه‌ی اول تا دهه‌ی چهارم به ترتیب کاهش و افزایش مقدار داشته است. این تغییرات نوسانی شکل مقدار تراکم در گذر بازه‌های زمانی به خوبی در نمودار نگاره ۷، ب؛ قابل مشاهده و بررسی است.

جدول ۵ نتایج عددی حاصل از خروجی گرافیکی پراکنده و یا خوشه‌ای بودن میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب در بازه‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد. ضریب خودهمبستگی غالباً بین +۱ و -۱ بوده، که مقادیر نزدیک +۱ خودهمبستگی مثبت و الگوی خوشه‌ای و مقادیر

بر متر مکعب در ماه فوریه به مراتب بیشتر از ماه ژانویه تا عرض‌های ۳۹ درجه شمالی بوده است. این پیشروی و نفوذ در دهه‌های اول (۱۹۸۲ تا ۲۰۰۲) بیشتر و مداوم‌تر رخ داده است. با گذر زمان در سال‌های اخیر از شدت و پیوستگی تراکم برف کاسته شده، با این وجود به نسبت ماه ژانویه از قدرت بیشتری برخوردار است (نگاره ۷، ب). روند افزایشی تراکم برف پهنه‌ی شمال غرب و مقدار آن در نمودار نگاره ۷، ج، به وضوح قابل مشاهده و بررسی است.

آستانه‌های تراکم برف شمال غرب در ماه فوریه نشان‌دهنده‌ی میزان افزایش آن نسبت به ماه‌های قبل است (جدول ۴ و نگاره ۸). در آستانه‌ی ۲۲/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب و کمتر، روند کاهشی در مقدار تراکم برف تا دهه‌ی سوم رخ داده و در دهه‌های چهارم افزایش مقدار تراکم برف صورت گرفته است. با توجه به افزایش مقدار تراکم برف (۱۱/۱۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در فضای محدودتر (تعداد پیکسل کمتر نسبت به دهه‌های قبل) فرضیه بارش‌های فرین مخصوصاً در مناطق مرتفع طی سال‌های اخیر مجدداً قوت می‌گیرد. این خارج از انتظار نیست که بارش برف بیشتر در مناطق کوهستانی دیده شود. چرا که روزهای برفی علاوه بر رطوبت و ناپایداری به شرایط حرارتی نیز بستگی دارند. چنانچه بخش‌هایی از کشور که دمای سالانه آن‌ها بیش از ۲۲ درجه سانتی‌گراد است به ندرت شاهد ریزش برف



نگاره ۸: پهنه‌بندی میانگین تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب) دهه‌های مختلف ماه فوریه در شمال غرب ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

نزدیک ۱- خودهمبستگی منفی و الگوی پراکندگی و نیز مقدار نزدیک به صفر الگوی تصادفی و غیر معنی‌دار داده‌ها را نشان می‌دهند. در تحلیل میانگین تراکم برف سالانه در پنج بازهٔ مختلف زمانی مورد مطالعه با آماره موران به‌طور کلی متوسط مقدار شاخص $0/715$ به دست آمده است. آن جا که عدد به دست آمده نزدیک به عدد مثبت یک است

جدول ۵: آماره موران کلی میانگین سالانه تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب) طی دهه‌های مختلف مورد بررسی در شمال غرب ایران

آماره		واریانس	نمایه موران مورد انتظار	نمایه موران	خودهمبستگی فضایی
P-value	Z				
۰	۲۹/۴۸۸۲۹۵	۰/۰۰۰۶۳۵	-۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۷۴۲۲۵۵	میانگین سالانه تراکم برف دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)
۰	۲۸/۹۱۲۴۰۲	۰/۰۰۰۶۳۴	-۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۷۲۷۵۸۳	میانگین سالانه تراکم برف دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)
۰	۲۷/۹۰۵۸۲۱	۰/۰۰۰۶۳۴	-۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۷۰۲۲۰۸	میانگین سالانه تراکم برف دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)
۰	۲۷/۵۰۵۰۸۳	۰/۰۰۰۶۳۴	-۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۶۹۲۰۳۰	میانگین سالانه تراکم برف دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)
۰	۲۸/۳۵۵۹۸۹	۰/۰۰۰۶۳۴	-۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۷۱۳۵۷۵	میانگین سالانه تراکم برف کل دوره (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

می‌گیریم که این خوشه‌بندی در مقادیر بالا و یا زیاد تراکم سالانه‌ی برف وجود دارد. یعنی بیشتر مکان‌های شمال غرب ایران که دارای مقادیر بالای تراکم برف هستند در کنار هم قرار دارند. اگر پراکندگی داده‌ها با فرض نرمال (تصادفی) صورت می‌گرفت، شاخص موران مورد انتظار در دهه‌های مدنظر باید مقداری برابر $۰/۰۰۰۶۵$ - را اختیار می‌نمود.

