

Spatial analysis of snow cover in western Iran using satellite imagery

Introduction

Snow is one of the precipitations form especially in mountainous and high latitude areas, which can be seen as ice crystals in different microscopic forms. Snow cover is formed naturally in cold and mountainous regions due to freezing of air and failed melting of water in crystalline form (WMO, 2022) and it is one of the most important influencing factors in the amount of water reserves, especially in the warm seasons of the year. Snow cover monitoring is one of the special topics in weather and climatology. Snow cover plays a key role in the balance of energy due to its high albedo. According to climatologists and meteorologists who study climate changes in a global perspective, because the physical properties of snow affect daily and even long-term climate changes, snow monitoring is a necessity (Bashir *et al.*, 2010). Spatial studies of snow cover by using satellite data have become one of the most important topics in geomatics research due to their applicability and high accuracy. Considering that the snow cover area in many regions of the world, including mountainous regions, affects water resources and meteorology, accurate spatial analysis and investigation of changes in the area of snow cover is very important. In this regard, use of satellite data and new tools in the spatial analysis of the snow cover area, as an efficient method in geomatics research, has received much attention (Cheng *et al.*, 2019).

Data and Method

In this research, the changes of snow cover during the period of 2001-2021 in western part of Iran have been studied. The studied area includes the provinces of Kurdistan, Kermanshah, Ilam, Hamadan and Lorestan. This region with 466.121 square kilometers located between the latitudes of 31°51'36" to 36°49'45" N and 45°27'18" to 50°04'26" E. Northern part of the Zagros Mountain range located in this region and this region is the place of incoming western systems to the country. To checking snow cover, Modis satellite images and for snow identify NDSI index have been used. The investigations have shown that there is a trend in the snow cover of the region. For this reason, Man – Kendall method used to reveal the trend. For study spatial distribution of data and changes in spatial distribution in terms of spatial components (length, width and height), G* Index was used.

Results and Discussion

For studying snow cover in the west of the country, at first, the snow cover index of the region was extracted as the average of the images for each separate period. Then, the area of snow cover areas was obtained for each period. Examining the area of snow cover for the middle of winter shows a decreasing trend in the data. Therefore, the Man-Kendall method was used for a more detailed investigation of the snow cover trend. Applying this method also confirmed the decreasing trend in the snow cover in the west of the country. This decreasing trend is significant at the 95% confidence level. Furthermore, considering the annual sinusoidal behavior of snow, it can be concluded that the seasonal component dominates the entire region, and the changes in temperature in this region are due to the seasonal variation, given its relative distance from the equator. Spatial analysis results indicate that snow cover distribution follows the northwest-southeast direction of the standard deviation ellipse, where more than 99% of snowfall is concentrated in the high-altitude areas with a specific spatial arrangement. The hot spot map

shows that the surface snow cover of the soil is clustered in the west and southeast directions, and at higher altitudes above 2200 meters. The clustering pattern of snow cover is more towards the high latitudes and towards the western borders. The results of this study can be useful in managing water resources, predicting and planning for droughts, and developing strategies to combat them.

Conclusion

The results of this research show a decreasing trend in the area of snow cover in the winter season. The results of the spatial analysis showed that the direction of the oval is three times the spatial standard deviation from northwest to southeast, more than 99% of the snow distribution, depending on the spatial arrangement of the heights, precipitation is spread in this direction. The map of hot spots showed that the surface snow is clustered in the direction of west and southeast and at altitudes higher than 2200 meters. The analysis of hot spots showed that the snow cover is clustered towards high latitudes and more towards the western borders.

- Key words: Snow cover, MODIS sensor, Moran, Kendall trend.

تحلیل فضایی سطح پوشش برف در غرب ایران با بهره گیری از تصاویر ماهواره ای

عبدالله فرجی^۱ - محمد کمانگر^۲ - سعیده اشرفی^{۳*}

۱- استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده انسانی، دانشگاه زنجان

۲- دکتری آب و هواشناسی، دانشکده انسانی، دانشگاه زنجان

۳- دکتری اقلیم شناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

*s.ashrafi1984@yahoo.com

چکیده

تغییرات پوشش برف می تواند اثرات مهمی بر اکوسیستمها داشته باشد، به ویژه در جاهایی که پراکندگی در پوشش زیاد است و بر شرایط بیوژئوشیمیایی خاک زیرین و همچنین پوشش گیاهی تأثیر می گذارد. در این پژوهش پایش و روند سطوح پوشش برف در بازه زمانی (۲۰۲۰-۲۰۰۱) در غرب ایران برای فصل زمستان با کاربرد تصاویر سنجنده MODIS و شاخص پوشش برف (NDSI) به صورت میانه تصاویر به وسیله الگوریتم نوشته شده در سامانه گوگل ارث اینجین استخراج و نقشه های آن ترسیم شد، سپس سری زمانی تصاویر روزانه استخراج و روند داده ها و الگوسازی آن با کاربرد آزمون تاو کندال و رگرسیون خطی انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان از روند کاهشی در مساحت پوشش برف در فصل زمستان دارد. همچنین با توجه به رفتار سالیانه سینوسی برف می توان بیان کرد که مؤلفه فصلی بودن بر تمام محدوده حاکم است، که به علت دور بودن نسبی محدوده غرب کشور از استوا، تغییرات دمایی با توجه فصلی بودن در این محدوده نمود دارد. نتایج تحلیل فضایی نشان داد که جهت بیضی سه برابر انحراف استاندارد مکانی شمال غربی به جنوب شرقی، بیش از ۹۹ درصد پراکندگی برف به تبعیت از آرایش مکانی ارتفاعات، بارش در این راستا گسترش دارد. نقشه لکه های داغ نشان داد برف سطحی خاک به صورت خوشه ای در راستای غرب و به جنوب شرق و در ارتفاعات بالاتر از ۲۲۰۰ متر قرار دارد. تحلیل لکه های داغ نشان داد پوشش برف به سمت عرض های بالا و بیشتر به طرف مرزهای غربی الگوی خوشه بندی قرار دارد. نتایج این تحقیق می تواند در برنامه ریزی های مربوط به مدیریت منابع آبی، پیش بینی خشکسالی و برنامه ریزی برای مقابله با آن مورد استفاده قرار بگیرد.

کلید واژگان: پوشش برفی، سنجنده MODIS، موران، روند من کندال.

