

Analysis of spatio-temporal variations of the average snow cover during the cold seasons in the northwest of Iran

Mirmousavi, S.H.¹  | Heydari Monfared, Z.² 

1. Associate Professor, Faculty member of Zanjan University, Zanjan, Iran.

2. PhD student of Climatology, Zanjan University, Zanjan, Iran.

Corresponding Author E-mail: hossein.mirmousavi@znu.ac.ir

(Received: 26 Jan 2024, Revised: 18 Mar 2024, Accepted: 09 Apr 2024, Published online: 16 Apr 2024)

Abstract

In the current research, in order to investigate the spatial and temporal changes in the extent of snow cover in the northwest, the snow cover analysis data from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), version (ERA5) with a spatial resolution of 25 x 0.25 0.0 was received during the statistical period from 1982 to 2022 and then divided into four ten-year periods. In order to analyze spatial autocorrelation changes, global Moran indices and hot spot analysis (Getis-Ord G_i^*) were used at the significance level of 90, 95 and 99%. Also, to determine the effect of temperature and snowfall on the amount of snow cover, the trend of changes in the average minimum temperature and monthly snowfall of 20 synoptic stations in the northwest region was investigated using the Mann-Kendall test and linear regression. The results of the present research showed that in the studied area, the snow cover has spatial autocorrelation and a strong cluster pattern. During the first decade to the end of the third decade, under the influence of the strong positive anomaly of the average minimum temperature (with an increasing trend), the amount of snow cover has decreased in all months of the cold season of the year, and sometimes in some months such as February (with threshold (the snow cover coefficient is 0.303 and higher) this trend of decreasing value is more noticeable. However, in the fourth decade, the amount and width (number of pixels) of snow cover has increased in all months of the cold season. With the point that the high values of the snow cover coefficient occurred in fewer ranges (number of pixels). The amount of precipitation in the 99th percentile has increased significantly during the last decade under study, and this has caused the snow cover to increase relatively compared to the first to third decades, although in general, the amount of snow cover In the whole area of the northwest, there has been a noticeable decrease during the last four decades.

Keywords: snow cover, spatial analysis, Moran's index, hot spot analysis, northwest Iran.

Cite this article: Mirmousavi, S. H., & Heidari Monfared, Z. (2024). Analysis of spatio-temporal variations of the average snow cover during the cold seasons in the northwest of Iran. *Journal of the Nivar*, 48(124-125), 84-104. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.437745.1279>

E-mail: (2) zhmonfared@znu.ac.ir



تحلیل تغییرات مکانی- زمانی میانگین پوشش برف طی فصول سرد سال در منطقه شمال غرب ایران

سیدحسین میرموسوی^۱ | زهرا حیدری منفرد^۲

۱. دانشیار، عضو هیات علمی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: hossein.mirmousavi@znu.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶، بازننگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸)

چکیده

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی در وسعت پوشش برف شمال غرب ایران، داده‌های باز تحلیل پوشش برف از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت هوا (ECMWF)، نسخه (ERA5) با تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه طی دوره آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۲ دریافت و سپس به چهار دوره ده ساله تقسیم گردید. جهت تحلیل تغییرات خودهمبستگی مکانی از شاخص‌های موران جهانی و تحلیل لکه‌های داغ (گتیس-آرد جی) در سطح معنی‌داری ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد استفاده گردید. روند تغییرات میانگین دمای کمینه و بارش ماهانه برف ۲۰ ایستگاه همدیدی منطقه با استفاده از آزمون من-کندال و وایزش خطی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که در منطقه مورد مطالعه پوشش برف دارای خودهمبستگی مکانی و الگوی خوشه‌ای شدید می‌باشد. طی دهه اول تا پایان دهه سوم، تحت تأثیر ناهنجاری شدید مثبت میانگین دمای کمینه (با روند افزایشی) میزان پوشش برف در تمامی ماه‌های فصل سرد سال کاهش پیدا کرده و گاهی در برخی از ماه‌ها مانند ماه فوریه (با آستانه‌ی ضریب پوشش برف 0.303 به بالاتر) این روند کاهش محسوس‌تر است. با این وجود در دهه‌ی چهارم در تمامی ماه‌های فصل سرد سال به مقدار و پهنا (تعداد پیکسل) پوشش برف افزوده شده است. با این نکته که مقادیر بالای ضریب پوشش برف در محدوده‌های (تعداد پیکسل‌های) کم‌تری رخ داده‌اند. میزان بارش‌های فرین در صدک ۹۹ در طی دهه آخر مورد مطالعه افزایش چشمگیری داشته و این موضوع سبب گردیده است تا پوشش برف در دهه آخر نسبت به دهه‌های اول تا سوم افزایش نسبی داشته باشد هر چند در حالت کلی میزان پوشش برف در کل گستره شمال غرب در طی چهار دهه اخیر کاهش محسوسی داشته است، به طوری که در الگوی حاکم بر میانگین سالانه‌ی پوشش برف منطقه، به شکل‌گیری خوشه‌های سرد شامل مقادیر پایین گرایش بیش‌تری وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: پوشش برف، تحلیل مکانی، تحلیل لکه‌های داغ، شاخص موران، شمال غرب ایران.

۱. مقدمه

جامع تغییرات مکانی و زمانی در پوشش برف در چند دهه گذشته می‌تواند برای تعیین کمی تأثیر بر تغییرات هواشناسی، مدیریت منابع آب و فعالیت‌های انسانی و همچنین تدوین راهبردهای سازگاری برای دهه‌های آینده بسیار مفید باشد (Wei & et al, 2023).

پوشش برف یک جزء حیاتی از سامانه یخ کره و اقلیم در هر دو مقیاس محلی و جهانی است (Chen & et al, 2018). در رابطه با گرمایش جهانی، انباشت و ذوب برف، به دلیل سپیدایی بالا و هدایت حرارتی پایین پوشش برف، به طور اجتناب ناپذیری بر تعادل انرژی زمینی، تغییرات اقلیمی و فرآیندهای هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، درک

استناد: میرموسوی، سیدحسین و حیدری منفرد، زهرا. (۱۴۰۳). تحلیل تغییرات مکانی- زمانی میانگین پوشش برف طی فصول سرد سال در منطقه شمال غرب ایران. مجله نیوار،

DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.437745.1279>. ۱۰۴-۸۴، (۱۲۵-۱۲۴) ۴۸

رایانامه: (۱) zhmonfared@znu.ac.ir



برف تا ۳۲ روز و سطح پوشش برف تا ۱۱ درصد در نیمکره شمالی، به ویژه در زمستان مشاهده شده است (Notarnicola, 2020). مطالعات متعدد نشان داد که تغییرات پوشش برف در بخش‌های مختلف شمال غرب هیمالیا ۲ دارای روندهای متفاوتی است. بسیاری از مطالعات پوشش برف هیمالیا در سال‌های اخیر روند کاهشی سالانه و فصلی پوشش برف را در شمال غرب هیمالیا و نیز روند کاهشی در میانگین پوشش برف سالانه در ارتفاعات تا ۴۵۰۰ متر (Sharma & et al, 2014) و روند کاهشی پوشش برف حوضه ساتلوج^۳ هیمالیا (Mir & et al, 2015) را گزارش دادند. در حالی که یک روند افزایشی غیر معنی داری پوشش برف برای شمال غرب هیمالیا، منطقه پایین هیمالیا^۴، هیمالیا میانی^۵ و یک روند افزایشی معنی دار در پوشش برف هیمالیا بالایی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ ارائه شده است (Singh & et al, 2018). همچنین در پژوهشی دیگر روند افزایش سالانه پوشش برف (۲۰۱۳-۲۰۰۰) در هیمالیای غربی گزارش گردید (Kour & et al, 2016). پایش سطح پوشش برف در مناطق مختلف ایران، اغلب با استفاده از تصاویر ماهواره سنجنده MODIS^۶ صورت گرفته است؛ از جمله مطالعات داخلی در زمینه پوشش برف می‌توان به کارهای چون رایگانی و همکاران (۱۳۸۷)، فتاحی و همکاران (۱۳۹۰)، داداشی و همکاران (۱۳۹۳)، میرموسوی و صبور (۱۳۹۳)، الف، قاسمی فر و همکاران (۱۳۹۴)، کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۵)، محمدپور و محمدپور (۱۳۹۵)، انتظامی و همکاران (۱۳۹۶)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۶)، الف، سلیمانی و همکاران (۱۳۹۷)، همتی و همکاران (۱۳۹۸) و انتظامی و همکاران (۱۴۰۰) اشاره کرد.

با توجه به اینکه پژوهش‌های انجام یافته در زمینه تغییرات سطح پوشش برف تا کنون عمدتاً بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است به دلیل اینکه این تصاویر معمولاً با تفکیک زمانی ۱۶ روز قابل دسترس است و علاوه بر این بعضی از تصاویر دریافتی به دلیل نداشتن کیفیت لازم امکان تحلیل بر

در بررسی توزیع مکانی برف شاخص‌های توپوگرافی مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب و عامل بادپناهی بودن بیش‌ترین تأثیرات را داشته‌اند (Pandey (2022), Erickson & Williams (2005)). علاوه بر آن سناریوی گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی (افزایش دماهای بیشینه و میانگین و نیز کمینه منجر به تغییرات آب و هوای زمستانی) نگرانی در مورد تغییرات یخچال‌ها و پوشش برف را برجسته می‌کند (Negi & et al, 2018). توزیع کمی تنوع برف که عمدتاً توسط پارامترهای هواشناسی کنترل می‌شود به عواملی نظیر عرض جغرافیایی، ارتفاع و فصل بستگی دارد (Kohler & et al (2015) and Pepin & et al (2010)). برف یک همبستگی منفی قوی با دمای جو را نشان می‌دهد (Brown & Hosaka & et al (2005) and Brown & Mote (2009)). همچنین نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد که نوع تغییرات دمای هوا و بارش بر ویژگی‌های برف تأثیر می‌گذارد (Sospedra-Alfonso & Merryfield (2017) and Bednorz (2004)). کاهش قابل توجهی در وسعت پوشش برف ۱ در نیمکره شمالی به دلیل گرم شدن آب و هوا در دهه‌های اخیر مشاهده شده است (Stocker & et al, 2017). در همین راستا طی تجزیه و تحلیل واکنش مدت زمان پوشش برف به تغییرات اقلیمی در نیمکره شمالی، یک واکنش پیچیده پوشش برفی به افزایش دما و بارش آشکار گردید که با رژیم‌های آب و هوایی ارتفاع و سایر متغیرهای پوشش برف متفاوت است. نکته ای در تحقیقات مختلف به آن تأکید می‌شود این موضوع است که در دهه‌های اخیر در مقیاس جهانی، مدت زمان پوشش برف، قوی‌ترین واکنش را نسبت به گرم شدن آب و هوا داشته است (Brown & Mote, 2009). در بررسی سناریو پوشش برف جهانی در مناطق کوهستانی (۲۰۰۰-۲۰۱۸)، روند کاهشی در طول مدت پوشش برف (تا ۴۳ روز) و سطح پوشش برف (تا ۱۳ درصد) شناسایی شد. با این وجود، در برخی از مناطق، تغییرات مثبتی با افزایش طول مدت پوشش

⁴ Lower Himalayan Zone (LHZ)

⁵ Middle Himalayan Zone (MHZ)

⁶ Moderate resolution imaging spectroradiometer

¹ Snow Cover Extent (SCE)

² North-West Himalaya (NWH)

³ Satluj Basin

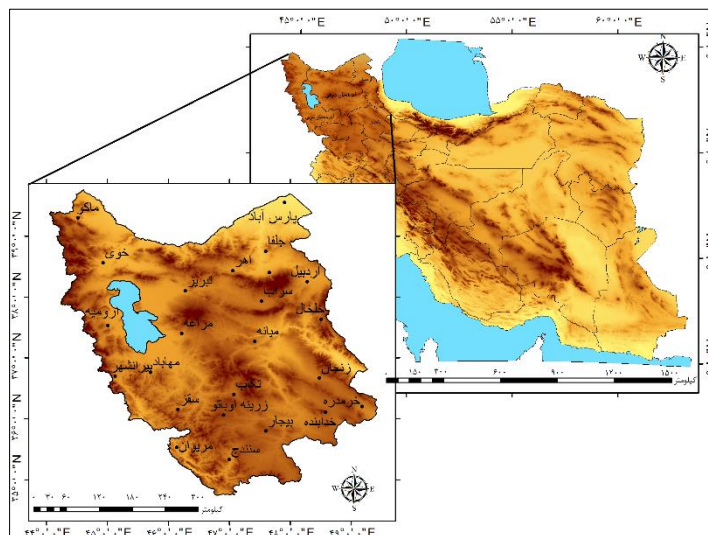
پژوهش برای ارزیابی و تحلیل تغییرات مکانی میانگین پوشش برف در منطقه شمال غرب ایران از دو سری داده به شرح زیر استفاده شد:

- داده‌های روزانه‌ی بازتحلیل پوشش برف ایران اخذ شده از پایگاه داده‌ی مرکز پیش‌بینی میان مدت جوی اروپایی ECMWF reanalysis v5 (ERA5) طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۸۲ استفاده گردید.
- داده‌های ایستگاهی با در نظر گرفتن آمار هواشناسی موجود کشور و نیز طول دوره‌ی آماری مشترک ایستگاه‌ها، میانگین بارش برف (سانتی‌متر) (۲۰۱۸-۲۰۰۰) جهت اعتبار سنجی داده‌های ERA5 و داده‌های دمای کمینه‌ی ماهانه (درجه سانتی‌گراد) (۲۰۲۲-۱۹۸۶)، ۲۰ ایستگاه همدیدی شمال غرب جهت بررسی ارتباط بین روند تغییرات دما با تغییرات سطح پوشش برف طی فصول پاییز و زمستان.