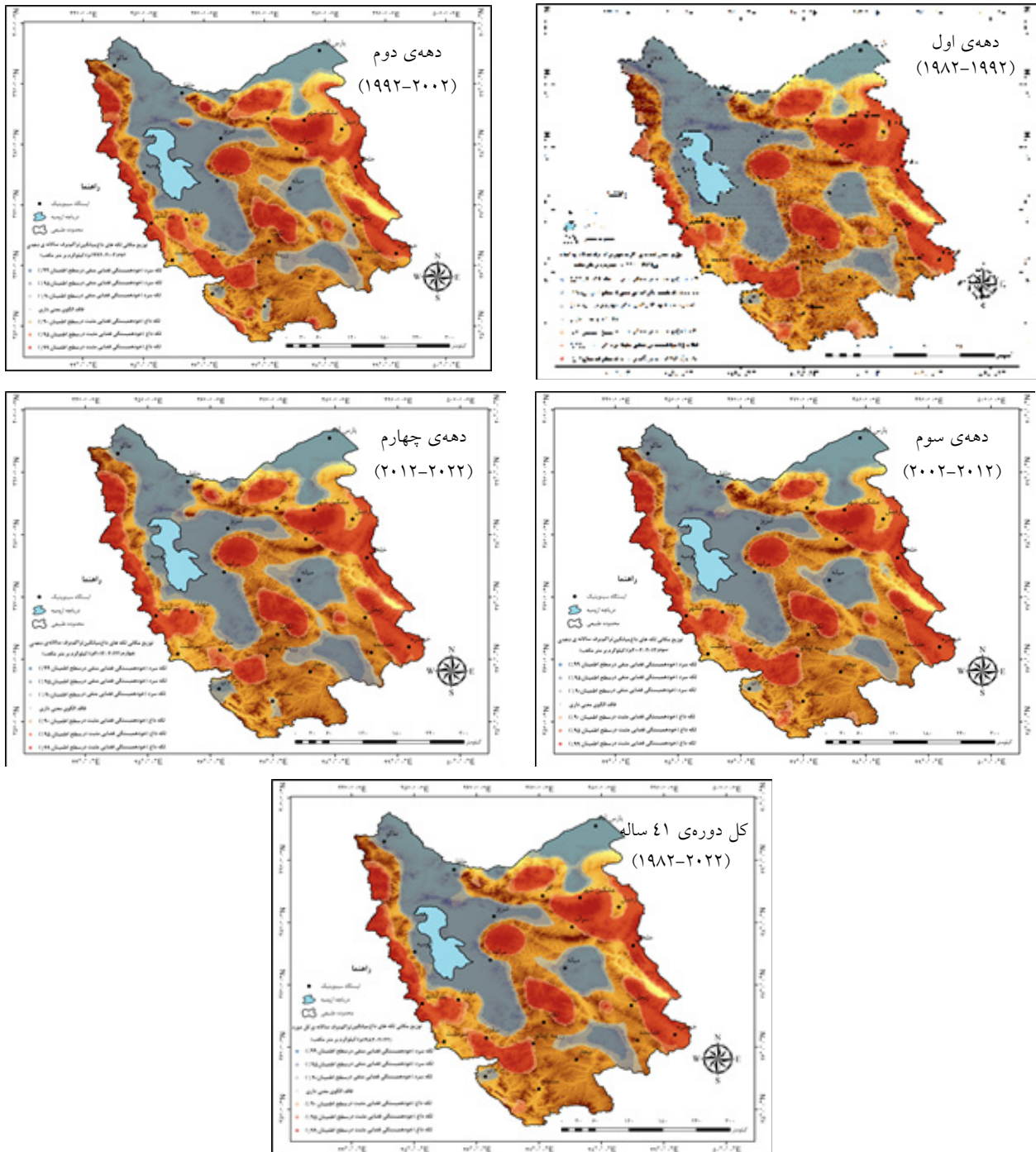
تحلیل لکه‌های داغ آماره گتیس-ارد جی را برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها محاسبه می‌نماید. امتیازهای Z محاسبه شده نشان می‌دهند که در کجای داده‌ها مقادیر زیاد و یا کم خوشه‌بندی شده‌اند. برای اینکه یک عارضه لکه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنی‌دار نیز باشد باید هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند دارای مقادیر بالا باشند. برای امتیاز Z مثبت و معنی‌دار از نظر آماری، هر چه امتیاز Z بزرگ‌تر باشد، مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و لکه داغ تشکیل می‌دهند. برای امتیاز Z منفی و معنی‌دار از نظر آماری، هر چه امتیاز Z کوچک‌تر باشد به معنای خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین خواهد بود که لکه‌های سرد را نشان می‌دهند (عسگری، ۱۳۹۰؛ ۷۵ و ۸۰). در نگاره ۹، محدوده‌های آبی رنگ محدوده‌هایی هستند که در آنها مقادیر کم میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب تجمع کرده‌اند و نواحی قرمز پر رنگ محدوده‌هایی هستند که در آنها مقادیر بالای میانگین سالانه تراکم برف منطقه متمرکز شده‌اند. نتایج بدست آمده از نگاره ۹ (نقشه پهنه‌بندی لکه‌های داغ تهیه شده به کمک شاخص G_i^* ، برای

