واکاوی همدیدی بارش برف سنگین اردبیل و ارزیابی روند تغییرات فراوانی روزهای برفی با روش‌های ناپارامتری

بهروز سبحانی [1*] ، قدیر دل‌آرا[2]

۱*- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشجوی دکترای گروه جغرافیای طبیعی، دانشگده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

* ایمیل نویسنده مسئول: sobhaniardabil@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

چکیده

همه ساله رخداد ناگهانی بارش برف سنگین پیامدهای ناگواری را به همراه دارد و زندگی بشری را تحت شعاع خود قرار می‌دهد بنابراین در این مقاله هدف بر این بوده تا این پدیده را از نظر آماری و سینوپتیکی مورد بررسی قرار داده و برای مقابله با حوادث ناشی از آن آماده شد. در این تحقیق ابتدا جهت بررسی روند تغییرات روزهای برفی در استان اردبیل از روش ناپارامتریک من-کندال و سنس استیمیتور بهره برده شد و نتایج حاکی از آن بود که پارامتر مورد مطالعه برای ایستگاه سینوپتیک اردبیل روند منفی، نزولی و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ داشته است. در جهت بررسی سینوپتیکی این پدیده یکی از سنگین‌ترین برف‌هایی که اخیرا رخ داده بود مورد مطالعه قرار گرفت. با تهیه داده‌های ثبت شده در ایستگاه سینوپتیکی اردبیل برای روز ۲۶ دی‌ماه سال ۱۴۰۰ مشخص شد مقدار ۲۵ تا ۴۲ سانتی‌متر بارش برف به وقوع پیوسته است. برای ترسیم نقشه‌های فشار تراز سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی، وزش رطوبتی و رودباد و دمای تراز سطح زمین به همراه ضخامت جو از داده‌های دوباره تحلیل شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP/NCAR) استفاده شد. نتایج سینوپتیکی نشان داد تسلط سامانه پرفشار اروپای مرکزی بر شمال غرب ایران موجب شده حرکات برونگرد آن بادهای سرد شمالی را که حامل رطوبت دریای سیاه و مدیترانه بوده‌اند با سرعتی بیش از سرعت رودباد به سمت منطقه مورد مطالعه هدایت کند و علاوه بر آن وجود ناوه در شمال غرب ایران کمک شایانی به انتقال جریانات سرد شمالی به سمت عرض‌های پایین و بخصوص منطقه مورد مطالعه نموده است همزمان با این شرایط استقرار توده هوای سرد بر جو منطقه مورد مطالعه دمای هوا را کاهش داده و جوی باروتروپیک ایجاد نموده است.

کلمات کلیدی

"تحلیل همدید"، " آزمون من-کندال"، " آزمون سنس استیمیتور"، "اردبیل".