روی آن‌ها وجود ندارد و از طرف دیگر دوره زمانی این تصاویر عمدتاً از سال ۲۰۰۰ به بعد می‌باشد، لذا در پژوهش حاضر سعی شد تا جهت اجتناب از این محدودیت‌ها که قطعاً در نتیجه نهایی پژوهش تأثیرگذار هستند با استفاده از داده‌های ایستگاهی داده‌های روزانه‌ی بازتحلیل شده پوشش برف پایگاه ECMWF¹ reanalysis v5 (ERA5) اعتبارسنجی شده و پس از اطمینان از انطباق قابل قبول این داده‌ها با مشاهدات ایستگاهی نسبت به تحلیل تغییرات سطح پوشش برف در چهار دهه اخیر اقدام گردد. چنین مطالعه بلندمدتی می‌تواند مسیری به سوی ابعاد جدیدی در زمینه تغییرپذیری پوشش برف باز کند.

۲. 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 و ۴۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). در این



شکل ۱: نقشه موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه‌ی منطقه‌ی شمال غرب ایران

(۱۹۹۱-۱۹۸۲)، (۲۰۰۱-۱۹۹۲)، (۲۰۱۱-۲۰۰۲)، (۲۰۱۲-۲۰۲۲)) تقسیم شده است. در مرحله نخست جهت بررسی

در پژوهش حاضر به منظور تحلیل مکانی تغییرات مقادیر پوشش برف دوره‌ی مورد مطالعه به ۴ دهه‌ی متوالی شامل

¹ European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF)

غرب ایران انجام گردید.

یکی از پارامترهای مهم تأثیرگذار بر میزان ذوب برف دما می‌باشد. نتایج برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر میانگین دمای فصل زمستان افزایش پیدا کرده است (فلاحی و همکاران (۱۳۹۶)، اختر و همکاران^۲ (۲۰۰۸)، بوتیانی و همکاران^۳ (۲۰۱۰)، جین و همکاران^۴ (۲۰۱۰)، ون وورن و همکاران^۵ (۲۰۱۱)، مرنگو و همکاران^۶ (۲۰۱۴) و گان و همکاران^۷ (۲۰۱۵)) و این موضوع باعث افزایش مقدار ذوب برف (حیدری منفرد، ۱۴۰۲) و متقابلاً کاهش مقدار پوشش برف در مناطق برف گیر شده است. در همین راستا به منظور بررسی اثر تغییرات دما در نیمه‌ی سرد سال بر روی میزان پوشش برف در منطقه‌ی شمال غرب ایران از روش‌های مربوط به تحلیل روند استفاده شده است. در پژوهش حاضر به منظور انتخاب روش مناسب برای انجام تحلیل روند ابتدا نسبت به ارزیابی نرمال بودن یا نبودن داده‌های میانگین دمای کمینه و بارش برف بر اساس آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۸ اقدام شده است (رابطه‌ی ۵).

$$D_n = \max|F_0 - F_E| \quad (5)$$

F_0 تابع توزیع تجمعی تجربی برای n آمین مقدار کوچک مشاهدات به شکل $F_n = \left(x(i) = \frac{1}{n}\right)$ برآورد می‌شود. F_E نیز تابع توزیع تجمعی نظری برای x $(F_E = P\{X \leq x\})$ است. اگر آماره D_n به اندازه کافی بزرگ باشد، فرض صفر رد خواهد شد (عساکره، ۱۳۹۰).

بر اساس نتایج این آزمون اگر داده‌ها دارای توزیع نرمال باشند امکان استفاده از آزمون پارامتریک وجود دارد و در غیر این صورت باید از آزمون ناپارامتریک برای شناسایی روند استفاده شود. نتایج نشان داد که در ماه‌های مختلف مورد مطالعه در بعضی از ماه‌ها توزیع نرمال مشاهده نگردید و به همین منظور از آزمون ناپارامتریک من- کندال^۹ استفاده شد. در این روش داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده (X_i) با تمام داده‌های بعد از خود (X_j) مقایسه می‌شود.

تغییرات خودهمبستگی مکانی از شاخص‌های آمار مکانی موران عمومی^۱ (Moran's I) (رابطه‌ی ۱) و آماره گتیس-آرد جی (Getis-Ord G_i^*) (رابطه‌های ۲ الی ۴) استفاده شده است:

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

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij}\right)^2}{n-1}}} \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (4)$$

در رابطه‌ی ۱، n 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 (سیف‌الدینی و منصوریان، ۱۳۹۰). همچنین در رابطه‌های ۲، ۳ و ۴؛ G_i^* ضریب همیشگی حادثه i از n حادثه می‌باشد. W فاصله مکانی بین نقطه i و j می‌باشد. X_i یک مقدار توصیفی برای نقطه یا عارضه i می‌باشد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶، ب). بر اساس این آماره‌ها چگونگی توزیع مکانی شاخص پوشش برف سالانه و تغییرات آن در بازه‌های زمانی مورد نظر بررسی شده است. در ادامه به دلیل یکسان نبودن دامنه‌ی تغییرات مقدار پوشش برف در هر یک از بازه‌ی زمانی ده ساله، بر اساس خوشه‌بندی کل دوره‌ی آماری ۴۱ ساله (۲۰۲۲-۱۹۸۲) اقدام به تعریف آستانه‌های پوشش برف گردید. سپس بر اساس این آستانه‌ها، تعداد پیکسل‌ها و نیز متوسط مقدار پوشش برف در هر یک از بازه‌های زمانی نسبت به کل دوره‌ی آماری مورد مطالعه برآورد شد. بدین ترتیب با استفاده از فراوانی پیکسل‌ها بر اساس آستانه‌های تعیین شده، بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف پهنه‌ی شمال

⁶ Marengo & et al

⁷ Gan & et al

⁸ Kolmogorov- Smirnov (KS)

⁹ Mann-Kendall

¹ Global Moran Index

² Akhtar & et al

³ Bhutiyani & et al

⁴ Jain & et al

⁵ Van Vuuren & et al

شیب‌های محاسبه شده حاصل از Q_{med} بدست می‌آید. مقدار مثبت و منفی (Q_{med}) محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط به ترتیب دال بر روند صعودی و نزولی بودن روند می‌باشد (روحانی و همکاران، ۱۳۹۲).

۳. بحث

بررسی آماری متوسط پوشش برف در منطقه شمال غرب ایران نشان می‌دهد که ضریب پوشش برف بین ۰/۰۰۲ تا ۰/۵ به ترتیب در فصل پاییز، دهه‌ی دوم ماه اکتبر و فصل زمستان، دهه‌ی اول ماه فوریه در نوسان است (جدول ۱). با توجه به واریانس و انحراف معیار حاصل شده، بیشینه انحرافات پوشش برف از میانگین در فصل زمستان دهه‌ی اول ماه مارس می‌باشد. سپس بیشترین مقدار انحراف معیار با مقادیر ۰/۲۳، ۰/۲۲ و ۰/۲۱ به ترتیب در دهه‌های چهارم، اول و سوم ماه فوریه اتفاق افتاده است. بدین ترتیب می‌توان بیان کرد که بیشترین تغییرپذیری مقدار پوشش برف منطقه در فصل زمستان، مخصوصاً ماه فوریه، رخ داده است. در محاسبه‌ی متوسط چولگی پوشش برف ماه‌های فصول سرد در بازه‌های زمانی متفاوت، بجز دهه‌ی اول فوریه، مقادیر مثبت حاصل شده که این مقدار انحراف‌های بیش‌تر از صفر، بر چولگی قوی و مثبت (چوله به راست) دلالت دارد. بیشترین مقدار رخدادهای پوشش برف در مقادیر قبل از مقدار میانگین بوده از این رو می‌توان استنباط کرد که مقادیر کم پوشش برف، بیشترین احتمال وقوع را به خود اختصاص داده‌اند (عساکره، ۱۳۹۰).

آماره S از رابطه ۶ محاسبه می‌شود، که در آن n طول مجموعه داده‌ها و $sign$ تابع علامت بوده که با رابطه ۷ قابل محاسبه است (عباسی و رستمی، ۱۴۰۰):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sign(x_i - x_j) \quad (6)$$

$$sign(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i > x_j \\ 0 & \text{if } x_i = x_j \\ -1 & \text{if } x_i < x_j \end{cases} \quad (7)$$

نتایج برای برخی از ماه‌ها نشان دهنده‌ی نرمال بودن داده‌ها بود که برای این ماه‌ها از آزمون پارامتریک وایزش استفاده گردید (رابطه‌های ۸ تا ۱۰).

$$b = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(y-\bar{y})^2} \quad (8)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (9)$$

$$y = a + bx \quad (10)$$

متغیرهای \bar{x} و \bar{y} به ترتیب زمان و متغیر جوی، همچنین a و b ضرایب رگرسیون هستند (بابازاده و جاوری، ۱۳۸۸؛ ۹۵ و ۹۶). در نهایت به منظور بررسی نرخ تغییرات میانگین دمای کمینه‌ی ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه از روش تخمین شیب سن استفاده گردید:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (11)$$

که در آن X_t و X_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s یک واحد زمانی بعد از زمان s می‌باشد. با اعمال رابطه Q برای هر جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از

جدول ۱: مشخصات آماری پوشش برف ماهانه (ضریب پوشش برف (۰-۱)) در پهنه‌ی شمال غرب ایران (۱۹۹۲-۲۰۲۲)

مشخصه‌های آماری	بازه زمانی						
	ژانویه	فوریه	مارس	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
میانگین	دهه‌ی اول (۱۹۹۲-۱۹۸۲)	۰/۴۶۲۷۱	۰/۴۷۹۱۵	۰/۲۸۹۷۰	۰/۰۷۸۶۶	۰/۰۶۳۸۸۶	۰/۲۸۹۳۵
	دهه‌ی دوم (۲۰۰۲-۱۹۹۲)	۰/۳۴۲۷۷	۰/۳۰۶۴۱	۰/۱۶۰۰۹	۰/۰۱۷۴۲	۰/۰۵۹۶۵	۰/۲۱۱۶۱
	دهه‌ی سوم (۲۰۱۲-۲۰۰۲)	۰/۳۵۵۸۹	۰/۳۶۶۴۳	۰/۱۳۹۸۱	۰/۰۳۹۰۳	۰/۰۶۴۰۴۶	۰/۱۹۷۸۹
	دهه‌ی چهارم (۲۰۲۲-۲۰۱۲)	۰/۲۷۶۷۹	۰/۳۰۴۸۹	۰/۱۴۴۶۰	۰/۰۴۸۷۶	۰/۰۵۵۷۶	۰/۲۴۱۷۷
میانه	دهه‌ی اول (۱۹۹۲-۱۹۸۲)	۰/۴۵۶۰۳	۰/۴۹۹۹۰	۰/۲۱۹۷۸	۰/۰۲۲۷۲	۰/۰۴۳۷۵۱	۰/۲۶۳۴۰
	دهه‌ی دوم (۲۰۰۲-۱۹۹۲)	۰/۳۰۲۸۸	۰/۲۸۴۴۴	۰/۱۱۴۲۵	۰/۰۰۰۰۷۱	۰/۰۳۰۷۱	۰/۱۵۵۳۶
	دهه‌ی سوم (۲۰۱۲-۲۰۰۲)	۰/۳۴۹۳۲	۰/۳۵۲۵۵	۰/۰۸۹۶۲	۰/۰۰۲۳۵۹	۰/۰۳۸۹۰۳	۰/۱۶۶۴۵
	دهه‌ی چهارم (۲۰۲۲-۲۰۱۲)	۰/۲۰۷۶۵	۰/۲۴۴۶۱	۰/۰۹۷۲۵	۰/۰۱۱۳۰	۰/۰۲۶۴۴	۰/۱۷۳۵۸
واریانس	دهه‌ی اول (۱۹۹۲-۱۹۸۲)	۰/۰۴۳۹۰	۰/۰۵۲۵۱	۰/۰۵۸۶۷	۰/۰۰۰۲۷۴	۰/۰۰۴۰۱۰	۰/۰۳۲۸۲
	دهه‌ی دوم (۲۰۰۲-۱۹۹۲)	۰/۰۴۸۰۱	۰/۰۲۸۷۶	۰/۰۲۱۹۹	۰/۰۰۰۰۴۱	۰/۰۰۶۲۷	۰/۰۳۳۲۹
	دهه‌ی سوم (۲۰۱۲-۲۰۰۲)	۰/۰۳۳۲۰	۰/۰۴۳۴۶	۰/۰۱۸۹۷	۰/۰۰۰۰۲۵	۰/۰۰۴۸۶۱	۰/۰۱۸۵۱
	دهه‌ی چهارم (۲۰۲۲-۲۰۱۲)	۰/۰۴۶۰۶	۰/۰۵۳۰۰	۰/۰۱۹۸۶	۰/۰۰۰۰۹۴	۰/۰۰۶۲۹	۰/۰۴۶۲۵
دهه‌ی اول (۱۹۹۲-۱۹۸۲)	۰/۲۰۹۵۲	۰/۲۲۹۱۶	۰/۲۴۲۲۱	۰/۰۱۶۵۵۴	۰/۰۶۳۳۲۸	۰/۱۸۱۱۶	