بنابراین داده‌های تراکم برف دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای است. این آماره بر مبنای فرضیه صفر و فرضیه مقابل است.

فرضیه صفر (H_0): در دهه‌های مختلف مورد بررسی هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب (۲۰۲۲-۱۹۸۲) وجود ندارد.

فرضیه مقابل (H_1): در دهه‌های مختلف مورد بررسی خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب (۲۰۲۲-۱۹۸۲) وجود دارد.

بیش از آماره موران، آزمون معنی‌داری آن تحت فرض صفر (هیچ نوع خوشه‌بندی مکانی بین مقادیر سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب وجود ندارد) حائز اهمیت است. زمانی که مقدار P-value بسیار کوچک و قدر مطلق مقدار Z محاسبه شده بسیار بزرگ باشد آنگاه فرض صفر رد می‌شود و معنی‌داری روابط قابل استنباط است (به نقل از عساکره و حسینیجانی، ۱۳۹۷؛ ۱۱۳). طبق جدول نتایج آماره موران، برای آماره Z محاسبه شده در دهه‌های اول تا چهارم و کل دوره آماری ۴۱ ساله (۲۰۲۲-۱۹۸۲)، اعدادی بین ۲۷ الی ۲۹ حاصل شده است. با توجه به مقدار بالای Z و صفر بودن مقدار آماره P، فرض صفر (عدم وجود الگوی خوشه‌ای) در تمامی بازه‌های زمانی مورد مطالعه رد می‌شود. بر این اساس میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب در تمامی بازه‌های زمانی ذکر شده از الگوی خوشه‌ای معنی‌دار پیروی می‌کند. اکنون با توجه به اینکه مقدار Z علامت مثبت دارد نتیجه



نگاره ۹: پهنه‌بندی نقاط داغ میانگین تراکم برف (کیلوگرم بر متر مکعب) سالانه‌ی دهه‌های مختلف مورد مطالعه در شمال غرب ایران (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

مناطق کوهستانی متمرکز شده‌اند. خوشه‌های سرد (شامل مقادیر پایین تراکم برف) بیشتر در مناطق کم ارتفاع بخش شمالی منطقه و نواحی اطراف دریاچه ارومیه مشاهده

داده‌های میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب) نشان می‌دهد، که در دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)، لکه‌های داغ میانگین سالانه‌ی تراکم برف با احتمال ۹۹ درصد تقریباً بر