۱- مقدمه

برف یکی از اشکال ریزش به خصوص در نواحی کوهستانی و مناطق با عرض جغرافیایی بالا است که به صورت بلورهای یخی در اشکال میکروسکوپی متفاوت (گرد، مخروطی و یا به فرم های هشت گوشه) دیده می شود (Mir Mousavi and Sabor, 2014). این دانه ها بسیار شکننده بوده و ممکن است در موقع سقوط به یکدیگر برخورد نموده و حجم

زیادی را تشکیل دهند (Zare Abyaneh, 2013). برف به صورت یک روکش یخی یا بلورین از بخار آب است که به صورت پوشش سفید رنگ سطح زمین را پوشانده و به صورت طبیعی در مناطق سرد و کوهستانی به دلیل یخبندان هوا به صورت بلورین شکل می‌گیرد، اما ممکن است به صورت مصنوعی در مناطق گرم و معتدل نیز تولید شود (WMO, 2022). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی برف، شامل چگالی، حجم پوشش، محتوای آب، pH، دانسیته و مواد معدنی، در محیط زیست تأثیراتی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی، آب‌وهوا، گیاهان و جانوران، خاک و منابع طبیعی، ایجاد می‌کنند (Arndt et al., 2017). پوشش برفی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان ذخایر آب، به ویژه فصول گرم سال محسوب می‌شود. پایش پوشش برفی یکی از مباحث ویژه در حیطه هوا و اقلیم‌شناسی است. پوشش برفی با توجه به سپیدایی بالا نقش کلیدی در ترازمندی انرژی تابشی دارد. از نظر اقلیم‌شناسان و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی را مطالعه می‌کنند در یک دید جهانی، به دلیل اینکه خصوصیات فیزیکی برف بر تغییرات روزانه و حتی بلند مدت اقلیمی تأثیر می‌گذارد پایش برف یک ضرورت است (Bashir et al., 2010).

مطالعات فضایی سطح پوشش برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل قابلیت کاربردی و دقت بالای آن‌ها، به یکی از موضوعات مهم در تحقیقات ژئوماتیک تبدیل شده است. با توجه به اینکه سطح پوشش برف در بسیاری از مناطق جهان، از جمله مناطق کوهستانی، منابع آبی و هواشناسی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تحلیل فضایی دقیق و بررسی تغییرات سطح پوشش برف از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این راستا، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ابزارهای جدید در تحلیل فضایی سطح پوشش برف، به عنوان یک روش کارآمد در تحقیقات ژئوماتیک، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Cheng et al., 2019).

Wang et al., (2021) با استفاده از داده‌های MODIS، تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های پامیر از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ را مورد بررسی قرار دادند. در این راستا، روش‌های پردازش تصویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پوشش برف در کوهستان‌های پامیر در طول دوره مورد مطالعه کاهش یافته است و این کاهش بیشتر در بخش‌های شمالی و شمال غربی منطقه رخ داده است. همچنین، نتایج نشان داد که تغییرات پوشش برف در این منطقه با بارش و دما همبستگی دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های پامیر، که یکی از مناطق حساس در قالب تأمین آب است، به عنوان یکی از تأثیرات تغییرات اقلیمی مطرح است.

Ghulam et al., (2021) داده‌های چند منبع ماهواره‌ای از جمله داده‌های MODIS را برای بررسی تغییرات و روند پوشش برف در منطقه هیمالیا مورد استفاده قرار دادند. روش کار در این مقاله شامل پردازش داده‌های ماهواره‌ای و استفاده از تحلیل‌های آماری بوده است. نتایج نشان داد که مساحت پوشش برف در منطقه هیمالیا در حال کاهش است و این کاهش بیشتر در زمستان در مقایسه با بهار و تابستان رخ می‌دهد. همچنین، نتایج حاکی از تأثیر تغییرات دما و بارش بر تغییرات پوشش برف در این منطقه بوده است. این نتایج می‌تواند به عنوان مبنایی برای اتخاذ تصمیمات در زمینه مدیریت منابع آب و تغییرات اقلیمی در منطقه هیمالیا مورد استفاده قرار گیرند.

Zhang et al., (2021) تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های تیان‌شان در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ را با استفاده از داده‌های MODIS بررسی کرده‌اند. برای این منظور روش‌های پردازش تصویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های آماری مورد استفاده بوده است. نتایج نشان دهنده کاهش پوشش برف در کوهستان‌های تیان‌شان به ویژه در بخش‌های جنوبی و شمالی آن در طول دوره مورد مطالعه است. همچنین، تغییرات دما و بارش همبستگی بالایی با تغییرات پوشش برف در این منطقه دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که کاهش پوشش برف در کوهستان‌های تیان‌شان می‌تواند تأثیرات جدی بر

روی تأمین آب و محیط زیست منطقه داشته باشد. به علاوه، این مطالعه نشان می‌دهد که داده‌های MODIS می‌توانند برای بررسی تغییرات پوشش برف در مناطق کوهستانی مفید باشند.

(Liu *et al.*, 2021) با استفاده از داده‌های MODIS، تغییرات پوشش برف در کوهستان‌های کاراکورام در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ را با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از کاهش پوشش برف در کوهستان‌های کاراکورام در طول دوره مورد مطالعه بوده است که این کاهش بیشتر در بخش‌های جنوبی و شرقی منطقه رخ داده است. همچنین، تغییرات پوشش برف در این منطقه با تغییرات دما و بارش همبستگی دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که کاهش پوشش برف در کوهستان‌های کاراکورام می‌تواند تأثیرات جدی بر روی تأمین آب و محیط زیست منطقه داشته باشد. همچنین، داده‌های MODIS می‌توانند برای بررسی تغییرات پوشش برف در مناطق کوهستانی مفید باشند.

با توجه به این تحقیقات، نتایج نشان می‌دهد که پوشش برف در مناطق کوهستانی در حال کاهش است و این کاهش می‌تواند تأثیرات جدی بر روی منابع آب و محیط زیست مناطق کوهستانی داشته باشد. داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند به عنوان یک ابزار مفید برای بررسی تغییرات پوشش برف در مناطق کوهستانی استفاده شوند. به علاوه، بررسی تغییرات پوشش برف در مناطق کوهستانی می‌تواند به درک بهتری از تأثیرات تغییرات اقلیمی بر روی منابع آب و محیط زیست کمک کند. همان طور که استخراج نقشه‌های برف امری مهم است، ارزیابی تغییرات مکانی در طی زمان نیز بسیار مهم می‌باشد. همچنین در مطالعات پیشین کمتر به تحلیل مکانی و تغییرات پراکندگی برف خاک بر اثر عامل‌های تقریباً ثابت در زمان همچون نوع خاک و یا ارتفاع و یا عامل‌های ناپایدار در زمان همچون بارش پرداخته شده است.

بارش برف در ایران به عنوان یکی از منابع اصلی تأمین آب در فصول گرم سال استفاده می‌شود و برای کشاورزی و دامداری بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر این، بارش برف در ایران به عنوان یکی از جذابیت‌های گردشگری نیز شناخته شده است. همچنین، بارش برف در ایران می‌تواند به عنوان یک مهار کننده‌ی طبیعی در برابر خشکسالی و کاهش سطح آب در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها عمل کند. همین امر اهمیت پایش و بررسی تغییرات پوشش برف در ایران و تأثیر آن بر روی منابع آب و محیط زیست را افزون می‌کند. از طرفی برف یکی از مؤلفه‌های مهم کنترل کننده هیدرواقلیم هر ناحیه جغرافیایی (Ghaemi and Nouhi, 1976) و نیز یکی از مهمترین مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی است، که نقش مهم و عمده‌ای را در تغییرات اقلیمی سطح زمین بازی می‌کند. همچنین پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده در حوضه‌های کوهستانی است. آب معادل برف پوشش برفی حدود یک سوم آب مورد نیاز بخش کشاورزی، رطوبت خاک، ذخیره آب زیرزمینی و منابع آب دریاچه‌ها و رودخانه را در سراسر جهان تأمین می‌کند (Goodinson *et al.*, 2000). نواحی غربی ایران به دلیل وسعت مناطق کوهستانی، بیشتر نزولات خود را به صورت برف دریافت می‌کنند و دارای ذخایر برفی در طول سال هستند. از این رو این غرب کشور به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب و تغییرات پوشش برف آن مورد بررسی قرار گرفت.