۰/۱۸۲۴۷	۰/۰۷۹۱۷	۰/۰۰۶۳۷۹	۰/۱۴۸۳۰	۰/۱۹۶۸۷	۰/۲۱۹۱۱	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	انحراف معیار
۰/۱۳۶۰۵	۰/۰۶۹۷۲۱	۰/۰۰۴۹۵۴	۰/۱۳۷۷۱	۰/۲۰۸۴۶	۰/۱۸۲۲۰	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	
۰/۲۱۵۰۵	۰/۰۷۹۲۸	۰/۰۰۹۶۷۸	۰/۱۴۰۹۴	۰/۲۳۰۲۲	۰/۲۱۴۶۲	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	
۰/۲۴	۱۴/۶۰	۳۹/۴۱	۰/۲۵	-۰/۹۱	-۰/۷۷	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	کشیدگی
۱/۸۴	۱۵/۴۱	۷۰/۰۵	۲/۳۹	-۰/۴۶	-۰/۱۷	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	
۰/۹۵	۵/۶۵	۲۲/۴۸	۲/۴۲	-۰/۷۱	-۰/۵۸	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	
۰/۸۸	۱۴/۹۸	۳۶	۲/۵۸	۰/۱۳	۰/۵۸	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	چولگی
۰/۷۸	۳/۱۴	۵/۴۲	۱/۰۴	-۰/۱۲	۰/۲۱	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	
۱/۴۲	۳/۲۰	۷/۷۳	۱/۴۹	۰/۵۵	۰/۷۱	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	
۱/۰۹	۲/۰۹	۳/۶۹	۱/۵۵	۰/۳۲	۰/۳۱	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	بیشینه
۱/۲۱	۳/۱۴	۵/۱۰	۱/۵۷	۰/۹۳	۱/۱۲	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	
۰/۹۳۸۷۹	۰/۶۰۱۰۰	۰/۱۸۶۵۱۴	۱/۰۵۳۱۰	۰/۹۷۶۲۲	۰/۹۷۷۰۳	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	
۰/۹۸۷۶۶	۰/۷۳۸۲۴	۰/۰۸۰۴۰۰	۰/۹۵۸۴۹	۰/۹۶۷۴۸	۱/۰۲۸۴۰	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	کمینه
۰/۸۰۶۲۸	۰/۵۲۵۱۲۳	۰/۰۴۸۸۲۵	۰/۸۸۳۵۲	۰/۹۶۶۲۵	۰/۹۲۴۴۲	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	
۱/۰۰۰۳۴	۰/۸۰۹۲۹	۰/۱۰۴۶۶۳	۰/۸۹۸۳۰	۱/۰۲۸۱۹	۰/۹۸۴۸۳	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	
۰/۰۱۷۴۹	≅ ۰	≅ ۰	۰/۰۰۸۵۳	۰/۰۲۰۵۹	۰/۰۵۹۶۶	دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)	کمینه
۰/۰۰۵۲۴	≅ ۰	≅ ۰	۰/۰۰۱۵۵	۰/۰۱۵۲۰	۰/۰۰۸۳۲	دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)	
۰/۰۱۵۵۱	۰/۰۰۱۳۳۸	≅ ۰	۰/۰۰۳۴۱	۰/۰۱۸۸۹	۰/۰۲۲۸۶	دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)	
۰/۰۰۱۳۸	≅ ۰	≅ ۰	۰/۰۰۳۰۶	۰/۰۰۹۰۵	۰/۰۰۹۹۰	دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)	

بر اساس محاسبات آماری متوسط ماهانه‌ی کشیدگی مشاهدات نیز در بازه‌های زمانی مدنظر (بجز دهه‌های اول، دوم و سوم ماه‌های ژانویه و فوریه) مثبت برآورد شده است. کشیدگی با ارزش مثبت گویای تمرکز مشاهدات و توزیع نوک تیز است و در سه دهه‌ی اول ماه‌های ژانویه و فوریه کشیدگی با ارزش منفی گویای کشیدگی بیش‌تر و توزیع هموار مشاهدات پوشش برف است (عساکره، ۱۳۹۰). از این رو می‌توان چنین استنباط نمود که توزیع مشاهدات نسبت به یک توزیع قرینه (کمی) افزایش‌تر است و نیز در اوایل فصل زمستان توزیع مشاهدات پراکندگی از میانگین پوشش برف را داشته‌اند. ضریب پوشش برف ماه‌های اکتبر و نوامبر در دهه‌های مختلف زمانی تقریباً معادل صفر بوده است. بیش‌ترین ضریب پوشش برف نیز در پهنه شمال غرب به مقدار ۱/۰۵ در دهه‌ی اول ماه مارس روی داده است (جدول ۱).

تغییرات مکانی- زمانی وسعت نواحی برفی نکته‌ای مهم در مطالعه‌ی تغییر اقلیم و عاملی تأثیرگذار در سپیدایی سطحی و بالانس انرژی سطح زمین و تغییرات فصلی به حساب می‌آید و کمی‌سازی این تغییرات اهمیت ویژه‌ای دارد (شرافت و فتح‌نیا، ۱۳۹۸) بنابر این در پژوهش حاضر در مرحله نخست به منظور بررسی تغییرات پوشش برف در منطقه شمال غرب طی ۴ دهه‌ی زمانی متوالی ((۱۹۸۲-۱۹۹۲)، (۱۹۹۲-۲۰۰۲)، (۲۰۰۲-۲۰۱۲)، (۲۰۱۲-۲۰۲۲)) به دلیل یکسان نبودن دامنه‌ی تغییرات مقدار پوشش برف در هر بازه‌ی زمانی، بر اساس خوشه‌های پوشش برف کل دوره‌ی آماری (۲۰۲۲-۱۹۸۲) اقدام به تعریف آستانه‌های پوشش برف گردید. سپس با هر یک از آستانه‌های یکسان، تعداد پیکسل‌ها و نیز متوسط مقدار پوشش برف در هر یک از بازه‌های زمانی مدنظر برآورد شد. بدین ترتیب بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف پهنه‌ی شمال غرب با فراوانی پیکسل‌ها بر اساس آستانه‌های یکسان میسر گردید (جدول ۲).

آستانه ضریب پوشش برف بالاتر از ۰/۰۱۸، تقریباً در کل بازه‌های مورد بررسی به میزان ۰/۰۴ بوده، با این تفاوت که در دهه اول این میزان از برف در پهنه گسترده‌تری رخ داده است (۵۷۲ پیکسل). محدوده‌ی رخداد پوشش برف در سایر بازه‌های زمانی، مخصوصاً دهه سوم (۷۹ پیکسل)، کاهش یافته است. با افزایش میزان آستانه‌های ضریب پوشش برف؛ در بازه‌های زمانی مدنظر کاهش پوشش برف روی داده است. به طوری که بیشینه میزان پوشش برف در اکتبر در دهه چهارم با آستانه بالاتر از ۰/۰۸۹ برابر با میزان ناچیز ضریب پوشش برف ۰/۱ می‌باشد. این موضوع می‌تواند ناشی از روند افزایشی ۰/۰۸ درجه سانتی‌گرادی میانگین دمای کمینه و نیز فقدان بارش برف ماه اکتبر منطقه باشد (جدول ۳). در بازه‌ی زمانی چهارم به مانند بازه‌ی کل دوره با افزایش آستانه‌ی

تغییرات مکانی- زمانی وسعت نواحی برفی نکته‌ای مهم در مطالعه‌ی تغییر اقلیم و عاملی تأثیرگذار در سپیدایی سطحی و بالانس انرژی سطح زمین و تغییرات فصلی به حساب می‌آید و کمی‌سازی این تغییرات اهمیت ویژه‌ای دارد (شرافت و فتح‌نیا، ۱۳۹۸) بنابر این در پژوهش حاضر در مرحله نخست به منظور بررسی تغییرات پوشش برف در منطقه شمال غرب طی ۴ دهه‌ی زمانی متوالی ((۱۹۸۲-۱۹۹۲)، (۱۹۹۲-۲۰۰۲)، (۲۰۰۲-۲۰۱۲)، (۲۰۱۲-۲۰۲۲)) به دلیل یکسان نبودن دامنه‌ی تغییرات مقدار پوشش برف در هر بازه‌ی زمانی، بر اساس خوشه‌های پوشش برف کل دوره‌ی آماری (۲۰۲۲-۱۹۸۲) اقدام به تعریف آستانه‌های پوشش برف گردید. سپس با هر یک از آستانه‌های یکسان، تعداد پیکسل‌ها و نیز متوسط مقدار پوشش برف در هر یک از بازه‌های زمانی مدنظر برآورد شد. بدین ترتیب بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف پهنه‌ی شمال غرب با فراوانی پیکسل‌ها بر اساس آستانه‌های یکسان میسر گردید (جدول ۲).

تغییرات مکانی- زمانی وسعت نواحی برفی نکته‌ای مهم در مطالعه‌ی تغییر اقلیم و عاملی تأثیرگذار در سپیدایی سطحی و بالانس انرژی سطح زمین و تغییرات فصلی به حساب می‌آید و کمی‌سازی این تغییرات اهمیت ویژه‌ای دارد (شرافت و فتح‌نیا، ۱۳۹۸) بنابر این در پژوهش حاضر در مرحله نخست به منظور بررسی تغییرات پوشش برف در منطقه شمال غرب طی ۴ دهه‌ی زمانی متوالی ((۱۹۸۲-۱۹۹۲)، (۱۹۹۲-۲۰۰۲)، (۲۰۰۲-۲۰۱۲)، (۲۰۱۲-۲۰۲۲)) به دلیل یکسان نبودن دامنه‌ی تغییرات مقدار پوشش برف در هر بازه‌ی زمانی، بر اساس خوشه‌های پوشش برف کل دوره‌ی آماری (۲۰۲۲-۱۹۸۲) اقدام به تعریف آستانه‌های پوشش برف گردید. سپس با هر یک از آستانه‌های یکسان، تعداد پیکسل‌ها و نیز متوسط مقدار پوشش برف در هر یک از بازه‌های زمانی مدنظر برآورد شد. بدین ترتیب بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف پهنه‌ی شمال غرب با فراوانی پیکسل‌ها بر اساس آستانه‌های یکسان میسر گردید (جدول ۲).

فراهم شدن امکان ریزش برف از نظر سینوپتیکی، پدیده بارش در مناطق مرتفع به صورت برف ظاهر می‌شود (قنبرپور، ۱۳۸۴). به عبارت دیگر با افزایش مقدار آستانه‌ی ضریب پوشش برف (۰/۰۶۸ تا ۰/۱۰۵)، غالباً در مناطق مرتفع پهنه (تعداد پیکسل) و مقدار پوشش برف افزایش می‌یابد.

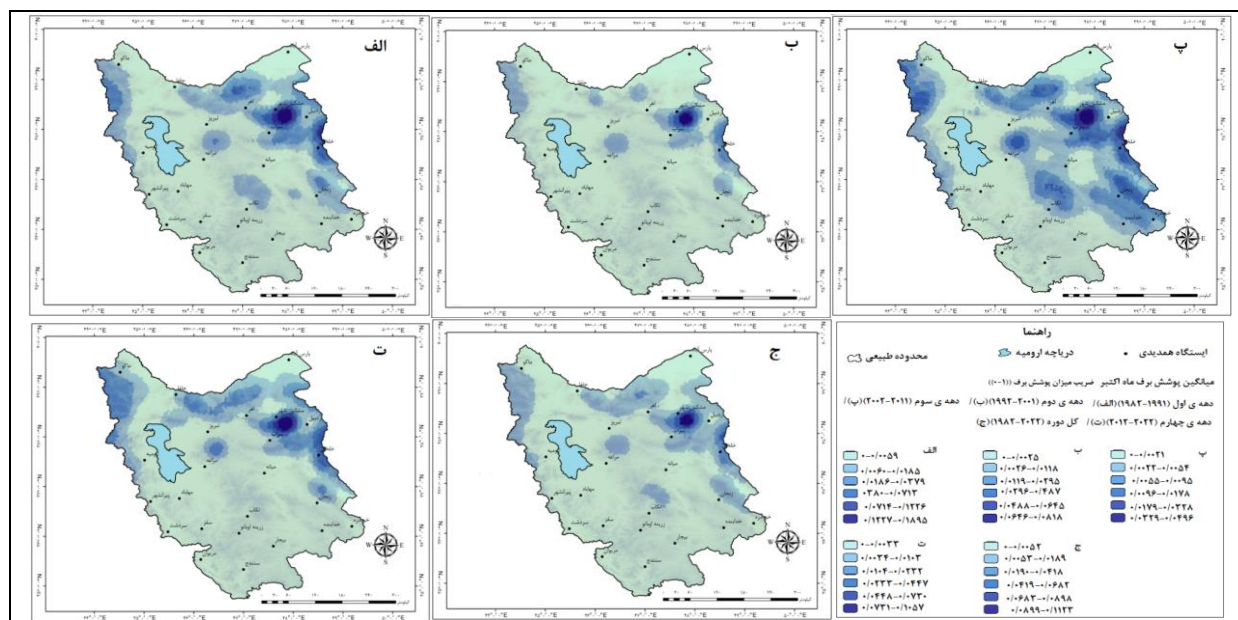
ضریب پوشش برف از گستردگی پوشش برف (تعداد پیکسل‌ها) کاهش یافته است و عمده پوشش برف در بخش کوهستانی سبلان متمرکز شده است. در هر واقعه ریزش برف با توجه به شرایط دما و بارندگی و موقعیت طبیعی و توپوگرافی محل، ماندگاری سطح برف متغیر خواهد بود. با

جدول ۲: فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پهنه‌های میانگین پوشش برف ماه اکتبر (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال غرب ایران

فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱)) ماه اکتبر در هر دهه										آستانه پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱))
کل دوره (۱۹۸۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)		دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)		دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)		
۰/۰۰۳	۵۳۲۳	۰/۰۰۳	۴۵۵۶	۰/۰۰۳	۵۲۵۶	۰/۰۰۱	۵۱۴۵	۰/۰۰۳	۴۶۴۳	≤ ۰/۰۱۸
۰/۰۴۳	۱۸۰	۰/۰۳۸	۲۰۹	۰/۰۳۱	۷۹	۰/۰۴۲	۹۴	۰/۰۴۱	۵۷۲	> ۰/۰۱۸
۰/۰۷۲	۶۲	۰/۰۷۰	۵۷	۰/۰۴۵	۱۸	۰/۰۵۹	۴۳	۰	۰	> ۰/۰۴۱
۰/۰۹۱	۲۹	۰/۰۸۷	۲۷	۰	۰	۰/۰۷۲	۱۵	۰	۰	> ۰/۰۶۸
۰/۰۹۸	۱۷	۰/۰۹۵	۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	> ۰/۰۸۹

به طور متوسط ۴۹۸۴ مورد بوده است. پوشش برف با ضریب پوشش برف ناچیز کم‌تر از ۰/۰۱۸ تقریباً کل منطقه را فرا گرفته شده است.