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های شبکه‌ای تراکم برف شمال غرب حاصل از پایگاه داده ECMWF/ERA5 در بازه‌های زمانی مختلف شامل دهه‌ی اول (۱۹۹۲-۱۹۸۲)، دهه‌ی دوم (۲۰۰۲-۱۹۹۲)، دهه‌ی سوم (۲۰۱۲-۲۰۰۲)، دهه‌ی چهارم (۲۰۲۲-۲۰۱۲) و کل دوره‌ی آماری ۴۱ ساله (۲۰۲۲-۱۹۸۲)، به بررسی و تحلیل مکانی-زمانی تراکم برف پرداخته شد. ابتدا در دوره‌های زمانی مورد مطالعه نقشه‌های پهنه‌بندی تراکم برف ماه‌های فصول سرد ترسیم شد و بر اساس این نقشه‌ها تغییرات میزان تراکم برف در دهه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی تراکم برف ماهانه‌ی فصول سرد منطقه، به دلیل نفوذ توده‌های هوای سرد قفقاز با گنجایش بخار آب کم، کمترین مقدار تراکم برف در ماه اکتبر بوده است. در مقابل به دلیل افزایش فعالیت بادهای غربی همراه با ناپایداری و رطوبت موج بلند مدیترانه، ماه فوریه بالاترین مقدار تراکم برف این منطقه را به خود اختصاص داده است. در بررسی تغییرات مکانی تراکم برف منطقه نیز می‌توان به تمرکز برف در بخش‌های کوهستانی به سبب کاهش دما اشاره داشت، که تقریباً در تمامی ماه‌های فصول سرد دهه‌های مختلف، هسته‌های دائمی تراکم برف دارند. ارزیابی تغییرات زمانی تراکم برف نیز فرضیه‌ی وقوع بارش‌های فرین برف منجر به افزایش تراکم برف ماه‌های فصول سرد طی دهه‌ی اخیر را قوت داد. این نکته با بررسی شاخص آماری صدک ۹۹ روزهای برفی هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه طی دهه‌ی اخیر (۲۰۱۸-۲۰۰۹) نسبت به کل دوره‌ی آمار ایستگاهی (۲۰۱۸-۲۰۰۰) مورد تأیید قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی تغییرات بارش‌های فرین در صدک ۹۹ نشان داد که میزان این نوع بارش در طی دهه آخر مورد مطالعه، افزایش چشمگیری داشته و این موضوع سبب شده است تا تراکم برف در دهه آخر نسبت به دهه‌های اول تا سوم افزایش نسبی داشته باشد، هر چند در نمای کلی میزان تراکم برف در کل گستره شمال غرب در طی چهار دهه اخیر کاهش محسوسی

می‌شود. در دهه‌ی دوم (۲۰۰۲-۱۹۹۲) مورد مطالعه، همچنان خوشه‌های داغ بر مناطق کوهستانی منطقه متمرکز شده‌اند. پیشروی این لکه‌ها در بخش غربی منطقه بیشتر است، در حالی که در مناطق کوهستانی مقابل آن (بخش شرقی منطقه) کمتر شده است. خوشه‌های سرد در همان نواحی دهه‌ی اول با کمی گستردگی استمرار داشته‌اند. در دهه‌ی سوم (۲۰۱۲-۲۰۰۲)، تداوم تمرکز خوشه‌های داغ بر مناطق کوهستانی با کمی گستردگی به سمت شرق منطقه ادامه داشته است. خوشه‌های داغ شامل بالاترین مقادیر میانگین سالانه‌ی تراکم برف، با احتمال ۹۹ درصد در کوهستان‌های شرق منطقه نیز مشاهده می‌شود. در عوض لکه‌های سرد بخش شمالی به سمت شرق و مرکز منطقه کشیدگی پیدا کرده‌اند. در دهه‌ی چهارم نیز شکل‌گیری خوشه‌های داغ بر مناطق کوهستانی ادامه داشته، در حالی که در بخش جنوب غربی وسعت خوشه‌های داغ کم شده و خوشه‌های سرد ایجاد شده‌اند. در بررسی خوشه‌های مقادیر زیاد و کم میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب در کل دوره‌ی آماری مورد مطالعه ۲۰۲۲-۱۹۸۲، به مانند هر چهار دهه مرور شده، تمرکز خوشه‌های داغ بر مناطق مرتفع واقع بوده و گسترده‌ترین خوشه سرد نیز در شمال شرق و شمال غرب منطقه و اطراف نواحی دریاچه ارومیه است. در واقع نواحی پست منطقه به تبع فقدان مجموعه عوامل تقویت‌کننده پدیده برفی مانند ارتفاع از سطح دریا رخداد برفی کمتری دارند و در نهایت می‌توان گفت که دریاچه ارومیه نقش مهمی در تعدیل پراکندگی و کاهش رخداد پدیده برفی را بر عهده دارد (منطبق بر یافته‌های فرامرزی فرد و قاسمی، ۱۳۹۲). نتایج روش لکه داغ نشان داد که الگوی توزیع فضایی میانگین سالانه‌ی تراکم برف در منطقه شمال غرب از نوع خوشه‌ای بالا است، که هر گروه از بازه‌های زمانی مذکور، تشکیل خوشه‌بندی فضایی داده‌اند. شدت تمرکز این خوشه‌بندی در برخی مناطق بالا و در برخی مناطق نیز پایین است. مهم‌ترین خوشه‌های داغ شامل مقادیر ارزشی بالای تراکم برف در مناطق کوهستانی منطقه شکل گرفته‌اند.