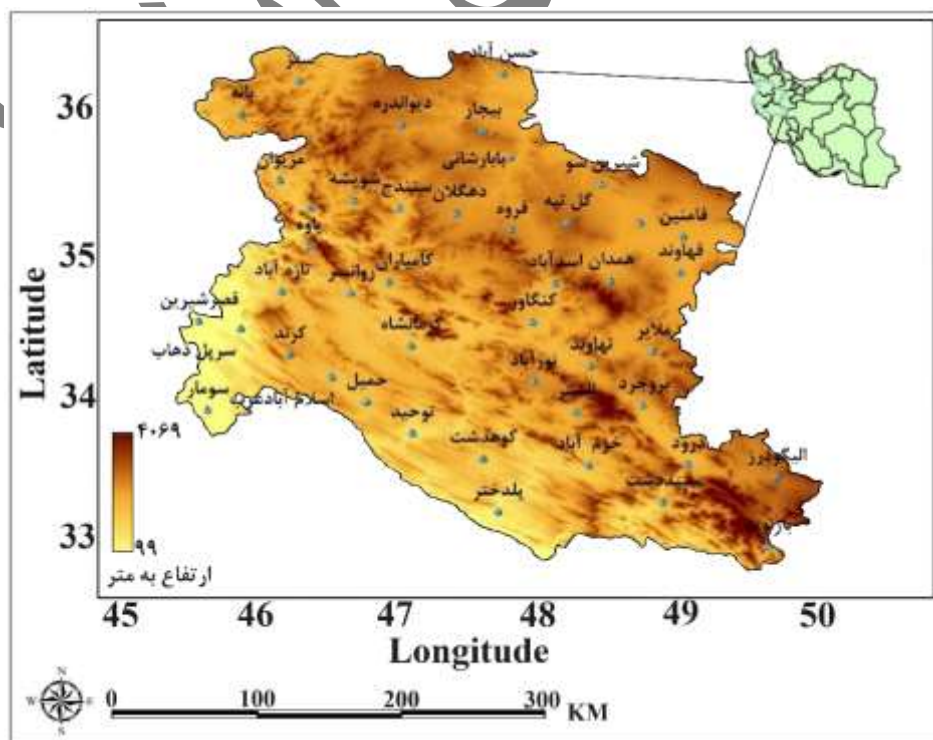
تحلیل فضایی سطح پوشش برف در غرب ایران به دلیل تأثیر قابل توجه آن بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، منابع آبی و حمل و نقل، توجه بیشتری به خود جلب کرده است. در سال‌های اخیر، تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یک ابزار قدرتمند برای پایش و تحلیل تغییرات سطح پوشش برف در این منطقه به کار گرفته شده‌اند (Mir Mousavi and Sabor, 2014). پوشش برفی غرب کشور نیز نقش کلیدی در منابع آبی دارد، لذا مدیریت علمی این ذخایر آبی ضروری است. پوشش برفی با گذشت زمان تغییرات زیادی را نشان می‌دهد. بنابراین پایش زمانی- مکانی سطح پوشش برف و

آب معادل برف، اهمیت بالایی دارد. ایستگاه‌های برف‌سنجی در غرب ایران بسیار محدود است. با استفاده از تصاویر سنجش از دور و تکنیک‌های استخراج پدیده‌ها می‌توان محدوده‌های وسیع و در زمان‌های متناوب را پایش نمود. برف در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک امواج الکترومغناطیس دارای انعکاس شدیدی نسبت به دیگر سطوح از جمله آب، خاک و پوشش گیاهی است. با استفاده از این خاصیت و شگردهای سنجش از دور می‌توان در تصاویر ماهواره‌ای برف را شناسایی کرد و با توجه به پوشش سراسری و تصاویر زمانی تغییرات مکانی - زمانی این پدیده در محدوده وسیع را برآورد کرد. هدف از این تحقیق استخراج، بررسی روند و تحلیل فضایی مساحت پوشش برفی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در غرب کشور در راستای استخراج نقشه‌هایی جهت برنامه‌ریزی‌های محیطی است.

۳- مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد بررسی

محدوده مورد مطالعه شامل استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، همدان و لرستان و با وسعت ۴۶۶/۱۲۱ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ} 51' 36''$ تا $36^{\circ} 49' 45''$ شمالی و طول جغرافیایی $45^{\circ} 27' 18''$ تا $50^{\circ} 04' 26''$ شرقی واقع شده است (شکل ۱). بر اساس پهنه‌بندی آب و هوایی ایران در سیستم کوپن که توسط Ganji صورت گرفته است، بخش اعظم زاگرس در شمال کردستان، همدان، کرمانشاه و لرستان دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای است و در نواحی مرتفع زاگرس نیز آب‌وهوای سرد و خشک مشاهده می‌شود. بخش‌های دیگر منطقه از جمله بخش‌های جنوب غربی کرمانشاه و ایلام دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک است (Abrifam, 2010). بر اساس تقسیم‌بندی Alijani (2012) نیز غرب ایران به‌طور کلی دارای آب‌وهوای کوهستانی و پایکوهی است. وضعیت حرارتی ناحیه در تابستان همگن‌تر از زمستان است. این محدوده در دوره سرد سال، به علت حاکمیت بادهای غربی و نزدیکی به منبع رطوبتی دریای مدیترانه بارندگی زیادی دارد، اما دوره گرم سال نفوذ پرفشار آזור باعث کاهش بارندگی می‌شود (Mojarad and Masoompour, 2013).



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران

Figure 1: Location of the studied area in Iran

محدوده مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر سامانه مرطوب مدیترانه‌ای و اقیانوس اطلس و سامانه‌های سودانی قرار دارد که با عبور این جریان‌ها از روی محدوده و برخورد با ارتفاعات زاگرس مقدار زیادی از رطوبت خود را به صورت باران و برف از دست داده و عامل عمده ریزش‌های جوی کشور را نیز تشکیل می‌دهند. (Alijani (2008 بالاتر بودن ارتفاع در قسمت‌های شمالی زاگرس را عاملی بر بیشینه بودن بارش‌ها در این ناحیه می‌داند.