پهنه‌بندی میانگین پوشش برف طی دهه‌های مختلف ماه اکتبر در شمال غرب (شکل ۲) و محاسبه نتایج عددی آن (جدول ۲) نشان می‌دهد که فراوانی پیکسل‌های پوشش برف با آستانه‌ی ضریب پوشش برف کم‌تر از ۰/۰۱۸ در هر ۴ دهه و کل دوره



شکل ۲: پهنه‌بندی میانگین پوشش برف ماه اکتبر (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف در شمال غرب ایران

جدول ۳: روند میانگین دمای کمینه و مجموع بارش برف در ۲۰ ایستگاه همدیدی مورد مطالعه در منطقه شمال غرب ایران

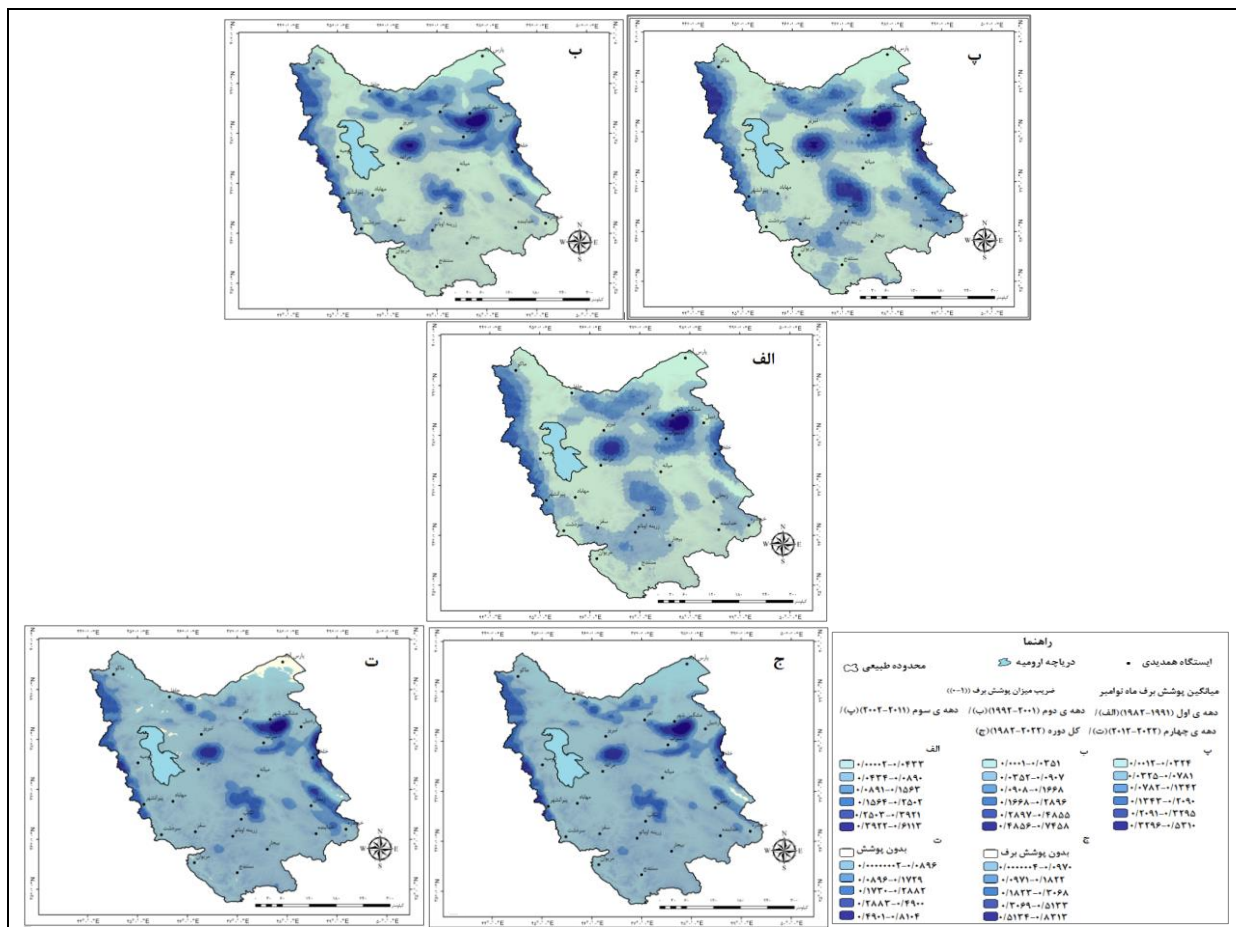
زمستان			پاییز			بازه زمانی	
مارس	فوریه	ژانویه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	روند	
۹۰٪	۱۰۰٪	۹۰٪	۴۵٪	۷۵٪	۸۵٪	درصد تعداد ایستگاه‌ها با روند افزایشی	روند افزایشی میانگین دمای کمینه
۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۸	متوسط مقدار روند افزایشی (درجه سانتی‌گراد)	
۲۰٪	۷۵٪	۷۰٪	۳۵٪	۱۵٪	بدون روند	درصد تعداد ایستگاه‌ها با روند کاهش	روند کاهش مجموع بارش برف
۰/۴۲	۵/۴۳	۴/۵۶	۱/۰۷	۰/۲۱	بدون روند	متوسط مقدار روند کاهش (سانتی‌متر)	

سایر دهه‌ها هم به لحاظ گستردگی (تعداد پیکسل‌ها) و هم به لحاظ مقدار پوشش برف کاهش محسوسی مشاهده می‌شود (شکل ۳ و جدول ۴). هر چند روند افزایشی ۰/۰۳ درجه سانتی‌گراد میانگین دمای کمینه‌ی ایستگاه‌های شمال غرب در ماه نوامبر نسبت به روند افزایشی سایر ماه‌ها کم بوده است. با این حال در این ماه در بارش برف ۱۵ درصد ایستگاه‌های منطقه روند کاهش (۰/۲۱ سانتی‌متری) را نشان می‌دهد (جدول ۳). در حالی که در دهه‌ی چهارم با مقادیر بالای ضریب آستانه‌ی پوشش برف (۰/۵۱۳ تا ۰/۸۱۰) همراه با افزایش گستردگی (تعداد پیکسل)، هسته‌های پوشش برف قابل توجهی در سیلان و سهند شکل گرفته است. این نوع رفتار متفاوت در این دهه می‌تواند ناشی از بارش‌های فرین متمرکز بر بخش‌های مرتفع باشد (حیدری منفرد، ۱۴۰۲).

بطور کلی میانگین پوشش برف پهنه‌ی شمال غرب طی دهه‌های مختلف ماه نوامبر نشان می‌دهد که در این ماه پوشش برف با آستانه‌ی کم‌تر از ۰/۰۹۷ در هر ۴ دهه و کل دوره به طور متوسط ۰/۰۹۸ اتفاق افتاده است. با افزایش آستانه ضریب پوشش برف در هر بازه‌ی زمانی مورد مطالعه تعداد پیکسل‌های پوشش برف کاهش می‌یابد. بالعکس؛ در هر بازه‌ی زمانی با کاهش وسعت پوشش برف، مقدار آن افزایش یافته است. به طوری که در دهه سوم و سپس دهه اول بالاترین کاهش سطح پوشش برف رخ داده است. بدین ترتیب با در نظر گرفتن پهنه‌های پوشش برف (شکل ۳) می‌توان بیان داشت که مقدار بالای پوشش برف غالباً در مناطق محدود کوهستانی مخصوصاً سیلان و سهند به وقوع پیوسته‌اند. از طرفی با گذر بازه زمانی در دهه‌ی سوم نسبت به

جدول ۴: فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پهنه‌های میانگین پوشش برف ماه نوامبر (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال غرب ایران

فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱)) ماه نوامبر در هر دهه										آستانه پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱))
کل دوره (۱۹۸۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)		دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)		دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)		
۰/۰۳۰	۴۵۸۳	۰/۰۲۶	۴۵۶۸	۰/۰۴۹	۵۲۴۹	۰/۰۲۸	۴۵۲۴	۰/۰۴۰	۴۶۴۱	≤۰/۰۹۷
۰/۱۹۷	۱۰۵۱	۰/۱۹۳	۹۷۵	۰/۲۵۴	۳۹۵	۰/۱۸۳	۱۱۲۰	۰/۱۶۹	۱۰۰۴	>۰/۰۹۷
۰/۲۸۱	۴۵۹	۰/۲۷۳	۴۱۷	۰/۲۵۴	۳۹۵	۰/۲۷۵	۴۰۰	۰/۲۸۶	۲۳۰	>۰/۱۸۲
۰/۴۴۶	۱۱۱	۰/۴۳۱	۹۱	۰/۳۸۳	۶۰	۰/۴۴۸	۹۸	۰/۴۰۹	۷۰	>۰/۳۰۶
۰/۶۶۶	۲۲	۰/۶۵۱	۱۹	۰/۵۲۳	۲	۰/۶۲۷	۲۴	۰/۵۶۳	۹	>۰/۵۱۳



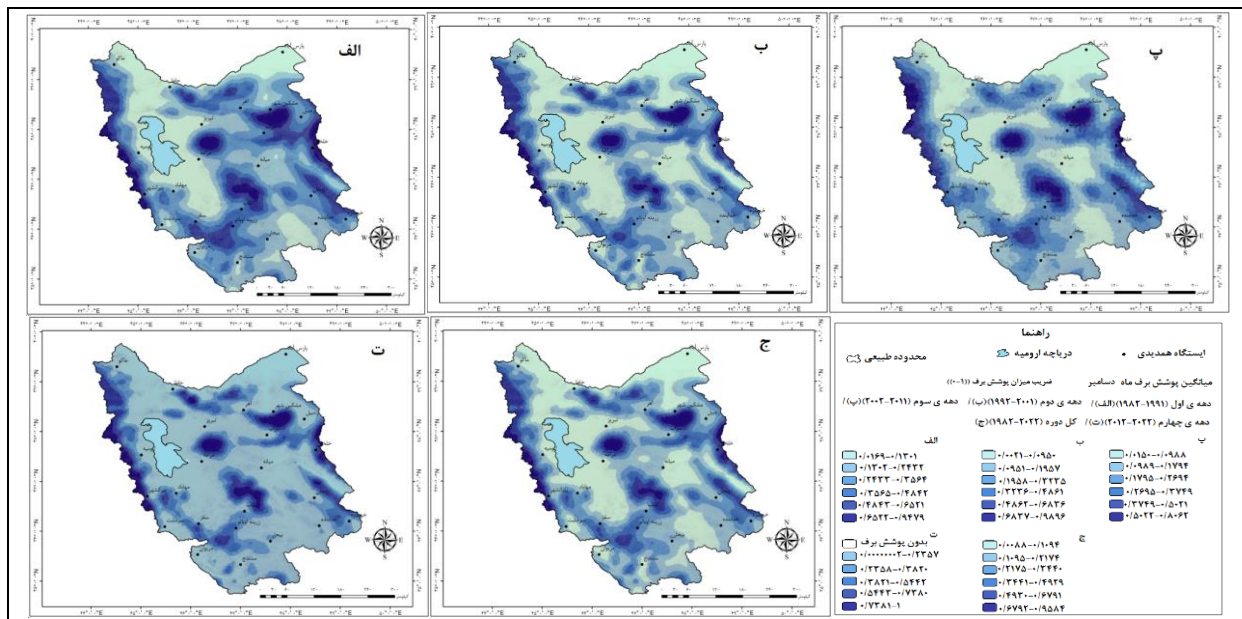
شکل ۳: پهنه‌بندی میانگین پوشش برف ماه نوامبر (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف در شمال غرب ایران

افزایش میزان آستانه‌های ضریب پوشش برف کاهش گستردگی پوشش برف به همراه افزایش مقدار آن روی داده است. به عبارت دیگر در محدوده‌های (تعداد پیکسل‌های) کم‌تری، مطابق با مناطق کوهستانی، مقادیر بالای پوشش برف متمرکز می‌باشند؛ مخصوصاً در دهه‌ی چهارم (۲۰۲۲-۲۰۱۲) مقادیر ضریب پوشش برف (۰/۳۴۴ تا ۰/۶۵۷)، به نسبت سایر بازه‌های زمانی بیشتر است. این مسئله می‌تواند ناشی از بارش‌های فرین برف در سال‌های اخیر باشد. با این وجود در بازه زمانی سوم (۲۰۱۲-۲۰۰۲) بارش برف دسامبر ۳۵ درصد ایستگاه‌های منطقه، رفتاری کاملاً محسوس به شکل روند کاهشی با مقدار ۱/۰۷ سانتی متری واقع گشته است (جدول ۳). این تفاوت رفتاری در پوشش برف دهه سوم، مخصوصاً از آستانه‌ی ۰/۳۴۴ ضریب پوشش برف و بالاتر به بعد، هم در گستردگی و هم در مقدار آن کاهش قابل توجهی نسبت به سایر بازه‌های زمانی روی داده است.