مقدمه

برف به عنوان یک عنصراقلیمی با توجه به فصل بارش، جامد بودن آن، گستره‌ای زیر پوشش و پیامدهایی که با خود می آورد، در خور مطالعه و توجه پژوهشگران و کاربران محیط است .ریزش‌های جوی به صورت برف در ایجاد جریان‌های سطحی و تغذیه سفره‌های زیرزمینی نقش عمده و اساسی بر عهده داشته و از لحاظ ریز اقلیم نیز به دلیل هدایت گرمایی ضعیفی که دارد، محافظ خوبی برای زمین پوشش گیاهی خود در مقابل سرما به شمار می‌رود (کاویانی، ۱۳۸۰). در سرزمین عموما خشک و نیمه‌خشک ایران، بارش‌های برف و روزهای برفی دارای ارزش زیادی است که در این میان مقدار بارش برف، شمار روزهای رخداد، نسبت آن با روزهای بارش، در طول دوره نزول و پیامدهای سودمند و زیانبار آن، هر یک می‌توانند موضوع پژوهش‌های جداگانه‌ای باشند در حالی که شمار میانگین روزهای بارشی در گستره ایران زمین از کم‌تر از ۱۰ تا حدود ۱۱۵ روز ذکر می‌شود، بیشینه سالانه روزهای برفی به طور میانگین در منطقه شمال غرب و درحدود ۲۵ روز در سال است (علیجانی، ۱۳۸۶). از طرف دیگر اثرات ناشی از بارش سنگین برف و سقوط بهمن و تخریب مساکن روستایی و ایجاد اختلال در حمل و نقل جاده‌ای و ارتباطات و فعالیت‌های روزمره و پیامدهای متعدد دیگری که بر محیط طبیعی و انسانی وارد می‌سازد، توجه برخی از محققان را به خود جلب کرده که تعدادی از این تحقیقات در زمینه تغییرات زمانی بارش برف در دهه‌های اخیر بوده است. بعبارتی دیگر پدیده بارش برف با توجه به ابعاد مختلفی که در زندگی انسان دارد از زوایای گوناگون مورد تحلیل و بررسی قرارگرفته است. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر در محافل علمی جهان موضوع تغییر اقلیم بیشتر مورد بحث قرارگرفته است یکی از مباحث مربوط به این موضوع، تغییر نوع بارش‌ها و کاهش بارش برف در بسیاری از مناطق برف‌گیر جهان به ویژه عرض‌های متوسط است (شادپور وهمکاران، ۱۳۹۷). تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با بارش‌های سنگین برف در خارج و داخل کشور انجام گرفته است که در زیر به مواردی از آن‌ها پرداخته شده است. هانتینگتون (۲۰۰۱)، وجود روند افزایشی در میزان آب معادل برف ماه‌های نوامبر، مارس و به ویژه دسامبر و وجود روند کاهشی معنی‌دار در همین شاخص را برای ماه‌های ژانویه و فوریه در نیوانگلند مشخص نمود. پتکوا (۲۰۰۴)، روند کاهشی ارتفاع برف باریده در شمال حوضه دانوب در کشور بلغارستان را