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای مادیس در بازه سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ بهره گرفته شد. این سنجنده دارای ۳۶ باند طیفی شامل ۱۱ باند در محدوده نور مرئی، هفت باند در محدوده نزدیک به مادون قرمز، دو باند در محدوده مادون قرمز طول موج کوتاه، هشت باند در محدوده مادون قرمز طول موج متوسط و هشت باند در محدوده مادون قرمز طول موج بلند یا حرارتی است. قدرت تفکیک مکانی باندهای یک و دو در این سنجنده برابر با ۲۵۰ متر، باندهای سه تا هفت برابر با ۵۰۰ متر و باندهای حاوی هشت تا ۳۶ برابر با یک کیلومتر است (Rasouli, 2011).

یک شاخص طیفی سنجش از دوری با استفاده از محاسبه ریاضیاتی و آماری بین دو یا چند باند طیفی داده‌های سنجش از دوری بدست می‌آید و به واسطه آن یک پدیده یا عارضه بر روی زمین، بارز و شناسایی می‌شود. با استفاده از شاخص طیفی می‌توان پوشش‌های مختلف مانند برف را به دلیل بازتاب متفاوت در باندهای مختلف از سایر پوشش‌ها متمایز ساخت. یکی از مهمترین شاخص‌های شناسایی برف شاخص NDSI است که با تفاضل بین بازتاب باند مرئی (B4) مادیس) و باند مادون قرمز میانی (B6) مادیس) طبق رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$\text{NDSI} = (B4 - B6) / (B4 + B6) \quad \text{رابطه ۱}$$

در شاخص NDSI به منظور جلوگیری از قرار گرفتن آب در گروه برف، باند ۲ بزرگتر یا مساوی ۰/۱۱ می‌باشد، بدین دلیل با اعمال آستانه $B2 > 0/11$ سطوح برفی از سطوح آبی متمایز می‌گردد. همچنین جهت جلوگیری از قرارگیری اشیاء تیره به عنوان برف باند ۴ بزرگتر یا مساوی ۰/۱ نیز حذف می‌گردد (Ildermi, 2015). با توجه به گستره محدوده مورد مطالعه از گوگل ارث اینجین (GEE) به عنوان یک پلتفرم متن باز استفاده شد. از مزایای GEE وجود کتابخانه گسترده‌ای از مجموعه داده‌های مکانی است که امکان بهره‌گیری گسترده از تصاویر ماهواره‌ای و قدرت محاسباتی را فراهم می‌آورد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای مادیس در بازه سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ به صورت بازه‌های هفت ساله استفاده شده است.

آشکارسازی روند

روند، تغییرات آرام و یکنواخت و درازمدت در میانگین مشاهدات و حالتی کمابیش پایدار از افزایش، کاهش، ثبات یا توأم است. واکاوی روند شامل دو مرحله آشکارسازی و الگوسازی روند است. آشکارسازی روند با استفاده از روش‌های آماری-ترسیمی و یا روش تحلیلی (مانند رگرسیون و مک کندال) انجام می‌شود.

آزمون من-کندال: در این روش ابتدا آماره S و واریانس طبق روابط ۲ و ۳ به دست می‌آید.

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \beta}{18} \quad \text{رابطه ۳}$$

در نهایت آماره آزمون (Z) با کاربرد رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} \\ 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

فرضیه صفر H_0 برای این آزمون اصل برائت است. به این معنا که هیچ روندی در سری وجود ندارد. سه فرضیه خلاف مبنی بر وجود روند منفی، غیر صفر یا مثبت می‌تواند انتخاب شود. در آزمون کندال فصلی مقایسه در عرض مرزهای فصول انجام نمی‌گردد. آماره S کندال برای هر فصل محاسبه و با یکدیگر جمع می‌گردند (رابطه ۵) تا آماره کلی کندال S' (رابطه ۶) حاصل شود (Eslamian et al., 2005).

$$S = \sum_{j=1}^n S_j \quad \text{رابطه ۵}$$

$$S' = \sum_{j=1}^n S_j \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\tau = \frac{2S}{N(N-1)}$$

که N تعداد ماه‌ها یا فصل و S_j آماره من کندال برابر ماه j ام است. در صورت عدم همبستگی متوالی در داده‌ها، واریانس از رابطه ۷ به دست آمده و اگر در داده‌های سری زمانی همبستگی متوالی وجود داشته باشد از رابطه ۸ واریانس S' قابل محاسبه است.

$$\sigma_{S_j}^2 = \sum_{j=1}^p \text{var}(S_j) \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\sigma_{S'}^2 = \sum_{j=1}^p \text{var}(S_j) + \sum_{g=1}^{p-1} \sum_{h=g+1}^p \sigma_{gh} \quad \text{رابطه ۸}$$

σ_{gh} کواریانس بین آماره کندال در فصل g و فصل h را نشان می‌دهد. با فرض استقلال داده‌ها می‌توان فرض کرد که $\text{cov}(S_g, S_h)$ در این صورت مقدار آماره Z' از رابطه ۹ به دست می‌آید.

$$Z' = \begin{cases} \frac{S'-1}{\sigma_{S'}}, S' > 0 \\ 0, S' = 0 \\ \frac{(S'+1)}{\sigma_{S'}}, S' < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۹}$$

مقدار τ کلی نیز از میانگین وزنی τ_j برای فصل p از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود (Helsel and Hirsch, 2002).

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^p n_j \tau_j}{\sum_{j=1}^p n_j} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

روش‌های برآورد ضرایب رگرسیون خطی در برآورد روند شامل سه گروه عمده پارامتری (کمترین قدر مطلق انحراف، کمترین مربعات باقی‌مانده)، ناپارامتری و روش توزیع احتمال (بیزی) است. در روش کمترین مربعات باقی‌مانده اندیشه اصلی برآورد خط رگرسیون برازش خط مستقیم از میان سری زمانی است. به طوری که مجموع مربع مانده‌ها کمینه شود. برآورد کمترین مربعات ضرایب رگرسیون با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲ محاسبه می‌گردد (Asakereh, 2012).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})(Z_i - \bar{Z})}{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$a = \bar{Z} - b\bar{T} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

در اینجا \bar{T} و \bar{Z} به ترتیب، میانگین زمان و متغیر اقلیمی است. معنادار بودن b را می‌توان بر اساس فرض صفر ($H_0: \beta = 0$) با کاربرد رابطه ۱۳ آزمون کرد.

$$t = \frac{\sum_{T=1}^n (Z_T - a - b)^2}{\text{SE}(b)} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

در اینجا $SE(b)$ انحراف استاندارد b است که به صورت رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود:

$$SE(b) = \sqrt{\frac{\sum_{T=1}^n (Z_T - a - b)^2}{(n-2) \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

فرآیند تحلیل فضایی و صیقل چگونگی و استدلال چرایی پراکندگی‌ها را شامل می‌شود (Alijani, 2015). نتیجه این فرآیند تولید دانش علمی مستند و نهایتاً تبیین پراکندگی است (Harvey, 1996). اندازه‌گیری‌های توزیع مکانی داده‌ها این امکان را به ما می‌دهد تا تغییرات توزیع فضایی در راستای مولفه‌های مکان یعنی طول، عرض و ارتفاع را بررسی و مقایسه کنیم. با استفاده از آماره جی طبق رابطه ۱۵ می‌توان وجود یا عدم وجود خوشه‌بندی زیاد و کم پوشش برفی را بررسی کرد.