References

1. Aalstad, K., Westermann, S., & Bertino, L. (2020). Evaluating satellite retrieved fractional snow-covered area at a high-Arctic site using terrestrial photography. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111618. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111618>
2. Afifi, Mohammad Ebrahim. (1400). Investigating changes in snow cover extent and determining the snowmelt line in mountainous areas using MODIS imagery and the NDSI index (case study: Zagros glaciers). *Quarterly Journal of Geography and Environmental Studies*, 38, 25–36. <https://sanad.iau.ir/Journal/ges/Article/978896>
3. Alijani, Bohluol. (1389). *Climate of Iran* (10th ed.). Tehran: Payam Noor Publishing, pp. 1–221. <https://elmnet.ir/doc/31349318-66931>
4. Asakareh, Hossein. (1387). Spatial changes in the frequency distribution patterns of precipitation in Iran. *Nivar*, pp. 71–84. doi:10.22111/gdij.2011.514.
5. Asakareh, Hossein. (1390). *Fundamentals of Statistical Climatology* (1st ed.). Zanjan: University of Zanjan Press, pp. 1–545. <https://lib.ui.ac.ir/dL/search/default.aspx? Term=111106 & Field=0&DTC=1>
6. Asakareh, Hossein, & Hosseinjani, Leila. (1397). Modeling the spatial relationships of the monthly frequency of heavy precipitation events (cold seasons) in the Caspian region. *Geography and Environmental Hazards*, 28, 165–182. doi:10.22067/geo.v0i0.58731
7. Asakareh, Hossein, Tarkarani, Fatemeh, & Soltani, Soghra. (1391). Tempo-spatial characteristics of extreme daily precipitation in northwestern Iran. *Iran-Water Resources Research*, 8(3), 39–53. https://www.iwrr.ir/article_16693.html
8. Asgari, Ali. (1390). *Spatial Statistical Analyses with ArcGIS* (1st ed.). Tehran: Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization, pp. 1–127. <https://elmnet.ir/doc/30471054-1511>
9. Azizi, Ali, Katiraei, Farhad, & Rahmat Panah, Alireza. (1396). Spatial analysis of urban water network incidents using the Getis-Ord G_i^* index in a GIS environment, case study: Isfahan City. *First International Conference on Silk Road Geographic Information System (GIS)*. Paper ID: SILK01_051. <https://civilica.com/doc/717362/>

داشته است. به منظور تبیین الگوی حاکم بر تراکم برف در شمال غرب ایران از آماره موران استفاده شد. نتایج شاخص موران در مورد میانگین سالانه‌ی تراکم برف نشان داد که مقادیر مربوط به بازه‌های زمانی مختلف دارای ضریب مثبت و نزدیک به یک هستند که نشان از رد فرضیه عدم ارتباط فضایی میانگین سالانه‌ی تراکم برف شمال غرب (H_0) بوده است. این مسئله نیز حاکی از آن است که داده‌های تراکم برف دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای هستند. همچنین نتایج حاصل از مقادیر امتیاز استاندارد Z و مقدار P-Value، معنی داری خوشه‌ای بودن توزیع فضایی تراکم برف شمال غرب را مورد تأیید قرار داد. در نهایت تحلیل لکه‌های داغ تأییدی آشکار بر تداوم متمرکز شدن و خوشه‌ای شدن تراکم برف شمال غرب ایران در فضا با افزایش دوره زمانی بوده است، که مناطق کوهستانی رتبه‌ی اول در شکل‌گیری خوشه‌های داغ با احتمال ۹۹ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. در زمینه‌ی تحلیل‌های فضایی پدیده برف مطالعات کمی صورت گرفته، از جمله پژوهش ساری صراف و همکاران (۱۳۹۸) که خودهمبستگی عمق برف در پهنه‌ی شمال را مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند. در پژوهش حاضر، خودهمبستگی فضایی تراکم برف شمال غرب ایران مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از تغییرات زمانی و مکانی و نیز الگوسازی تراکم برف منطقه، می‌تواند در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری تخصیص منابع آب مورد استفاده قرار گیرند.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

the dynamic and synoptic factors contributing to heavy snowfall events in Tehran Province, a case study. *Nivar Scientific and Technical Journal*, 44(110-111), 29-42. https://nivar.irimo.ir/article_97156.html