فصل پاییز آغاز نفوذ بادهای غربی بر محدوده‌ی ایران است. این بادهای ابتدا از آذربایجان وارد می‌شوند و به تدریج تا اواخر پاییز همه جای ایران را فرا می‌گیرند. ناپایداری و رطوبت همراه بادهای غربی منجر به آغاز بارندگی‌های دوره سرد سال با مقدار بیش‌تر از آذربایجان می‌شوند (علیجانی، ۱۳۸۹). در ماه دسامبر نسبت به دو ماه اول فصل پاییز افزایش قابل توجهی در پوشش برف شمال غرب حاصل گشته است. در تمامی بازه‌های زمانی بجز دهه‌ی سوم هم به لحاظ گستردگی (تعداد پیکسل) و هم به لحاظ مقدار پوشش برف با مقدار قابل توجه از پوشش برف (۰/۱ تا ۰/۸ ضریب پوشش برف) تقریباً رفتار مشابه و نزدیک به هم را تجربه کردند (شکل ۴ و جدول ۵). این افزایش مقدار برف ماه دسامبر نسبت به ماه‌های اکتبر و نوامبر می‌تواند ناشی از افزایش روزهای برفی حاصل گردد. در واقع روزهای برفی از نظر توزیع زمانی بیش‌تر در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه اتفاق می‌افتد (جدول ۶ و علیجانی، ۱۳۸۹). علاوه بر آن در تغییرات درون دهه‌ای هر دوره با

جدول ۵: فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پهنه‌های میانگین پوشش برف ماه دسامبر (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال غرب ایران

فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱)) ماه دسامبر در هر دهه										آستانه پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱))
کل دوره (۱۹۸۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)		دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)		دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)		
۰/۱۰۸	۳۲۹۷	۰/۰۹۴	۳۲۶۶	۰/۱۱۵	۳۶۱۹	۰/۱۰۰	۳۵۸۱	۰/۱۲۲	۲۲۴۶	≤۰/۲۱۷
۰/۴۰۴	۲۳۴۷	۰/۴۴۳	۲۳۷۸	۰/۳۴۵	۲۰۲۵	۰/۴۰۳	۲۰۶۳	۰/۳۹۹	۳۳۹۸	>۰/۲۱۷
۰/۵۱۵	۱۲۶۵	۰/۵۳۷	۱۵۴۰	۰/۴۵۵	۸۲۰	۰/۵۱۹	۱۰۹۸	۰/۵۰۱	۱۸۴۷	>۰/۳۴۴
۰/۶۳۹	۵۸۳	۰/۶۶۸	۷۷۳	۰/۵۶۴	۲۳۸	۰/۶۴۶	۵۱۳	۰/۶۱۴	۸۳۲	>۰/۴۹۲
۰/۷۸۱	۱۸۸	۰/۸۰۴	۳۱۹	۰/۷۳۱	۲۰	۰/۷۷۹	۱۷۹	۰/۷۶۶	۲۰۵	>۰/۶۷۹



شکل ۴: پهنه‌بندی میانگین پوشش برف ماه دسامبر (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف در شمال غرب ایران

جدول ۶: تاریخ بیشینه برف انباشته روزانه‌ی شمال غرب کشور (۲۰۰۰-۲۰۱۸)

ایستگاه	سال	ماه	روز	مقدار برف انباشته (سانتی‌متر)	ایستگاه	سال	ماه	روز	مقدار برف انباشته (سانتی‌متر)
اهر	۲۰۱۳	دسامبر	۱۳	۶۰	ارومیه	۲۰۱۷	فوریه	۲	۳۵
اردبیل	۲۰۰۷	دسامبر	۴	۳۶	پارس آباد	۲۰۱۶	ژانویه	۲۶	۲۶
بیجار	۲۰۰۵	دسامبر	۱۰	۱۰۹	پیرانشهر	۲۰۰۵	ژانویه	۲۵	۹۴
جلقا	۲۰۱۲	مارس	۵	۲۵	سنندج	۲۰۰۰	ژانویه	۲۹	۲۹
	۲۰۱۷	ژانویه	۲۸	۲۵	سقز	۲۰۱۳	دسامبر	۱۴	۴۷۲
خلخال	۲۰۱۷	فوریه	۱۸	۵۵	سراب	۲۰۱۸	ژانویه	۶	۹۷
خدابنده	۲۰۰۵	فوریه	۱۰	۷۸	سردشت	۲۰۰۵	ژانویه	۲۵	۱۵۸
خرمدره	۲۰۱۱	ژانویه	۱۶	۴۱	تبریز	۲۰۰۷	مارس	۲۰	۳۵
مهاباد	۲۰۱۶	دسامبر	۲۴	۵۵	تکاب	۲۰۱۷	ژانویه	۲۲	۵۲
ماکو	۲۰۱۶	ژانویه	۲	۵۶	زنجان	۲۰۱۳	دسامبر	۶	۲۵
مراغه	۲۰۰۸	فوریه	۱۷	۳۰	زرینه اوباتو	۲۰۰۳	فوریه	۲۷	۱۴۶
مریوان	۲۰۰۵	ژانویه	۲۵	۷۸					
مشکین شهر	۲۰۰۱	نوامبر	۱۹	۶۳					
میانه	۲۰۰۱	نوامبر	۱۹	۳۵					

آستانه‌های ضریب پوشش برف شمال غرب در ماه ژانویه زمستان (جدول ۷ و شکل ۵) نسبت به سایر ماه‌های فصل سرد، نشان از افزایش پوشش برف بوده است. با آستانه‌ی ۰/۳۰۳ ضریب پوشش برف و کم‌تر، در گذر بازه‌های زمانی و کل دوره‌ی آماری مورد مطالعه بر وسعت پهنه‌های پوشش برف

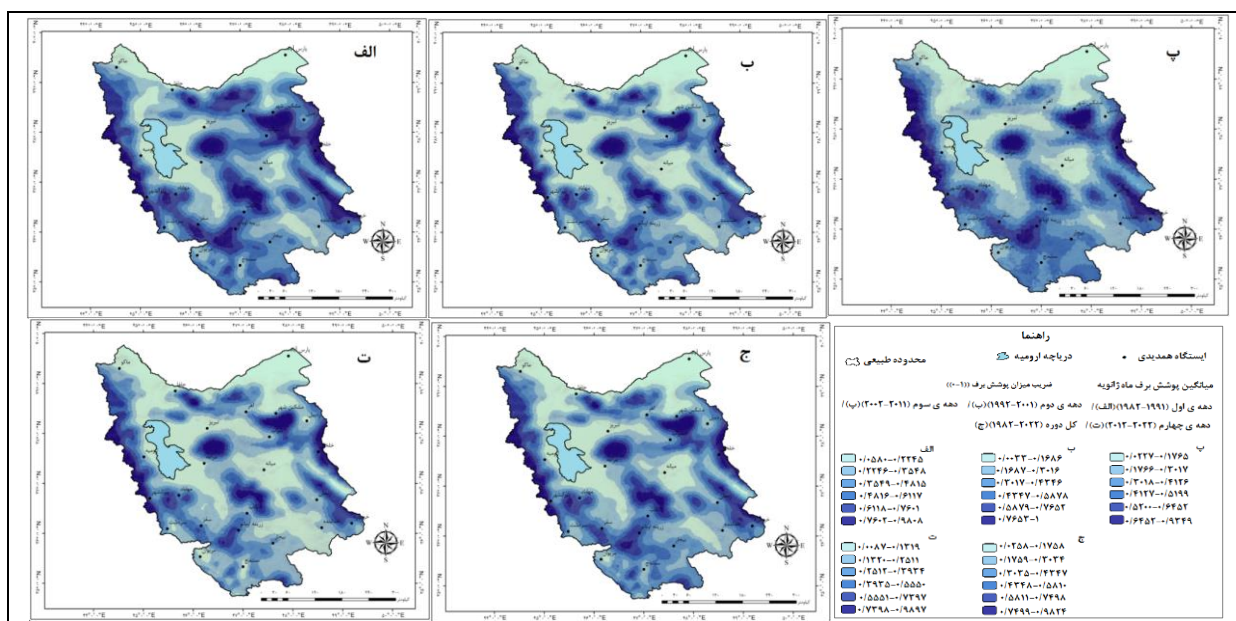
در زمستان تمام ایران زیر نفوذ بادهای غربی و اغتشاشات آن‌ها قرار می‌گیرد. از طرف دیگر در سطح زمین نیز مسیرهای چرخندی تشکیل می‌گردد (علیجانی، ۱۳۸۹). بیشینه مقدار بارش برف و بیشینه روزهای برفی ایستگاه‌های شمال غرب در دو دهه‌ی اخیر در ماه ژانویه رخ داده است. مقایسه مقدار

(تعداد پیکسل‌ها) افزوده شده است در حالی که از مقدار پوشش برف کاسته شده است. در تمامی بازه‌های زمانی مورد مطالعه، بجز دهه‌ی سوم، با آستانه‌ی بالای ۰/۳۰۳ ضریب پوشش برف، با کاهش گسترده‌ی پوشش برف و متمرکز شدن در مناطق کوهستانی، به لحاظ مقدار پوشش برف تقریباً رفتار مشابهی داشته‌اند. با افزایش آستانه‌ی ضریب پوشش برف، در دهه‌های چهارم با وجود افزایش مقدار پوشش برف (۰/۳۰۳ تا ۰/۹۸۹)، گسترده‌ی آن محدود به بخش‌های مرتفع منطقه بوده است با این وجود مقدار پوشش برف دهه‌ی

سوم (۲۰۱۲-۲۰۰۲) نسبت به سایر دهه‌ها کاهش یافته است. بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف شمال غرب در ماه ژانویه حاکی از کاهش آن بوده است به طوری که متوسط روند کاهشی بارش برف ایستگاهی منطقه به مقدار ۴/۵۶ سانتی‌متر می‌باشد. این روند می‌تواند بیانگر اثر روند افزایشی دمای کمینه به طور متوسط برابر با ۰/۰۹ درجه سانتی‌گراد منطقه باشد (جدول ۳). بدون شک با افزایش دما الگوی بارش منطقه دستخوش تغییر شده و رژیم بارش زمستانه از برف به باران تبدیل شده است (فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۸).

جدول ۷: فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پهنه‌های میانگین پوشش برف ماه ژانویه (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال غرب ایران

فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱)) ماه ژانویه در هر دهه										آستانه پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱))
کل دوره (۱۹۸۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)		دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)		دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)		
۰/۱۷۸	۲۵۳۸	۰/۱۴۷	۳۷۱۹	۰/۱۸۱	۲۳۶۰	۰/۱۶۶	۲۰۲۷	۰/۲۰۷	۱۵۱۳	≤ ۰/۳۰۳
۰/۵۱۴	۳۱۰۶	۰/۵۲۷	۱۹۲۵	۰/۴۸۰	۳۲۸۴	۰/۵۱۹	۲۸۱۶	۰/۵۵۶	۴۱۳۱	> ۰/۳۰۳
۰/۶۱۷	۱۸۳۰	۰/۶۲۱	۱۲۱۶	۰/۵۶۶	۱۸۳۸	۰/۶۲۰	۱۶۹۳	۰/۶۲۶	۲۹۹۶	> ۰/۴۳۴
۰/۷۱۵	۹۹۱	۰/۷۳۲	۶۳۱	۰/۶۷۱	۷۲۲	۰/۷۲۴	۹۰۶	۰/۷۲۰	۱۶۷۸	> ۰/۵۸۱
۰/۸۴۲	۳۱۰	۰/۸۵۱	۲۴۶	۰/۸۰۴	۸۶	۰/۸۵۱	۳۰۷	۰/۸۲۹	۶۰۶	> ۰/۷۴۹



شکل ۵: پهنه‌بندی میانگین پوشش برف ماه ژانویه (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف در شمال غرب ایران

بعد ماه ژانویه، ماه فوریه بیش‌ترین روزهای برفی فصل زمستان شمال غرب را به خود اختصاص داده است (جدول ۶). با آستانه‌ی ضریب پوشش برف ۰/۲۷۷ و کم‌تر، در گذر زمان بر گسترده‌ی پوشش برف (تعداد پیکسل‌ها) افزوده شده ولی مقدار آن کاهش یافته است. به عبارت دیگر پوشش برف

با مقادیر ناچیز در محدوده‌های وسیع‌تری روی داده است. با آستانه‌های بالاتر از ۰/۲۷۷ ضریب پوشش برف، از گسترده‌ی (تعداد پیکسل) پوشش برف و نیز مقدار آن مخصوصاً در دهه‌های دوم و سوم کاسته شده است. همانند سایر ماه‌ها در ماه فوریه نیز پوشش برف با مقادیر بالای