$$G = \sqrt{\frac{\sum_{T=1}^n (Z_T - a - b)^2}{(n-2) \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

یکی دیگر از توابع بررسی توزیع بررسی الگوی فضایی پدیده‌ها تابع کاربیلی^۱ است که نشان دهنده وضعیت خوشه بندی پدیده‌ها در فواصل مختلف جغرافیایی است که با استفاده از رابطه ۱۶ بدست می‌آید. در این رابطه d فاصله، n برابر با تعداد کل پیکسل‌های برفی موجود، A مساحت و $k(i, j)$ وزن است.

$$L(d) = \sqrt{\frac{A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n k(i, j)}{\pi n(n-1)}} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

برای بررسی الگو توزیع خودهمبستگی فضایی پوشش برفی از تحلیل خوشه و ناخوشه که به شاخص انسلین محلی موران معروف است، استفاده شده است که یکی از شاخص‌های پرکاربرد جهت شناسایی خود همبستگی فضایی مشاهدات و الگوی فضایی آن‌ها می‌باشد. آماره محلی موران I به صورت زیر به دست می‌آید (Asgari, 2011):

$$I = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j} (x_j - \bar{X}) \quad \text{رابطه ۱۷}$$

که در آن x_i خصیصه عارضه i و \bar{X} میانگین خصیصه مربوط و $W_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد و:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j}}{n-1} - \bar{X}^2 \quad \text{رابطه ۱۸}$$

که در آن n برابر با تعداد کل عارضه هاست. امتیاز استاندارد $Z I_i$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z I_i = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad \text{رابطه ۱۹}$$

در اینجا خواهیم داشت:

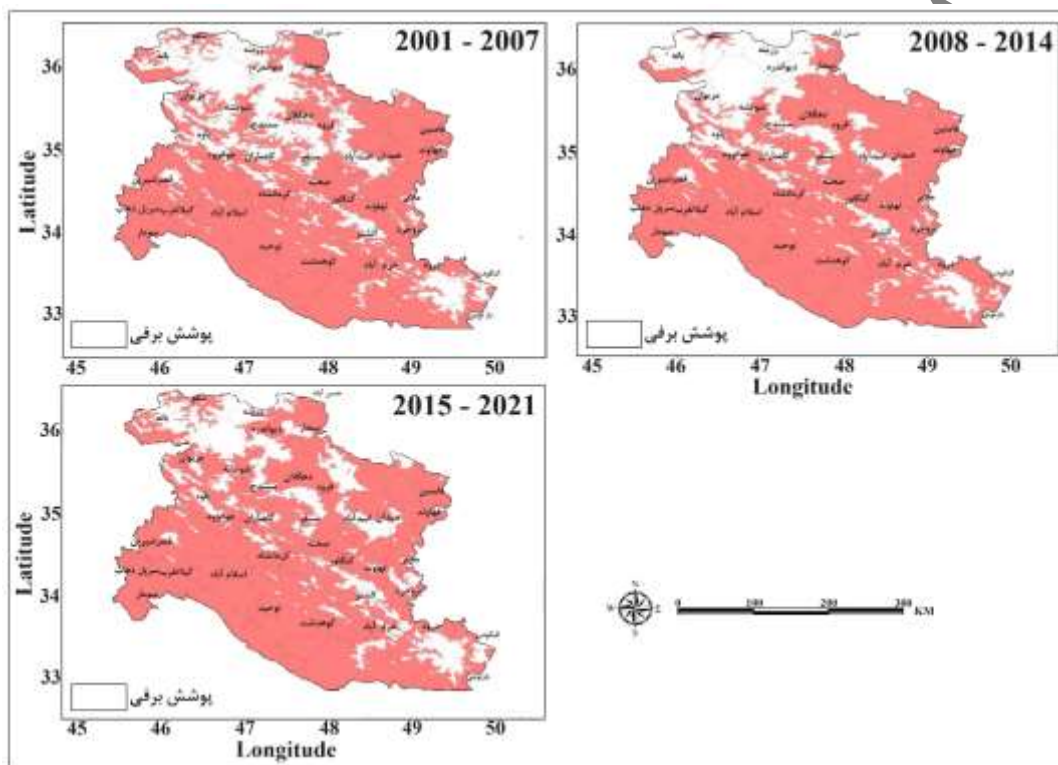
$$E[I] = -\frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j}}{n-1} \quad V[I] = E[I_1^2] - E[I_1]^2 \quad \text{رابطه ۲۰}$$

۴- یافته‌ها

در گام اول، به منظور سهولت کار، دوره مورد مطالعه به ۳ دوره ۷ ساله (۲۰۲۱ - ۲۰۱۵، ۲۰۱۴ - ۲۰۰۸، ۲۰۰۷ - ۲۰۰۱) تقسیم و سپس برای هر دوره جداگانه شاخص پوشش برف محدوده مورد مطالعه به صورت میانه تصاویر استخراج شد (شکل ۲)، سپس مساحت برفی در هر بازه زمانی طبق جدول ۱ به دست آمد. یادآور می‌شود نقشه‌های پوشش برف

1. Ripley's K-function

حاصله به صورت صفر و ۱ تهیه شده اند، بدین معنی که هر نقشه شامل دو عرصه پوشیده از برف (دارای کد ۱) و فاقد برف (دارای کد ۰) می باشد. همان طور که در شکل ۲ دیده می شود در دوره اول (۲۰۰۱ - ۲۰۰۷) بخش وسیعی از قسمت های شمالی و جنوب شرقی منطقه دارای پوشش برفی بوده است. جهت شمال غربی - جنوب شرقی محدوده پوشش برفی نشان دهنده ی نقش ارتفاعات زاگرس در بارش برف است. در دوره های دوم (۲۰۰۸ - ۲۰۱۴) و سوم (۲۰۱۵ - ۲۰۲۱) نیز جهت شمال غربی - جنوب شرقی در پوشش برفی دیده می شود. با این تفاوت که در دوره های ذکر شده پوشش برفی در منطقه کاهش داشته است. به طوری که در دوره سوم به کمترین مقدار خود رسیده است. با این حال همین پوشش اندک برفی نیز با جهت شمال غربی - جنوب شرقی و در نقاط مرتفع زاگرس توزیع شده است. جدول ۱ درصد مساحت منطقه پوشش برفی را نشان می دهد.



شکل ۲. نقشه پوشش برف میانہ زمستانہ غرب کشور در بازہ زمانی مورد مطالعہ

Figure 2: Mid-winter snow cover map of western country in the studied period

جدول ۱ مساحت پوشش برفی منطقه مورد مطالعه را در بازه های زمانی مورد بررسی نشان می دهد. همان طور که آشکار است، از ابتدا تا انتهای دوره مورد مطالعه، پوشش برفی منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است. این کاهش در سال های انتهایی بسیار قابل توجه بوده است. به طوری که در دوره انتهایی مساحت نواحی پوشیده از برف به کمتر از ۱۰ درصد مساحت منطقه تنزل پیدا کرده است.