20. Haghizadeh, Ali, Yousefi, Hossein, Yarahmadi, Yazdan, & Kiyani, Arman. (1399). Simulation of climate change impact on snowmelt runoff, case study: Sarab Seyed Ali Watershed, Lorestan Province. *Journal of Water and Irrigation Management*, 10(1), 101-112. <https://doi.org/10.22059/jwim.2020.293319.733>

21. Halabian, Amirhossein. (1390). Identifying the diversity of atmospheric circulation patterns in the mid-troposphere and the interaction of synoptic patterns affecting Iran. *Applied Research in Geographical Sciences*, 18(21), 131-156. <https://system.khu.ac.ir/jgs/article-1-607-fa.html>

22. Hartl, L., Fischer, A., & Olefs, M. (2018). Analysis of past changes in wet bulb temperature in relation to snow making conditions based on long term observations Austria and Germany. *Global and Planetary Change*, 167, 123-136. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.05.011>

23. Hashemi-Dovin, Mehri, Elahi-Gol, Ali, & Hadi-Zadeh, Mostafa. (1399). Synoptic-dynamic analysis of snow showers in North Khorasan during the 2011 to 2013 period, case study: Bojnord. *Nivar Scientific and Technical Journal*, 44(108-109), 129-145. https://nivar.irimo.ir/article_107456.html

24. Hermida, L., López, L., Merino, A., Berthet, C., García-Ortega, E., Sánchez, J. L., & Dessens, J. (2015). Hailfall in southwest France: Relationship with precipitation, trends and wavelet analysis. *Atmospheric Research*, 156, 174-188. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.01.005>

25. Hu, Z., Dietz, A. J., & Kuenzer, C. (2019). The potential of retrieving snow line dynamics from Landsat during the end of the ablation seasons between 1982 and 2017 in European mountains. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 78, 138-148. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.01.010>

26. Hundeche, Y., & Bárdossy, A. (2005). Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century. *International Journal of Climatology*, 25(9), 1189-1202.

10. Baijnath-Rodino, J. A., Duguay, C. R., & LeDrew, E. (2018). Climatological trends of snowfall over the Laurentian Great Lakes Basin. *International Journal of Climatology*, 38(10), 3942-3962. <https://doi.org/10.1002/joc.5546>

11. Costa, A. C., Santos, J. A., & Pinto, J. G. (2012a). Climate change scenarios for precipitation extremes in Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1-2), 217-234. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0528-3>

12. Costa, A. C., Santos, J. A., & Pinto, J. G. (2012b). Climate change scenarios for precipitation extremes in Portugal. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1-2), 217-234. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0528-3>

13. Dogru, A. O., David, R. M., Ulugtekin, N., Goksel, C., Seker, D. Z., & Sözen, S. (2017). GIS based spatial pattern analysis: Children with hepatitis A in Turkey. *Environmental Research*, 156, 349-357. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.04.001>

14. Entezami, Hirsh, Mojarad, Firooz, Daran, Mohammad, & Shahabi, Mohammad. (1400). Investigating trends in snow cover extent changes in the Sefid Rud Basin using remote sensing. *Geography and Environmental Sustainability*, 39, 1-18. <http://ges.razi.ac.ir/>

15. Eythorsson, D., Gardarsson, S. M., Ahmad, S. K., Hossain, F., & Nijssen, B. (2019). Arctic climate and snow cover trends: Comparing Global Circulation Models with remote sensing observations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.003>

16. Faramarzi-Fard, Sareh, & Ghasemi, Mohsen. (1392). Analysis of the relationships between spatial factors and snowy days in Iran. *Nivar*, 80-81, 3-14. https://nivar.irimo.ir/article_13178.html

17. Fattahi, Ebrahim, & Moghimi, Shokat. (1398). The effect of climate change on snow trends in northwestern Iran. *Applied Research in Geographical Sciences*, 54, 47-63. <https://jgs.khu.ac.ir/article-1-2828-en.pdf>