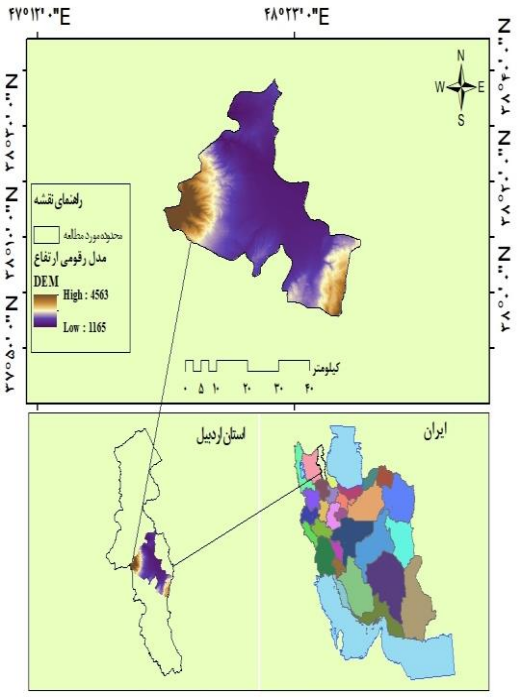
همراه با افزایش قابل توجه دمای هوای ماه‌های زمستانی (دسامبر تا فوریه) برای دوره زمانی۱۹۳۱ تا ۲۰۰۵ را اثبات نمودند. بوراکواسکی (۲۰۰۸)، علاوه بر مشخص نمودن وجود روند افزایشی در دمای میانگین، بیشینه و کمینه در ماه‌های زمستانی در شمال شرق آمریکا، کاهش در تعداد روزهای برفی در طول دوره مطالعه در شمال شرق آمریکا را مشخص نمودند. مسترانجلو (۲۰۱۱)، بیان شد که جت تراز پائین در الگوی بزرگ مقیاس، با ابقای محیط ناپایدار همرفتی سبب فرارفت توده هواهای مرطوب در ترازهای خیلی پایین می‌شود. همچنین کوهساری سازوکار صعود را در توسعه همرفت فراهم می‌کند. در مطالعه ترابرد بخار آب و نقش آن در تامین رطوبت رویدادهای گسترده بارش برف در شمال–شرق چین، روشن شد که انتقال بخارآب با جهت جنوبی از دریاهای مجاور و دریای ژاپن روی شرق چین، نقش مهمی در تامین بخارآب رویدادهای برف دارد. موران تجدا و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی نقش تغییر دما و بارش بر روی تنوع پوشش برف به عنوان تابعی ز ارتفاع در سوئیس پرداختند. نتایج نشان داد بین ارتفاع با عمق و ماندگاری برف رابطه مستقیم وجود دارد اما در مورد دما این رابطه برعکس می‌باشد. بعلاوه با گرم شدن آب و هوا، ارتفاع برفمرز افزایش یافته که نشان دهنده نقش دما به عنوان محدودیت اصلی در جمع شدن برف است. پرز و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیق خود کاهش سطح پوشش برف در حوضه آبریز رودخانه آیسن در پاتاگونیا، شیلی را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد پوشش برف این منطقه به طور متوسط ۲۰ کیلومتر در هر سال کاهش می‌یابد که با افزایش دما (گرم شدن کره زمین) و کاهش بارش در طول تابستان مرتبط است. ژانگ و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی تغییرات پوشش برف فالت تبت با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و VIIRS پرداختند، مقایسه آن با داده‌های زمینی نشان داد که مودیس در این منطقه با دقت بیشتری پوشش برف را محاسبه می‌کند. آلونسوگونزالز و همکاران (۲۰۲۰)، حساسیت پوشش برفی به دما، بارندگی و تنوع تابش خورشید بر روی یک شیب ارتفاعی در کوه‌های ایبری را مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد که گرم شدن آب و هوا بر میزان و مدت زمان ذوب برف در همه نوارهای ارتفاعی اثر منفی داشته است که نشان می‌دهد فصول ذوب با شدت کم‌تر اما طولانی‌تر در این مناطق وجود دارد. امینی‌نیا و همکاران (۱۳۸۹)، به تحلیل و بررسی تغییرات بارش برف سنگین در منطقه شمال غرب کشور پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که بارش برف سنگین در همه ایستگاه‌ها و در طول دوره آماری مشترک دارای نوسانات زیاد و روند کاهشی بوده است. استفاده از آزمون رتبه‌ای من کندال در مورد ایستگاه‌های دارای آمار طولانی مدت، وجود روند نزولی در دریافت بارش برف سنگین را برای ایستگاه‌های تبریز و ارومیه و عدم وجود روند در اردبیل و خوی را نشان داد. همچنین آزمون گرافیکی من کندال نشان داد که در دهه اخیر بارش برف سنگین به جز تبریز در سه ایستگاه دیگر در جهت کاهشی، تغییر ناگهانی داشته، اگر چه این تغییر، معنی‌دار نبوده است. بررسی تغییرات ماهانه بارش برف سنگین، وقوع این نزولات در بازه زمانی طولانی هشت ماهه (اکتبر تا می) را برای ایستگاه‌های اردبیل، اهر و خلخال نشان می‌دهد از نظر نسبت بارش برف سنگین به کل بارش‌های سنگین برای ۵ ماه برفی سال، اردبیل با ۹۰ درصد و مراغه فقط با ۴۱ درصد به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین نسبت را دارا بوده‌اند. صالح و اسکندری (۱۳۹۲)، در پژوهشی به تحلیل همدیدی بارش برف سنگین رامسر پرداختند نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که در روز بارش شاهد ایجاد پدیده بلاکینگ در غرب روسیه است که با عمیق شدن ناوه در شرق آن هوای سرد شمال به نواحی جنوب شرقی پر ارتفاع انتشار می‌یابد و سواحل شمالی و شمال شرق ایران تحت تاثیر قرار داده و بادهای شمالی در مسیر خود منابع رطوبتی را از نواحی شمالی‌تر به سمت سواحل خزر هدایت نموده و موجبات بارش برف سنگین روزهای ۱۲ تا ۱۵ بهمن ۱۳۹۲ را فراهم می‌آورد. بنابراین ایجاد پدیده بلاکینگ را می‌توان عامل اصلی وقوع بارش برف سنگین در ایستگاه رامسر دانست. درگاهیان و علیجانی (۱۳۹۶)، در پژوهشی به بررسی سینوپتیکی و دینامیکی بارش برف بهمن ۹۲ در ایران با تاکید بر نقش پدیده بلاکینگ پرداختند. نتایج بررسی نقشه‌های سینوپتیکی نشان داد که ایران تحت تاثیر تراف قوی و عمیق سمت راست بلاکینگ امگا با یک پشته بسیار قوی تا عرض‌های ۷۰ درجه شمالی، واقع شده است. استقرار مرکز پرفشار قوی در شمال دریای خزر و ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا منجر به ایجاد شرایط دمایی ویژه در سطح ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکالی شده و کسب رطوبت زیاد از دریای خزر شرایط را برای ریزش برف سنگین فراهم نموده است. قصابی و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به بررسی عوامل دینامیکی و همدیدی موثر در رخداد بارش سنگین برف در استان تهران را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که استقرار جبهه ساکن در جنوب دامنه‌های البرز به مدت دو روز سبب بیشینه فعالیت سامانه در بخش‌های جنوبی استان نسبت به ارتفاعات شمال آن شده است. گسترش زبانه پرفشار گرمایی روسیه تا فلات ایران در تقابل با سامانه کم‌فشار مدیترانه و زبانه کم‌فشار سودانی در نیمه جنوبی و مرکز ایران، گرادیان دمای شدید در منطقه ایجاد کرده است. مرودشتی و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی تأثیر پارامترهای جوی بر پوشش برف حوضه آبخیز کوهرنگ در سال‌های ۲۰۱۰ تا–۲۰۱۸ را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها بدین منظور نقش عوامل و پارامترهای جوی بر پوشش برف با روش‌های آماری را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بین روابط رگرسیونی خطی و غیرخطی بین پارامترهای اقلیمی (دمای بیشینه، کمینه و متوسط بارش) و پوشش برف نشان داد بیش‌ترین ضریب همبستگی مربوط به پارامتر دمای بیشینه (۰/۸۷) و کم‌ترین ضریب همبستگی نیز مربوط به بارش (۰/۲۶) است. همچنین نتایج پژوهش روند کاهشی تغییرات سطح پوشش برف منطقه در طول دوره مطالعاتی را نشان می‌دهد. ارتباط معنی‌داری نیز بین پارامتر