جدول ۱: درصد مساحت پوشش برفی ناحیه مورد مطالعه در بازه زمانی مورد مطالعه

Table 1: The percentage of the area covered by snow in the study area in the study period

| بازہ زمانی | ۲۰۰۱ - ۲۰۰۷ | ۲۰۰۸ - ۲۰۱۴ | ۲۰۱۵ - ۲۰۲۱ |
|--------------|-------------|-------------|-------------|
| مساحت (درصد) | ۳۹/۷۶ | ۱۹/۴۳ | ۶/۶۲ |

توجه به نقشه های پوشش برفی و نیز بررسی جدول مساحت پوشش منطقه برفی گویای وجود روند در میزان پوشش برفی در منطقه غرب کشور می باشد. به همین علت تصاویر روزانه به صورت سری زمانی استخراج و بررسی روند و

الگوسازی روند بر روی آنها صورت گرفت. جدول ۲ نتایج حاصل از بررسی روند بر اساس روش من کندال را نشان می دهد.

جدول ۲: آماره های من کندال فصلی تغییرات مساحت سطح پوشش برف
Table 2: Man Kendall results of seasonal changes in snow cover area

| P_Value | شاخص فصلی (S') | آماره تاو کندال | متغیر |
|---------|----------------|-----------------|-----------|
| ۰/۰۴۰۳ | ۹۵۲۵ | ۹۸۳۵۲۳۸۷۷ | مساحت برف |

با توجه به حد بحرانی آماره تاو کندال و P_Value کوچکتر از ۰/۰۵ فرض صفر رد شده و وجود روند در مساحت برف پذیرفته می شود. در ادامه با الگوسازی رگرسیون خطی بر داده ها میزان شیب، عرض از مبدأ و معناداری ضرایب در سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه گردید. معادله خط و مقادیر پی و لیو در زیر معادله دیده می شود.

$$t = 0.073 - 3960 = \text{مساحت پوشش برفی غرب}$$

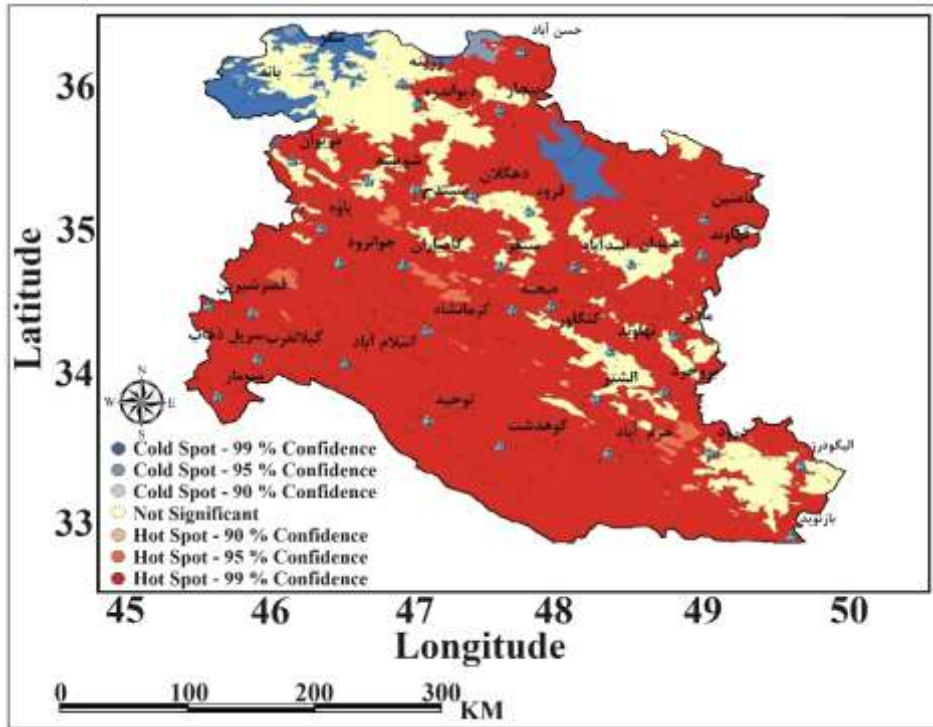
$$Pvalue = (0.000)(0.002)$$

برای درک الگوی خوشه های و یا پراکنده بودن برف خاک، آماره موران خودهمبستگی مکانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل ۴ و جدول ۳ گنجانده شده است. در این شکل نحوه پراکنش تجمع رویدادها از حالت پراکنده تا خوشه های و سطح معنی داری با آماره p-value و مقادیر بحرانی (آماره Z) آورده شده است. به منظور شناخت مکانی فراوانی نقاط داغ و نقاط سرد آماره جی گیتس محاسبه شد که در شکل ۳ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۳ دیده می شود، خوشه های داغ در اطراف قروه و بانه نمود بیشتری پیدا کرده اند. بعد از بررسی خوشه بندی داغ و سرد پراکندگی پوشش برفی جهت بررسی وضعیت خوشه بندی در فواصل مختلف نتایج تابع کاریلی (شکل ۳) نیز محاسبه شد. در این شکل محور افقی فاصله به متر، خط مورب پررنگ آبی رنگ الگوی توزیع تصادفی و خط قرمز رنگ نتایج مشاهده را نشان می دهد.

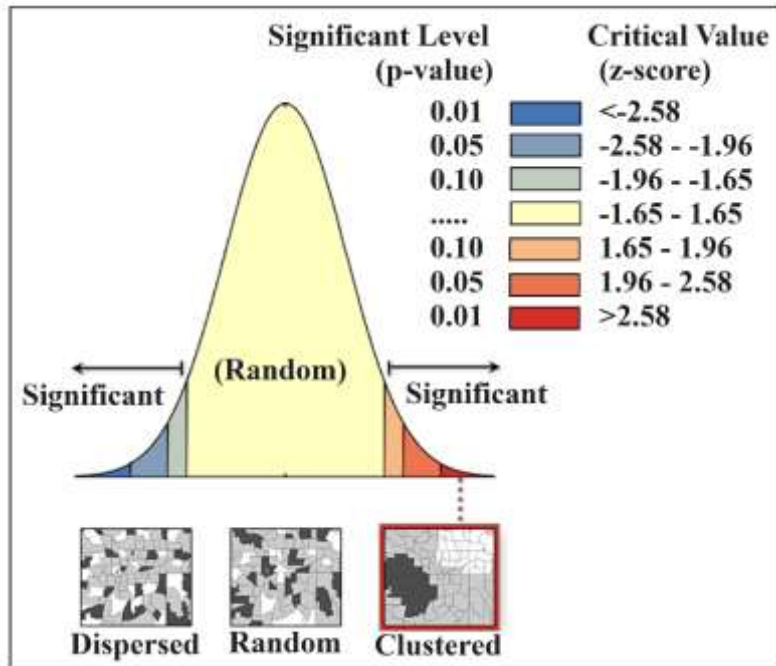
جدول ۳. خلاصه آماره کلی موران محاسبه شده