18. Gascoin, S., Grizonnet, M., Bouchet, M., Salgues, G., & Hagolle, O. (2019). Theia Snow collection: High-resolution operational snow cover maps from Sentinel-2 and Landsat-8 data. *Earth System Science Data*, 11(2), 493-514. <https://doi.org/10.5194/essd-11-493-2019>

19. Ghasabi, Zahra, Fathi, Maedeh, Rezazadeh, Parviz, & Ranjbar Saadatabadi, Abbas. (1399). Investigation of

35. Masoudian, Seyed Abolfazl, & Daran, Mohammad. (1392). Identification and assessment of changes in Iran's extreme precipitation indices over recent decades. *Geography and Regional Development*, 20, 239-257. https://jgrd.um.ac.ir/article_29708
36. Masoudian, Seyed Abolfazl, & Kaviani, Mohammadreza. (1387). *Climatology of Iran* (1st ed.). Isfahan: University of Isfahan Press, pp. 1-179. <https://elmnet.ir/doc/31185013-22842>
37. Miryaghoob-Zadeh, Mirhasan, & Ghanbarpour, Mohammadreza. (1398). Evaluating the application of MODIS satellite image derived snow cover maps in snowmelt runoff modeling (case study: Karaj Dam watershed). *Earth Sciences*, 76, 141-148. https://www.gsjournal.ir/article_55672.html
38. Monjazez Marvdashti, Shahrbanoo, Mazidi, Ahmad, Omidvar, Kamal, & Mozaffari, Gholamali. (1400). Investigating the influence of atmospheric parameters on snow cover in the Kuhrang watershed. *Nivar*, 112-113, 56-66. https://nivar.irimo.ir/article_131484.html
39. Moradi, Mohammad, & Ranjbar Saadatabadi, Abbas. (1399). Synoptic analysis of the Sistan and Baluchestan flood and the heavy snowfall in Gilan during winter 1398. *Geography and Environmental Hazards*, 35, 227-243. https://jm.um.ac.ir/article_39350.html
40. Mozaffari, Gholamali, Mazidi, Ahmad, & Shafiei, Shahab. (1395). Exploring the spatial relationships of extreme precipitation in western Iran. *Geography and Development*, 46, 169-184. https://journals.usb.ac.ir/article_3063.html
41. Naghizadeh, Habibeh, Rasouli, Aliakbar, Sari Sarraf, Behrooz, Jahanbakhsh, Saeid, & Babaeyan, Iman. (1398). Variability of the snow depth trend in northern Iran based on the ECMWF ERA-Interim dataset. *Geography and Environmental Hazards*, 30, 211-229. https://geoeh.um.ac.ir/article_33474.html
42. Nakhai, Omid, Haji Mohammadi, Hassan, & Feyzi Koushki, Fatemeh. (1397). Investigation of the atmospheric mechanism governing heavy snowfall events in Hamedan Province. *Quarterly Journal of Disaster Prevention and Crisis Management*, 3, 300-310. <http://dpmk.ir/article-1-231-fa>
43. O'Gorman, P. A. (2014). Contrasting responses of mean and extreme snowfall to climate change. <https://doi.org/10.1002/joc.1182>
27. Ishida, K., Ohara, N., Ercan, A., Jang, S., Trinh, T., Kavvas, M. L., Carr, K., & Anderson, M. L. (2019). Impacts of climate change on snow accumulation and melting processes over mountainous regions in Northern California during the 21st century. *Science of the Total Environment*, 685, 104-115. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.255>
28. Jahanbakhsh Asl, Saeid, Bayati Khatibi, Maryam, & Farshi Forough, Javad. (1378). Synoptic analysis of precipitation in northwestern Iran. *Journal of Agricultural Knowledge (University of Tabriz)*, 1, 55-69. <https://www.magiran.com/magazine/1313>
29. Jahanbakhsh Asl, Saeid, & Zolfaghari, Hassan. (1381). Investigating synoptic patterns of daily precipitation in western Iran. *Geographical Research*, 63-64, 234-258. <https://ensani.ir/fa/article/282825>
30. Jahanbakhsh Asl, Saeid, Sari Sarraf, Behroz, Raziei, Tayeb, & Parandeh Khouzani, Akram. (1399). An investigation on the spatiotemporal variability of snow season and its start and end dates in the mountainous region of Zagros. *Watershed Engineering and Management*, 12(1), 86 to 106. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.121685.1475>
31. Jana, M., & Sar, N. (2016). Modeling of hotspot detection using cluster outlier analysis and Getis-Ord G_i^* statistic of educational development in upper-primary level, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, Article 60. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0122-x>
32. Khazaei, Mohammadreza, Sherafati, Ahmad, & Khazaei, Hadis. (1397). Assessing the impact of climate change on maximum daily snowfall amounts, case study: Tehran. *Watershed Engineering and Management*, 2, 204-13. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.115664.1361>
33. Li, Q., Yang, T., Zhou, H., & Li, L. (2019). Patterns in snow depth maximum and snow cover days during 1961-2015 period in the Tianshan Mountains, Central Asia. *Atmospheric Research*, 228, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.05.004>
34. Manea, A., Birsan, M.-V., Tudorache, G., & Cărbunaru, F. (2016). Changes in the type of precipitation and associated cloud types in Eastern Romania (1961-2008). *Atmospheric Research*, 169, 357-365. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.10.020>