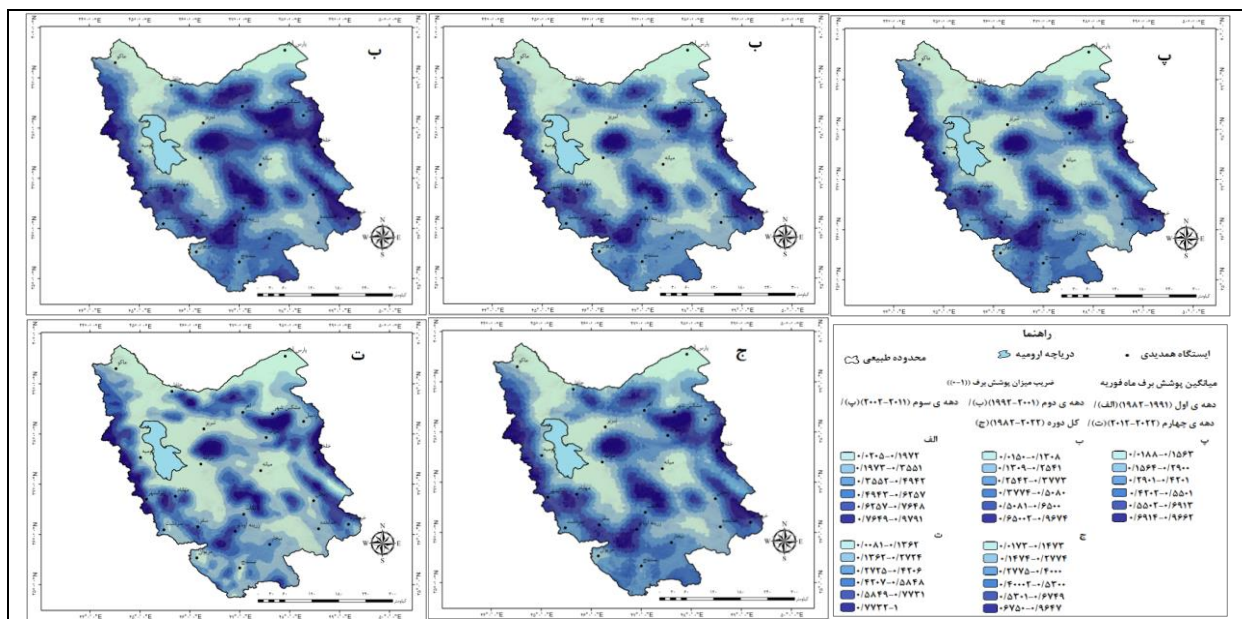
ضریب پوشش برف، بر مناطق کوهستانی منطبق بوده است. نکته قابل توجه این است که هر چند پوشش برف دهه‌های دوم و سوم از لحاظ مقدار رفتار مشابهی داشته‌اند ولی گستردگی (تعداد پیکسل) پوشش برف در دهه‌ی سوم افزایش داشته که می‌توان بیان کرد که همان حجم پوشش برف مشابه دهه دوم در وسعت بیش‌تری از منطقه در دهه‌ی سوم روی داده است بنابراین نه تنها در پوشش برف دهه‌ی سوم افزایشی رخ نداده است بلکه کاهش در میزان پوشش برف نیز رخ داده است. از طرف دیگر، با توجه به مقادیر آستانه‌های ضریب پوشش برف ماه فوریه، پوشش برف این ماه نسبت به ماه ژانویه کاهش یافته است (جدول ۸ و شکل ۶). در واقع متوسط مقدار روند کاهشی بارش برف ماهانه

برابر با ۵/۴۳ سانتی‌متر همراه با متوسط روند افزایشی دمای کمینه‌ی ماهانه‌ی (۰/۱۵) درجه سانتی‌گراد) ایستگاه‌های منطقه، بیش‌ترین مقدار روند کاهشی ماه‌های فصول سرد را به خود اختصاص داده است (جدول ۳). این نتایج حاکی از روند افزایشی دما با نتایج تحقیق فلاحی و همکاران (۱۳۹۶)، اختر و همکاران (۲۰۰۸)، بوتیانی و همکاران (۲۰۱۰)، جین و همکاران (۲۰۱۰)، ون وورن و همکاران (۲۰۱۱)، مرنگو و همکاران (۲۰۱۴) و گان و همکاران (۲۰۱۵) و نیز روند کاهشی بارش برف با نتایج تحقیق فتاحی و مقیمی (۱۳۹۸) و میرموسوی و صبور (۱۳۹۳) (ب) برای پوشش برف فصول سرد سال همخوانی دارد.

جدول ۸: فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پهنه‌های میانگین پوشش برف ماه فوریه (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال

غرب ایران

فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱)) ماه فوریه در هر دهه									آستانه پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱))	
کل دوره (۱۹۸۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)		دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)		دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)		
۰/۱۵۲	۲۰۹۷	۰/۱۳۹	۳۱۸۷	۰/۱۵۲	۲۱۱۸	۰/۱۴۱	۲۷۵۹	۰/۱۵۷	۱۲۷۹	≤۰/۲۷۷
۰/۴۸۱	۳۵۴۷	۰/۵۱۵	۲۴۷۷	۰/۴۹۴	۳۵۲۶	۰/۴۳۶	۲۸۸۶	۰/۵۷۳	۴۳۶۵	>۰/۲۷۷
۰/۵۶۳	۲۲۴۸	۰/۶۱۲	۱۶۱۸	۰/۵۶۹	۲۳۸۵	۰/۵۵۵	۱۶۸۶	۰/۶۲۴	۳۵۸۵	>۰/۴۰۰
۰/۶۵۱	۱۲۱۷	۰/۷۰۱	۱۰۱۴	۰/۶۶۰	۱۲۸۶	۰/۶۴۴	۸۷۱	۰/۶۸۸	۲۵۳۵	>۰/۵۳۰
۰/۷۵۲	۴۱۵	۰/۸۰۹	۵۰۴	۰/۷۵۹	۴۹۹	۰/۷۴۱	۲۸۳	۰/۷۷۸	۱۲۶۵	>۰/۶۷۴



شکل ۶: پهنه‌بندی میانگین پوشش برف ماه فوریه (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف در شمال غرب ایران

به نسبت سایر بازه‌های زمانی در هر دو بخش گستردگی و مقدار پوشش برف روند کاهشی بیش‌تر نمایان شده است (جدول ۹ و شکل ۷)؛ که این مسئله را می‌توان به متوسط روند افزایشی دمای کمینه برابر با ۰/۱۹ درجه سانتی‌گراد و نیز روند کاهشی بارش برف ایستگاهی منطقه برابر با مقدار ۰/۴۲ سانتی‌متر (جدول ۳) نسبت داد. در این خصوص نتایج مطالعات براون و رایبسون^۱ (۲۰۱۱) نیز نشان می‌دهد که وسعت پوشش برف بهاری نیمکره شمالی طی ۹۰ سال گذشته کاهش قابل توجهی داشته است و میزان کاهش ۴۰ سال گذشته تسریع شده است و بیش‌ترین کاهش نیز در ماه مارس رخ داده است. روندهای مشاهده شده در وسعت پوشش برف عمدتاً توسط دمای هوای گرم‌تر کنترل می‌شوند، با دمای هوای عرض جغرافیای متوسط نیمکره شمالی ۵۰ درصد از واریانس آن را توضیح می‌دهد. در آخرین ماه فصل زمستان نیز به مانند ماه‌های قبل، پهنه پوشش برف با مقادیر بالاتر ضریب پوشش (۰/۱۷۱ تا ۰/۷۲۷) اغلب مناطق مرتفع شمال غرب را فرا گرفته‌اند.

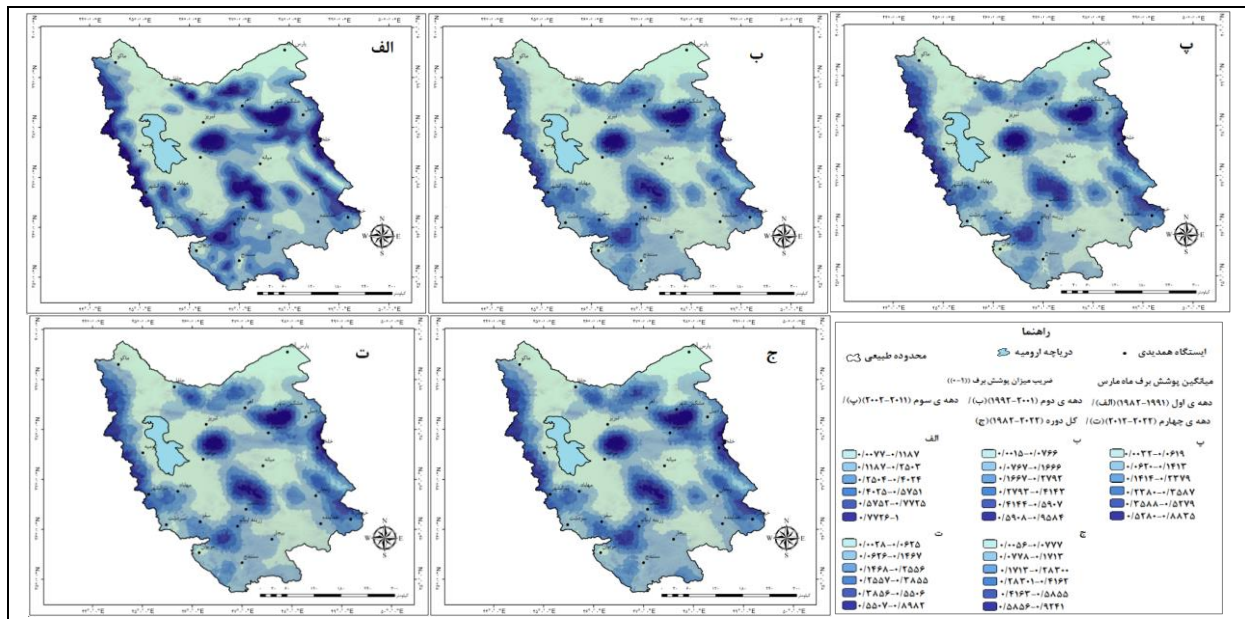
همچنین اثر روند افزایشی دما به ویژه در فصل زمستان قابل توجه است. روابط منفی بین میانگین دمای هوای زمستانی و مقادیر بارش برف ثبت شده در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی، تأثیر قوی افزایش دما بر کاهش مؤلفه بارش برف در کل بارش زمستانی را نشان می‌دهد (Bhutiyan & et al, 2010). نکته‌ی قابل توجه این است که در ماه فوریه به مانند سایر ماه‌های فصل سرد گستردگی پوشش برف با مقادیر قابل توجه ضریب پوشش برف (۰/۲۷۷ تا ۱) افزایش داشته است.

بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی میانگین پوشش برف شمال غرب ایران طی دهه‌های مورد مطالعه در ماه مارس روند کاهشی پوشش برف منطقه قابل ملموس می‌باشد. با آستانه ضریب پوشش برف ۰/۱۷۱ و کم‌تر، در گذر بازه‌های زمانی، مخصوصاً در دهه‌ی سوم و چهارم، بر گستردگی پهنه‌های پوشش برف (تعداد پیکسل) با مقادیر ناچیز افزوده می‌شود. از آستانه‌ی ضریب برف ۰/۱۷۱ به بالاتر، در طی زمان هم به لحاظ گستردگی (تعداد پیکسل) و هم به لحاظ مقدار پوشش برف کاهش روی داده است. در دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)

جدول ۹: فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پهنه‌های میانگین پوشش برف ماه مارس (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف بر اساس آستانه‌های تعریف شده در شمال

غرب ایران

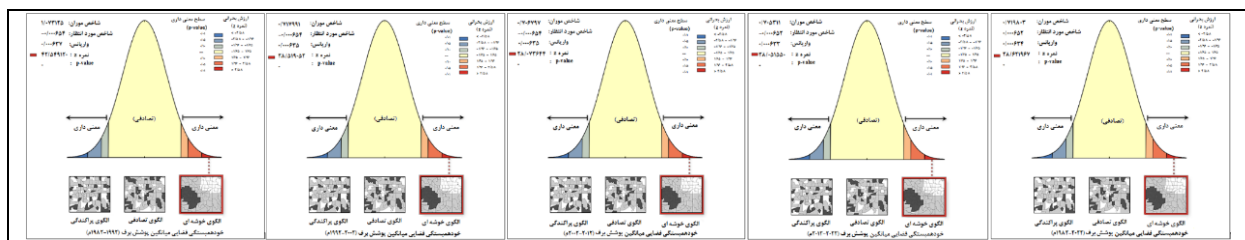
فراوانی پیکسل و متوسط مقدار پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱)) ماه مارس در هر دهه										آستانه پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱))
کل دوره (۱۹۸۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)		دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)		دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)		دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)		
۰/۰۷۸	۳۴۰۱	۰/۰۶۷	۳۹۰۴	۰/۰۶۵	۳۹۵۶	۰/۰۷۲	۳۶۷۴	۰/۰۸۱	۲۲۷۳	≤ ۰/۱۷۱
۰/۳۲۶	۲۲۴۳	۰/۳۱۷	۱۷۴۰	۰/۳۱۴	۱۶۸۸	۰/۳۲۳	۱۹۷۰	۰/۴۲۹	۳۳۷۱	> ۰/۱۷۱
۰/۴۲۴	۱۱۶۳	۰/۴۱۴	۸۷۷	۰/۴۰۹	۸۳۵	۰/۴۲۲	۱۰۰۳	۰/۵۳۹	۲۲۰۴	> ۰/۲۸۳
۰/۵۳۰	۵۰۴	۰/۵۲۹	۳۳۳	۰/۵۰۹	۳۴۴	۰/۵۳۹	۳۹۱	۰/۶۴۷	۱۴۱۶	> ۰/۴۱۶
۰/۶۸۱	۱۱۳	۰/۶۸۲	۷۴	۰/۶۸۲	۵۸	۰/۶۹۲	۹۹	۰/۷۵۶	۸۲۰	> ۰/۵۸۵



شکل ۷: پهنه‌بندی میانگین پوشش برف ماه مارس (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف در شمال غرب ایران

خودهمبستگی مکانی بوده و دارای الگوی خوشه‌ای می‌باشند. با استناد به بالا بودن مقدار آماره Z و سطح اطمینان ۹۹ درصد فرضیه عدم وجود خودهمبستگی مکانی بین داده‌های پوشش برف شمال غرب رد می‌گردد. در واقع پوشش برف منطقه در سال‌های مورد مطالعه دارای خودهمبستگی مکانی معنی‌دار مثبت است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های پوشش برف سالانه‌ی شمال غرب ایران دارای ساختار مکانی بوده و یا به عبارت دیگر پوشش برف در طی سال‌های مطالعاتی به صورت خوشه‌ای توزیع شده است، یعنی پیکسل‌های پوشش برف بالا و پایین به متمرکز شدن یا خوشه‌ای شدن در فضا تمایل دارند. حال اگر قرار بود پراکندگی داده‌ها با فرض نرمال (تصادفی) صورت می‌گرفت، شاخص موران مورد انتظار در دهه‌های مدنظر باید مقداری برابر $0/00654$ - را اختیار می‌نمود.