Table 3: Summary of the calculated overall Moran's statistic

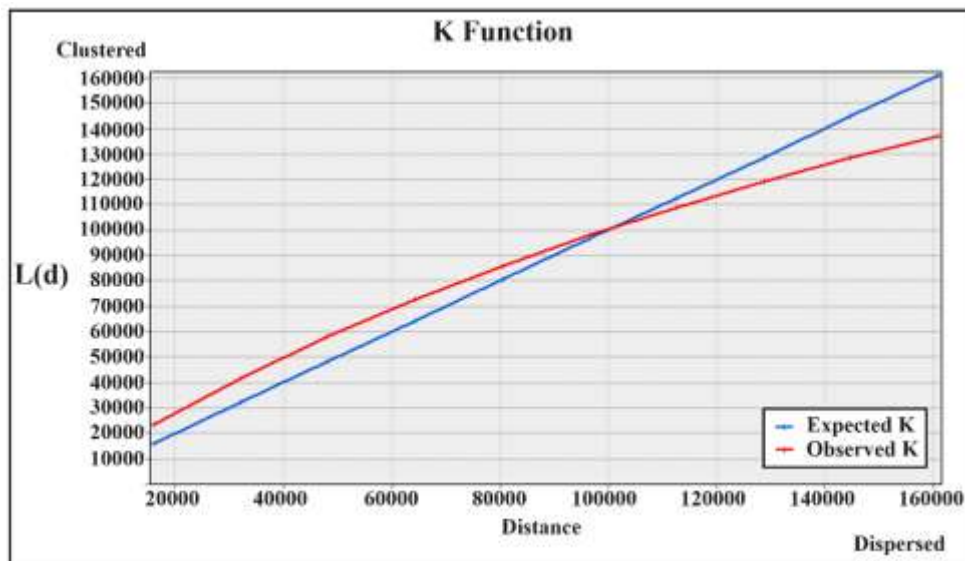
| P-value | Z-score | واریانس | شاخص مورد انتظار | شاخص موران |
|---------|---------|---------|------------------|------------|
| ۰/۰۰۰۰ | ۱۰/۸۷ | ۰/۰۰۰۳ | -۰/۰۰۲۱ | ۰/۱۹۵۳ |



شکل ۳. نتایج آماره جی گیتس
 Figure 3: The results of G Gates Index



شکل ۴. نتایج تابع موران
 Figure 4: Moran's function results



شکل ۵. نتایج گرافیکی تحلیل تابع کارپولی
Figure 5: Graphical results of Caripoli function analysis

در شکل ۵ هرچه منحنی نتایج مشاهده شده بالاتر از نتایج مورد انتظار (تصادفی) باشد به معنای آن است که مشاهدات در آن فاصله خوشه‌بندی شده‌اند. برعکس هرچه منحنی نتایج مشاهده شده به رنگ قرمز پایین‌تر از منحنی نتایج مورد انتظار باشد، در آن صورت پوشش برفی در آن فاصله از هم پراکنده‌تر هستند. با توجه به شکل ۳ در غرب ایران پیکسل‌هایی که به عنوان پوشش برفی شناسایی شده‌اند تا فاصله ۱۰۰ کیلومتری خوشه‌بندی شده‌اند که به لحاظ آماری نیز معنادار است. از زمان ظهور تحقیقات مدرن بر پایه داده‌های ماهواره‌ای، پوشش برفی توجه جامعه علمی را به خود جلب کرده است. در کنار استخراج این پدیده، پایش تغییرات زمانی جهت اقدامات مدیریتی نیز ضروری است و می‌تواند یکی از بررسی‌های مهم جهت برنامه‌ریزی‌های محیطی باشد. در حال حاضر اکثر تحقیقات برآورد پوشش خاک با استفاده از سنجش از دور بر روی استخراج شاخصی که بیشترین همبستگی را با داده‌های زمینی داشته باشد و یا استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک‌های مکانی و باندی متفاوت تمرکز شده است. در این پژوهش پوشش برفی و روند آن با استفاده از ابزارهای سنجش از دور مورد توجه قرار گرفته است. در گام اول، شاخص پوشش برف در سه بازه زمانی به صورت میانه برای فصل زمستان برآورد گردید و مساحت برفی در هر دوره محاسبه شد، در گام بعدی با توجه به تغییرات مساحت پوشش برفی تصاویر روزانه به صورت سری زمانی استخراج شد و روند مکانی-زمانی آن با روش‌های کمی مورد واکاوی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان از پذیرش روند کاهشی در مساحت پوشش برف در فصل زمستان در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین با توجه به رفتار سالیانه سینوسی برف در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌توان بیان کرد که مؤلفه فصلی بودن بر تمام محدوده حاکم است، که به علت دور بودن نسبی محدوده غرب کشور از استوا، تغییرات دمایی با توجه فصلی بودن در این محدوده نمود پیدا می‌کند. هم‌سو با پژوهش حاضر در ایران مطالعات بسیاری با موضوع پایش تغییرات مکانی-زمانی پوشش برف مورد بررسی قرار گرفته است. (Azizi et al., 2017) تغییرات زمانی-مکانی پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی؛ (Masoudian et al., 2017) در پایش تغییرات روزهای همراه با پوشش برف در گروه‌های ارتفاعی حوضه زاینده‌رود؛ (Mir Mousavi and Sabor 2014) در پایش تغییرات پوشش برف در شمال غرب ایران؛ (Khosravi et al., 2017) در بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری؛ Salahi

(2018), *et al.* در حوضه آبخیز بالیقلوچای: (Fatahi and Moghimi (2019) در شمال غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ابزارهای سنجش از دور بر روندهای کاهشی پوشش برفی در مکان‌های مختلف در طول زمان تاکید دارند. با توجه به مباحث گرمایش جهانی و تغییر اقلیم و کاهش منابع آبی واکاوی ذخایر برفی و روند مکانی- زمانی آن می‌تواند در تامین منابع آبی سطحی و مدیریت آن و پایش فضایی آن بسیار با اهمیت باشد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و شاخص پوشش برف، پایش و روند سطوح پوشش برف در غرب ایران در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ بررسی شد. نتایج نشان داد که مساحت پوشش برف در فصل زمستان در این منطقه در حال کاهش است و رفتار سینوسی برف نیز در این منطقه مشاهده شد. تحلیل فضایی نشان داد که پراکندگی برف به تبعیت از آرایش مکانی ارتفاعات و بارش در این راستا گسترش دارد. همچنین، پوشش برف به سمت عرض-های بالا و به طرف مرزهای غربی خوشه‌بندی شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند در پایش و برنامه‌ریزی‌های محیطی برای درک تغییرات محدوده‌ی پوشش برفی مفید باشد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از روش سنجش‌ازدور و داده‌های ماهواره‌ای در سامانه ابری گوگل ارث اینجین و تحلیل‌های مکانی تهیه‌ی نقشه‌های پوشش برف در مناطقی که دارای وسعت زیاد هستند صرفه‌جویی‌های مالی و زمانی زیادی دارد و در مناطقی که نمونه‌گیری در آن انجام نشده و یا با مسائلی همراه است می‌تواند بسیار کارا باشد. کاربران و اعضای ثبت‌نام‌شده پلت فرم گوگل ارث اینجین می‌توانند جهت تهیه نقشه‌های پوشش برف از این لینک^۲ استفاده نمایند. پوشش برف در فصل زمستان می‌تواند بر تأخیر در کشت و برداشت محصولات کشاورزی تأثیر بگذارد و همچنین بر شرایط بیوژئوشیمیایی خاک و رشد گیاهان تأثیر داشته باشد. با مطالعه تغییرات پوشش برف در مناطق کشاورزی و برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت منابع آبی و کشت محصولات کشاورزی در شرایطی که پوشش برف کم است، می‌توان به کاهش اثرات منفی تغییرات آب و هوایی بر کشت و برداشت محصولات کمک کرد. همچنین از نتایج این تحقیق می‌توان در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و محیط زیستی بهره برد.