50. Shen, Y.-J., Shen, Y., Fink, M., Kralisch, S., Chen, Y., & Brenning, A. (2018). Trends and variability in streamflow and snowmelt runoff timing in the southern Tianshan Mountains. *Journal of Hydrology*, 557, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.035>
51. Suriano, Z. J., & Leathers, D. J. (2017). Synoptic climatology of lake-effect snowfall conditions in the eastern Great Lakes region. *International Journal of Climatology*, 37, 4377–4389. <https://doi.org/10.1002/joc.5093>
52. Suriano, Z. J., Leathers, D. J., Hall, D. K., & Frei, A. (2019). Contribution of snowfall from diverse synoptic conditions in the Catskill/Delaware Watershed of New York State. *International Journal of Climatology*, 39(8), 3608–3618. <https://doi.org/10.1002/joc.6043>
53. Tomaszewska, M. A., Nguyen, L. H., & Henebry, G. M. (2020). Land surface phenology in the highland pastures of montane Central Asia: Interactions with snow cover seasonality and terrain characteristics. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111675. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111675>
54. Wiley, J., & Mercer, A. (2020). An updated synoptic climatology of Lake Erie and Lake Ontario heavy lake-effect snow events. *Atmosphere*, 11(8), 872. <https://doi.org/10.3390/atmos11080872>
55. Yarahmadi, Daryoush, Fathnia, Amanollah, & Sharafat, Mehdi. (1399). Temperature-based assessment of the snowline and identification of areas with snowfall potential in the Alborz Mountains using NOAA-AVHRR imagery. *Applied Research in Geographical Sciences*, 56, 193 to 204. <https://system.khu.ac.ir/jgs/article-1-2831-fa.html>
- Nature, 512(7515), 416–418. <https://doi.org/10.1038/nature13625>
44. Räisänen, J. (2016). Twenty-first century changes in snowfall climate in Northern Europe in ENSEMBLES regional climate models. *Climate Dynamics*, 46(1–2), 339–353. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2587-0>
45. Sari Sarraf, Behrooz, Naghizadeh, Habibeh, Rasouly, Aliakbar, Jahanbakhsh, Saeid, & Babaeyan, Iman. (1398). Modeling and spatial analysis of snow depth in Northern Iran based on database from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). *Physical Geography Research*, 51(4), 651–671. [doi:10.22059/jphgr.2019.268047.1007289](https://doi.org/10.22059/jphgr.2019.268047.1007289)
46. Sedaghat, Mehdi, Nazari-Pour, Hamid, & Sadeghi-Nia, Alireza. (1401). Synoptic and dynamic aspects of a widespread blizzard snowstorm in Iran, 14–20 Bahman 1350 (3–9 February 1972). *Geography and Environmental Hazards*, 43, 251–267. https://geoeh.um.ac.ir/article_41749.html
47. Seifoddini, Frank, & Mansourian, Hossein. (1390). Analysis of the urban service concentration pattern and its environmental impacts in Tehran. *Journal of Environmental Studies*, 37(60), 53-64. https://jes.ut.ac.ir/article_24193.html
48. Seifi, Houshang. (1400). Estimation of snow cover area using object-based techniques based on OLI and TIRS sensor imagery (case study: the Sabalan Mountains). *Applied Research in Geographical Sciences*, 63, 19–37. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3226-fa.html>
49. Seifoddini, Frank, & Mansourian, Hossein. (1390). Analysis of the urban service concentration pattern and its environmental impacts in Tehran. *Journal of Environmental Studies*, 37(60), 53-64. https://jes.ut.ac.ir/article_24193.html

COPYRIGHTS

©2026 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)