در ادامه به منظور ارزیابی مقادیر خودهمبستگی مکانی میانگین سالانه‌ی پوشش برف شمال غرب از روش موران جهانی استفاده شد. خودهمبستگی مکانی موران دو خروجی به صورت گرافیکی (شکل ۸) و عددی (جدول ۱۰) ارائه می‌نماید. خروجی گرافیکی نشان می‌دهد که آیا داده‌ها به صورت خوشه‌ای توزیع شده‌اند. در واقع شاخص موران به عدد مثبت یک (+۱) نزدیک باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی مکانی و الگوی خوشه‌ای می‌باشند. اگر مقدار شاخص موران به عدد منفی یک (-۱) نزدیک باشد، در این صورت داده‌ها از هم گسیخته و پراکنده می‌باشند. نتایج شکل و جدول مذکور خروجی‌های تحلیل خودهمبستگی مکانی موران جهانی را نشان می‌دهند. با توجه به متوسط مقدار شاخص موران برای هر پنج بازه‌ی زمانی مورد مطالعه که برابر با $0/785$ بوده است، بیانگر این است که داده دارای



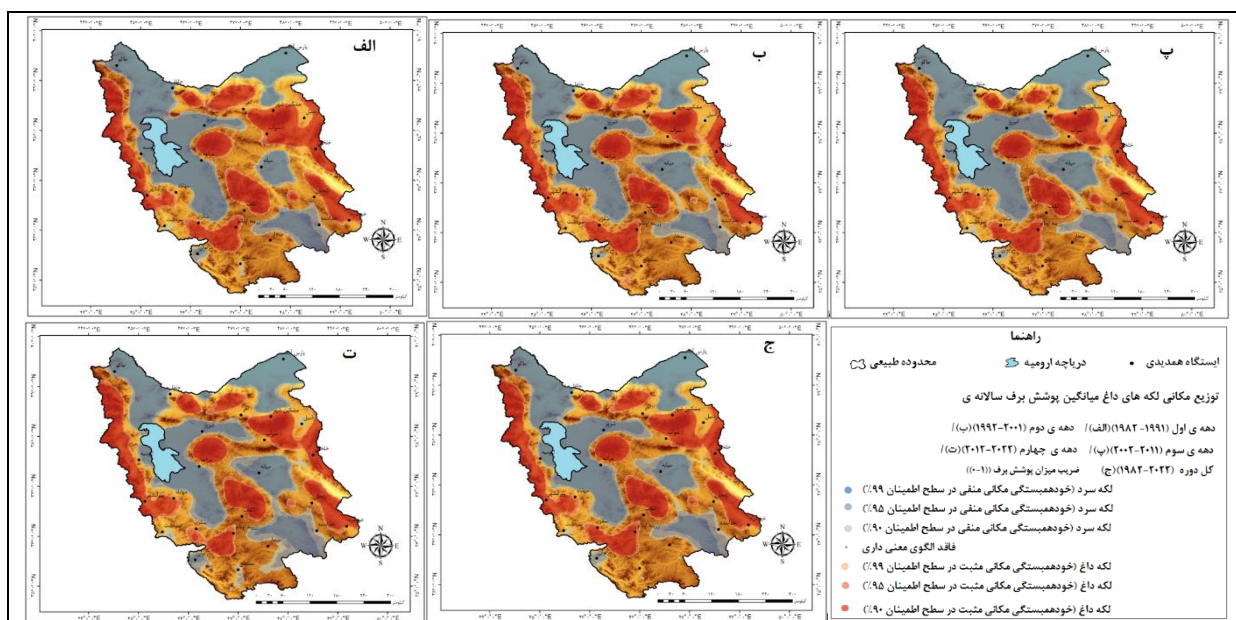
شکل ۸: نمودار خودهمبستگی میانگین سالانه‌ی پوشش برف (ضریب پوشش برف (۰-۱)) طی دهه‌های مختلف در شمال غرب ایران

جدول ۱۰: آماره موران کلی برای میانگین سالانه‌ی پوشش برف (ضریب پوشش برف (۱-)) طی دهه‌های مختلف مورد بررسی در شمال غرب ایران

آماره	آماره		نمایه موران مورد انتظار	نمایه موران	خودهمبستگی مکانی
	P-value	Z			
۰	۴۲/۵۴۹۱۲۰	۰/۰۰۰۶۳۷	-۰/۰۰۰۶۵۴	۱/۰۷۳۱۲۵	میانگین سالانه پوشش برف دهه‌ی اول (۱۹۸۲-۱۹۹۲)
۰	۲۸/۵۱۹۰۵۲	۰/۰۰۰۶۳۵	-۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۷۱۷۹۹۱	میانگین سالانه پوشش برف دهه‌ی دوم (۱۹۹۲-۲۰۰۲)
۰	۲۸/۰۷۳۶۴۴	۰/۰۰۰۶۳۵	-۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۷۰۶۷۹۷	میانگین سالانه پوشش برف دهه‌ی سوم (۲۰۰۲-۲۰۱۲)
۰	۲۸/۰۵۱۵۵۰	۰/۰۰۰۶۳۳	-۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۷۰۵۳۱۱	میانگین سالانه پوشش برف دهه‌ی چهارم (۲۰۱۲-۲۰۲۲)
۰	۲۸/۶۲۱۹۶۷	۰/۰۰۰۶۳۴	-۰/۰۰۰۶۵۴	۰/۷۱۹۸۰۳	میانگین سالانه پوشش برف کل دوره (۱۹۸۲-۲۰۲۲)

۹۹ درصد تقریباً بر مناطق کوهستانی متمرکز شده‌اند. خوشه‌های سرد (شامل مقادیر پایین پوشش برف) بیش‌تر در مناطق کم ارتفاع بخش شمالی منطقه و نواحی اطراف دریاچه ارومیه مشاهده می‌شود. آنچه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود گستردگی تجمع مقادیر پایین پوشش برف به شکل خوشه‌های آبی رنگ در شمال غرب طی دهه‌های مختلف مورد بررسی به نسبت خوشه‌های داغ بیش‌تر می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت که داده‌های میانگین سالانه پوشش برف به قرارگیری در خوشه‌های سرد تمایل بیش‌تری داشته‌اند.

در نهایت جهت اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های با ارزش بالا و پایین از شاخص لکه‌های داغ آماره گتیس-ارد جی استفاده گردید. مناطق با مقادیر کم میانگین سالانه پوشش برف در هر سه سطح احتمال ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد که به رنگ آبی و مناطق با مقادیر بالای میانگین سالانه پوشش برف با رنگ قرمز نمایش داده شده است (شکل ۹). نتایج بدست آمده از نقشه پهنه‌بندی لکه‌های داغ تهیه شده به کمک شاخص G_i^* ، برای داده‌های میانگین سالانه‌ی پوشش برف شمال غرب نشان می‌دهد که در تمامی بازه‌های زمانی مورد مطالعه، لکه‌های داغ میانگین سالانه‌ی پوشش برف با احتمال



شکل ۹: پهنه‌بندی نقاط داغ میانگین سالانه‌ی پوشش برف (ضریب پوشش برف (۱-)) طی دهه‌های مختلف مورد مطالعه در شمال غرب ایران

در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های باز تحلیل شده پوشش برف منطقه شمال غرب ایران که از پایگاه داده

۴. نتیجه‌گیری

هوا، به ویژه دمای کمینه و بارش برف در منطقه انجام شد. مشاهده شد که پوشش برف با کاهش دمای کمینه و افزایش بارش افزایش می‌یابد، در حالی که با افزایش دمای کمینه و کاهش بارش برف کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که پوشش برف نسبت به تغییرات دمای این منطقه بسیار حساس است. همچنین شرایط توپوگرافیک از قبیل شیب، جهت، ارتفاع، باد و موقعیت جغرافیایی و طبیعی مانند چگونگی قرارگیری منطقه نسبت به جهت و مسیر عبور توده‌های باران‌زا در انباشت و ماندگاری برف تأثیر گذار می‌باشد. مناطقی ممکن است از درصد بالای ریزش برف برخوردار باشد، ولی به دلیل عوامل توپوگرافی و اقلیمی سطح پوشش برف تداوم نداشته و به سرعت ذوب شود. در بعضی شرایط در اثر تغییرات ناگهانی دمای هوا و افزایش آن، ریزش باران و نیز کم عمق بودن برف، سطح برف به سرعت کاهش می‌یابد. در عین حال در بعضی از مناطق به دلیل ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی، انباشت برف تا مدت بیش‌تری استمرار داشته و وقایع ریزش برف در بارش‌های بعدی نیز به آن اضافه می‌شود (قنبرپور، ۱۳۸۴). به منظور تبیین الگوی حاکم بر پوشش برف در شمال غرب ایران از آماره موران استفاده شد. نتایج شاخص موران در مورد میانگین سالانه‌ی پوشش برف نشان داد که مقادیر مربوط به بازه‌های زمانی مختلف دارای ضریب مثبت و نزدیک به یک می‌باشند که نشان از رد فرضیه عدم ارتباط مکانی میانگین سالانه‌ی پوشش برف شمال غرب (H_0) بوده است. این مسئله نیز حاکی از آن است که داده‌های پوشش برف دارای خودهمبستگی مکانی و دارای الگوی خوشه‌ای می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از مقادیر امتیاز استاندارد Z و مقدار P-Value، معنی‌داری خوشه‌ای بودن توزیع مکانی پوشش برف شمال غرب را مورد تأیید قرار داد. در نهایت تحلیل لکه‌های داغ تأییدی آشکار بر تداوم متمرکز شدن و خوشه‌ای شدن پوشش 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. نتایج بدست آمده از پهنه‌بندی لکه‌های داغ میانگین سالانه‌ی پوشش برف شمال غرب تهیه

ERA5 در بازه‌های زمانی مختلف شامل دهه‌ی اول (۱۹۹۱-۱۹۸۲)، دهه‌ی دوم (۲۰۰۱-۱۹۹۲)، دهه‌ی سوم (۲۰۱۱-۲۰۰۲)، دهه‌ی چهارم (۲۰۲۲-۲۰۱۲) دریافت شده بود به منظور بررسی و تحلیل مکانی- زمانی پوشش برف استفاده شد. ابتدا در دوره‌های زمانی مورد مطالعه نقشه‌های پهنه‌بندی پوشش برف ماه‌های فصول سرد ترسیم گردید و بر اساس این نقشه‌ها تغییرات میزان پوشش برف در دهه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی تغییرات مکانی پوشش 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 پوشش برف را دارا می‌باشند. ارزیابی تغییرات زمانی پوشش برف نیز فرضیه‌ی وقوع بارش‌های فرین برف منجر به افزایش پوشش و متقابلاً افزایش تراکم برف ماه‌های فصول سرد طی دهه‌ی اخیر را قوت داد. 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 است و این موضوع سبب گردیده است تا پوشش برف در دهه آخر نسبت به دهه‌های اول تا سوم افزایش نسبی داشته باشد هر چند در نمای کلی میزان پوشش برف در کل گستره شمال غرب در طی چهار دهه اخیر کاهش محسوسی داشته است. با توجه به آستانه‌های ضریب پوشش برف بیش‌ترین افزایش پوشش برف طی فصول سرد در شمال غرب بین ماه‌های ژانویه و سپس فوریه و مارس و کم‌ترین میزان پوشش برف در اوایل فصل پاییز رخ داده است. از دهه‌ی اول تا پایان دهه سوم با وجود افزایش اندک پهنه‌های پوشش برف (تعداد پیکسل‌ها) مقدار پوشش برف شمال غرب کاسته شده است که می‌تواند ناشی از روند منفی بارش برف و نیز روند افزایش متوسط دمای کمینه‌ی منطقه باشد. افزایش دما متناسب با شروع افزایش تابش خورشیدی در نیمکره شمالی در ماه مارس اتفاق افتاده که بیش‌ترین روند افزایشی میانگین دمای کمینه‌ی شمال غرب (۰/۱۹ درجه سانتی‌گراد) منجر به کاهش مقادیر پوشش برف این ماه گشته است. تجزیه و تحلیل چند مقیاسی برای درک تنوع و روند در پارامترهای پوشش برف و آب و

جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پیش شماره پاییز و زمستان، شماره ۲۲، صص ۹۵-۱۰۷.

۴. حیدری منفرد، ز. ۱۴۰۲. تحلیل فضایی ویژگی‌های برف در منطقه شمال غرب ایران، پایان نامه جهت دریافت درجه دکتری، رشته جغرافیای طبیعی، گرایش اقلیم شناسی همدیدی، دانشگاه زنجان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، صص ۲۷۹-۱.

۵. داداشی، م؛ مختاری، م. ح؛ طیبیا، ع؛ زرننگ، ن و حسن آبادی، ع، ۱۳۹۳، محاسبه سطح برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی استان تهران)، نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS)، ۵ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.