۶- منابع

- 1) Abrifam, M. Synoptic analysis of air masses entering western Iran in 1983-84. M.Sc., Razi University of Kermanshah 2010. (In Persian)
- 2) Alijani B (2008) Effect of the Zagros Mountains on the spatial distribution of precipitation. *J Mt Sci* 5:218–231. [https:// DOI 10.1007/s11629-008-0126-8](https://doi.org/10.1007/s11629-008-0126-8)
- 3) Alijani, B. (2012). Synoptic climatology. Tehran: Samt Publications. (In Persian)
- 4) Alijani, b. spatial analysis. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 2015; 2 (3): 1-14. (In Persian)
- 5) Arndt, A., Azzoni, R. S., & Stötter, J. (2017). Physical and chemical properties of snow and their impact on the environment: A state-of-the-art review. *Snow Engineering and Avalanche Science*, 1(1), 1-24. doi: 10.1553/scc1s1s1
- 6) Asakereh, H. (2012). Analysis of Heavy Precipitation Trends in Zanjan City. *Geography and Planning*, 16(39), 73-88.

2. <https://code.earthengine.google.com/d43e5a92ae1deed32a0929f57b572756>

- 7) Asgari, Ali (2011), Spatial statistics analysis, Tehran Municipality ICT Organization, First Edition.
- 8) Azizi, q. Rahimi, M. Mohammadi, H. khoshakhlach, f. Temporal-spatial changes of snow cover on the southern slopes of Central Alborz, Natural Geography Research, 2017; 49 (3): 393-381. (In Persian)
- 9) Bashir F, Ghulam R, Estimation of Average Snow Cover over Northern Pakistan, Pakistan Journal of Meteorology,2010; 7(13): 63-69.
- 10) Cheng, J., Ma, M., Li, X., Zhang, H., & Wang, Q. (2019). Spatial analysis of snow cover using satellite data and new geospatial tools in geomatics research. Remote Sensing of Environment, 221, 466-482. doi: 10.1016/j.rse.2018.11.029
- 11) Eslamian, S S., Soltani, S V., Zarei., A. (2005). Application of statistical methods in water resources. Arkan Press. Esfahan. (In persian)
- 12) Fatahi, A. Moghimi, Sh. The effect of climate change on snow trend in northwestern Iran, Applied Research in Geographical Sciences, 2019: No. 54, 63-47. (In Persian)
- 13) Ganji, M. Climatic divisions of Iran. Bulletin of the National Center for Climatology, 2003: 3 (1), 41. (In Persian)
- 14) Ghaemi, e. Nouhi, A. Statistical Analysis of Snowfall, First Edition. Tehran Meteorological Organization Research Office Publications. 1976. (In Persian)
- 15) Ghulam, A., Zaman, Q. U., Ahmad, S., & Babel, M. S. (2021). Assessment of snow cover variability and trends in the Hindu Kush Himalaya using multi-source satellite data. Science of the Total Environment, 753, 142041. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142041.
- 16) Goodinson B.E, Rango A, Walker A.E. Snow and Ice, Remote Sensing in Hydrology and Water Management, Springer Pub, Berlin, 2000; 539- 540.
- 17) Harvey, D. (1996). Explanation in Geography. London: Arnold
- 18) Ildermi, A. Habibnejad Roshan, M. Safari Shad, M. Dafal Oglu, A. Using Modis images to prepare snow cover map (NDSI index and using MODIS case images of Bahar watershed), Ahar geographical space. 2015; 15 (50): 125-140. (In Persian)
- 19) Khosravi, M. Tavosi, T. Raispur, K. Omidi Qaleh Mohammadi, M. Investigation of changes in snow cover levels in Bakhtiari Zardkooh heights using remote sensing, hydrogeomorphology, 2017; Issue: 12, 44-25. (In Persian)
- 20) Liu, Y., Lei, Y., Zhang, J., Li, X., Huang, X., & Wang, X. (2021). Spatiotemporal variations of snow cover in the Karakoram Mountains based on MODIS data from 2000 to 2019. International Journal of Digital Earth, 14(3), 313-328. doi: 10.1080/17538947.2020.1869246.
- 21) Masoudian, S. A. Kaykhosravi Kiani, M. S. Evaluation of changes in days with snow cover in the altitude groups of Zayandehrud basin, natural environment hazards, 2017; No. 11, 46-33. (In Persian)
- 22) Mir Mousavi, S.H. Sabor, I. Monitoring snow cover changes using MODIS sensor images in northwestern Iran, Geography and Development, 2014; No. 35, 200-181. (In Persian)
- 23) Mojarad, f. Masoompour, J. Estimation of maximum probable precipitation by synoptic method in Kermanshah province. Geographical studies of arid regions, 2013; 3 (1), 1-14. (In Persian)
- 24) Rasouli, A A (2011). [An Introduction to Satelite Meteorology and Climatology. Tabriz University Press, first edition. \(In Persian\)](#)
- 25) Salahi, b. nakhostin rohi, m. Spatial and temporal monitoring of snow cover with NOAA-AVHRR images in the period 2006-2007 (Case study of Balighlouchai watershed), Iran Water Research, 2018; No. 3, 97-89. (In Persian)

- 26) Wang, X., Zhang, Y., Li, W., Zhang, J., Huang, G., & Li, L. (2021). Spatiotemporal analysis of snow cover in the Pamir Mountains using MODIS data from 2000 to 2019. *Ecological Indicators*, 121, 107103. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107103.
- 27) Zare Abyaneh, H. (2013). Estimation of Spatial Distribution of Snow Water Equivalent and Snow Density of the West Azarbaijan Province's Basins. *Water Resources Engineering*, 5(15), 1-11. (In Persian)
- 28) Zhang, Y., Li, W., Wang, X., Yang, X., & Huang, G. (2021). Spatiotemporal variability of snow cover in the Central Tianshan Mountains based on MODIS snow products from 2000 to 2018. *Journal of Arid Land*, 13(2), 156-168. doi: 10.1007/s40333-021-0062-8.

مجله علمی پژوهشی
آب و خاک