۶. رایگانی، ب؛ خواجه‌الدین، س. ح؛ سلطانی، ک و براتی، س، ۱۳۸۷، محاسبه تغییرات نقشه‌های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در دوره‌های فاقد تصویر، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۴، تابستان ۱۳۸۷، صص ۳۱۵-۳۳۱.

۷. روحانی، ح، جعفری‌زاده، م، حشمت‌پور، ع، سلمانی، ح و کاشانی، م. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات بلند مدت بارش در حوضه آبخیز گرگانرود- استان گلستان، مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، صص ۱-۱۰.

۸. سلیمانی، ک؛ درویشی، ش؛ شکریان، ف و رشیدپور، م، ۱۳۹۷، پایش تغییرات زمانی- مکانی پوشش برف با استفاده از تصاویر MODIS (مطالعه موردی: استان کردستان)، سنجش از دور و GIS ایران، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷، صص ۷۷-۱۰۴.

۹. سیف‌الدینی، ف و منصوریان، ح، ۱۳۹۰، تحلیل الگوی تمرکز خدمات شهری و آثار زیست محیطی آن در شهر تهران، محیط شناسی، شماره ۶۰، صص ۶۴-۵۳.

۱۰. شرافت، م و فتح‌نیا، ا. ۱۳۹۸، پایش تغییرات فضایی- زمانی سطوح برفی زاگرس با استفاده از تصاویر

شده به کمک شاخص GI^* نشان می‌دهد، که در تمامی بازه‌های مورد مطالعه، لکه‌های داغ میانگین سالانه‌ی پوشش برف تقریباً بر مناطق مرتفع کوهستانی متمرکز شده‌اند. خوشه‌های سرد (شامل مقادیر پایین پوشش برف) نیز بیش‌تر در مناطق کم‌ارتفاع بخش شمالی منطقه و به ویژه نواحی اطراف دریاچه ارومیه مشاهده می‌شود و اینکه غالباً گستردگی خودهمبستگی مکانی منفی در سطح اطمینان ۹۹ درصد بیش‌تر از خودهمبستگی مکانی مثبت می‌باشد، به عبارت دیگر احتمال وقوع مقادیر پایین پوشش برف (خوشه‌های سرد) بالاتر بوده است. در زمینه‌ی تحلیل‌های مکانی ۱ پدیده برف مطالعات کمی صورت گرفته، از جمله پژوهش ساری صراف و همکاران (۱۳۹۸)، حیدری منفرد (۱۴۰۲) که به ترتیب خودهمبستگی عمق برف در پهنه‌ی شمال، خودهمبستگی ذوب و تراکم برف در شمال غرب را مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند. در پژوهش حاضر، خودهمبستگی مکانی پوشش برف شمال غرب ایران مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از تغییرات زمانی و مکانی و نیز الگوسازی پوشش برف منطقه، می‌تواند در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری تخصیص منابع آب مورد استفاده قرار گیرند.

۵. مراجع

۱. انتظامی، ه؛ علوی‌پناه، س. ک؛ درویشی بلورانی، ع؛ متین‌فر، ح و چپی، ک، ۱۳۹۶، مقایسه‌ی دو روش NDSI و LSU در برآورد سطح برف به وسیله‌ی سنجنده‌ی MODIS (مطالعه‌ی موردی: حوضه آبخیز سقز)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره دوم، صص ۲۰۷-۲۱۹.

۲. انتظامی، ه؛ مجرد، ف؛ دارند، م و شهابی، م، ۱۴۰۰، بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف در حوضه‌ی سفید رود با استفاده از سنجش از دور، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳۹، صص ۱-۱۸. <http://ges.razi.ac.ir/>

۳. بابازاده، س. ا و جاوری، ا. ۱۳۸۸. تحلیل رگرسیونی داده‌های اقلیمی با استفاده از ایستگاه‌های انتخابی ایران،

۱۹. قاسمی فر، ا؛ رضایی، م؛ عیسوند زیبایی، ف. ۱۳۹۴، تحلیل زمانی و مکانی پوشش برف در ایران بر پایه ویژگی های توپوگرافیکی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۳۹، صص ۱۱۷-۱۳۷.
۲۰. قنبرپور، م. ر؛ محسنی ساروز، م؛ ثقفیان، ب؛ احمدی، ح و عباسپور، ک. ۱۳۸۴، تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب، منابع طبیعی ایران، ۳، صص ۵۱۵-۵۰۳.
۲۱. کیخسروی کیانی، م. ص و مسعودیان، س. ا. ۱۳۹۵، شناسایی وردش های مکانی روزهای برفپوشان در ایران زمین به کمک داده های دورسنجی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۷، بهار ۱۳۹۵، صص ۶۹-۸۵.
۲۲. محمدپور، آ و محمدپور، ر. ۱۳۹۵، بررسی تغییرات سطح پوشش برف استان اردبیل با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷)، دومین کنفرانس بین المللی ایده های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، ۱۱ خرداد ماه ۱۳۹۵، اردبیل، صص ۲۳۳-۲۳۴.
۲۳. میرموسوی، س. ح و صبوری، ل. ۱۳۹۳، مطالعه روند تغییرات بارش برف در شمال غرب ایران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۳، صص ۱۱۹-۱۳۶.
۲۴. میرموسوی، س. ح و صبوری، ل. ۱۳۹۳، الف، پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS در منطقه شمال غرب ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، تابستان ۱۳۹۳، صص ۱۸۱-۲۰۰.
۲۵. همتی، ز؛ سلیمانی، ک و میریعقوب زاده، م. ح. ۱۳۹۸، کاربرد مدل SRM و داده های ماهواره ای MODIS در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف (مطالعه موردی: حوضه ی آبخیز تکاب)، سنجش از دور و GIS ایران، شماره دوم، صص ۷۹-۹۲.
26. Akhtar M, Ahmad N, Booij MJ, 2008, The impact of climate change on the water resources of Hindu Kush Karakorum Himalaya region under different glacier coverage scenarios. J. Hydrol, 355 (1-4), pp. 148- 163
- NOAA-AHRR، برنامه ریزی و آمایش فضا، ۲، صص ۱۹۴-۱۷۲.
۱۱. عباسی، ص و رستمی، ن. ۱۴۰۰، تحلیل روند بلند مدت و بررسی رابطه بین سری های اقلیمی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد ایلام)، ترویج و توسعه آبخیزداری، شماره ۳۳، صص ۳۰-۳۹.
۱۲. عزیزی، ع؛ کتیرایی، ف و رحمت پناه، ع، ۱۳۹۶، ب، تحلیل حوادث شبکه آب شهری با شاخص-Getis Ord Gi* در سامانه اطلاعات مکانی مطالعه موردی: شهر اصفهان، نخستین همایش بین المللی سامانه اطلاعات جغرافیایی جاده ابریشم. COI: SILK01_051. <https://civilica.com/doc/717362/>
۱۳. عزیزی، ق، رحیمی، م، محمدی، ح و خوش اخلاق، ف. ۱۳۹۶، الف، تغییرات زمانی- مکانی پوشش برف دامنه های جنوبی البرز مرکزی، جغرافیای طبیعی، شماره ۳، صص ۳۸۱-۳۹۳.
۱۴. عساکره، ح. ۱۳۹۰، مبانی اقلیم شناسی آماری، چاپ اول، زنجان، دانشگاه زنجان، ۵۴۵-۱.
۱۵. علیجانی، ب. ۱۳۸۹، آب و هوای ایران، چاپ دهم، نشر پیام نور، تهران، صص ۱-۲۲۱.
۱۶. فتاحی، اب و مقیمی، ش. ۱۳۹۸، اثر تغییر اقلیمی بر روند برف شمال غرب ایران، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۵۴، صص ۶۳-۴۷.
۱۷. فتاحی، ا و وظیفه دوست، م. ۱۳۹۰، برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی حوضه های استان گلستان)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۰، صص ۱۴۹-۱۶۸.
۱۸. فلاحتی، ف، علیجانی، ب و سلیقه، م. ۱۳۹۶، بررسی اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف در دهه های آینده با رویکرد مدیریت منابع آب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منتهی به سد امیرکبیر، امداد و نجات، سوم، صص ۶۸-۷۹.

- global concern, *Mountain Research and Development*, 30, pp. 53–55.
38. Kour, R., Patel, N., & Krishna, A. P., 2016, Assessment of temporal dynamics of snow cover and its validation with hydro-meteorological data in parts of Chenab Basin, western Himalayas. *Science China Earth Sciences*, 59, pp. 1081-1094. <https://doi.org/10.1007/s11430-015-5243-y>
 39. M arengo JA, Chou SC, Torres RR, Giarolla A, Alves LM, Lyra A, 2014, Climate change in central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture, Working Paper No.73
 40. Mir, R. A., Jain, S. K., Saraf, A. K., & Goswami, A., 2015, Decline in snowfall in response to temperature in Satluj basin, western Himalaya. *Journal of Earth System Science*, 124, pp. 365-382. <https://doi.org/10.1007/s12040-015-0539-z>
 41. Negi, H.S., Kanda, N., Shekhar, M.S., Ganju, A., 2018, Recent wintertime climatic variability over the NorthWest Himalayan cryosphere. *Current Science*, 114, pp. 760–770.
 42. Notarnicola, C., 2020, Hotspots of snow cover changes in global mountain regions over 2000–2018, *Remote Sensing of Environment*, 243, 111781. PP. 1-19.
 43. Pandey, Sh, 2022, Snow Depth And Swe Estimation Using Multi-Sensor Microwave And Optical Remote Sensing Time Series Data For Indian Himalayas, Thesis submitted to the Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation. Specialization: Geoinformatics, Netherlands, pp. 1- 88.
 44. Pepin, N., Bradley, R.S., Diaz, H.F., Baraer, M., Caceres, E.B., Forsythe, N., Fowler, H., Greenwood, G., Hashmi, M.Z., Liu, X.D., 2015, Elevation-dependent warming in mountain regions of the world, *Nature Climate Change*, 5, pp. 424–430.
 45. Sharma, V., Mishra, V. D., & Joshi, P. K., 2014, Topographic controls on spatio-temporal snow cover distribution in Northwest Himalaya. *International Journal of Remote Sensing*, 35(9), pp. 3036-3056. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.894665>
 46. Singh, D.K., Gusain, H.S., Mishra, V., Gupta, N., 2018, Snow cover variability in North-West Himalaya during last
 27. Bednorz, E, 2004, Snow cover in eastern Europe in relation to temperature, precipitation and circulation. *International Journal of climatology*. 24, pp. 591–601. <https://doi.org/10.1002/joc.1014>
 28. Bhutiyani, M. R., Kale, V. S., & Pawar, N. J., 2010, Climate Change And The Precipitation Variations In The Northwestern Himalaya: 1866-2006, *International Journal of Climatology*, 30(4), pp. 535–548. <https://doi.org/10.1002/JOC.1920>
 29. Brown, R. D., & Mote, P. W., 2009, The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate, *Journal of Climate*, 22(8), 2124–2145. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2665.1>
 30. Brown, R. D., & Robinson, D. A., 2011, Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922-2010 including an assessment of uncertainty, *Cryosphere*, 5(1), pp. 219–229. <https://doi.org/10.5194/TC-5-219-2011>
 31. Brown, R.D, 2000, Northern Hemisphere snow cover variability and change, 1915–97, *Journal of Climate*, 13, pp. 2339–2355.
 32. Chen, X., Long, D., Liang, Sh., He, L., Zeng, Ch., Hao, X., Hong, Y., 2018, Developing a composite daily snow cover extent record over the Tibetan Plateau from 1981 to 2016 using multisource data, *Remote Sensing of Environment*, 215, pp. 284-299.
 33. Erickson, T. A., Williams, M. W., and Winstral, A., 2005, Persistence of topographic controls on the spatial distribution of snow in rugged mountain terrain, Colorado, United States, *Water Resources Research*, 41, pp. 1- 17. <https://doi:10.1029/2003WR002973>.
 34. Gan R, Luo Y, Zuo Q, Sun L., 2015, Effects of projected climate change on the glacier and runoff generation in the Naryn River Basin, Central Asia, *Journal of Hydrology*. 523, pp. 240-251.
 35. Hosaka, M., Nohara, D., Kitoh, A., 2005, Changes in Snow Cover and Snow Water Equivalent Due to Global Warming Simulated by a 20km-mesh Global Atmospheric Model, *Sola*, 1, pp. 93–96.
 36. Jain, S, K., Goswami, A., Saraf, A., 2010, Assessment of Snowmelt Runoff Using Remote Sensing and Effect of Climate Change on Runoff, *Water Resources Management*, 24(9), pp. 1763-1777
 37. Kohler, T., Giger, M., Hurni, H., Ott, C., Wiesmann, U., Von Dach, S.W., Maselli, D., 2010, Mountains and climate change A

- Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.) Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2014; pp. 1–30. ISBN 9781107057999.
49. Van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, 2011, The representative concentration pathways: An overview. *Climatic change*, 109, pp. 5- 31.
 50. Wei, Y., Li, X., Gu, L., Zheng, Z., Zheng, X., & Jiang, T. 2023, Significant decreasing trends in snow cover and duration in Northeast China during the past 40 years from 1980 to 2020, *Journal of Hydrology*, 626, 130318. pp. 1- 40.
 - decade. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, pp. 1- 12. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3926-3>
 47. Sospedra-Alfonso, R., Merryfield, W.J., 2017, Influences of Temperature and Precipitation on Historical and Future Snowpack Variability over the Northern Hemisphere in the Second Generation Canadian Earth System Model, *Journal Of Climate*, 30, pp. 4633–4656.
 48. Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P.M., 2013, Summary for Policymakers. In *Climate Change 2013—The Physical Science Basis: Working Group I*