دما و پوشش برف وجود دارد که می‌توان از این پارامترها و رگرسیون در تشخیص پوشش برف در منطقه استفاده کرد.
با توجه به این‌که مطالعه و شناخت عوامل بر هم زننده آرامش و رفاه انسان امری ضروری به‌نظر می‌رسد و شناخت تغییرات روند و عوامل مولد جوی پدیده‌های طبیعی می‌تواند راهگشا باشد بنابراین در این مطالعه هدف بر این بوده بارش برف سنگین اردبیل را از نظر سینوپتیکی تحلیل نموده و به بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای برفی با روش‌های ناپارامتری پرداخته شود.

۱- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

استان اردبیل در شرق فلات آذربایجان واقع شده است حدود دو سوم مناطق آن را بافت کوهستانی و بقیه را مناطق پست تشکیل داده است و مساحتی حدود ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع (تقریبا ۱/۰۹ درصد کل مساحت کشور) را دارد. ایستگاه سینوپتیک اردبیل در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی واقع شده است ارتفاع این ایستگاه ۱۳۳۲ متر می‌باشد و در طبقه‌بندی‌های اقلیمی جز اقلیم نیمه‌خشک به حساب می‌آید (عساکره و همکاران، ۱۳۹۷). در شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی شهرستان اردبیل در سطح کشور و استان ارائه شده است. مساحت این حوضه ۴۰/۵ کیلومترمربع و حداکثر ارتفاع این حوضه حدود ۳۵۹۶ متر در منتهی الیه قسمت غربی حوضه و حداقل ارتفاع آن ۱۷۹۸ متر در خروجی حوضه در قسمت شرقی می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان اردبیل در سطح کشور و استان اردبیل

- **داده‌ها و ابزارهای پژوهش**

این تحقیق در جهت بررسی سینوپتیکی بارش برف سنگین در شهر اردبیل با رویکرد محیطی به گردشی و بررسی روند تغییرات روزهای برفی با روش‌های ناپارامتریک انجام گرفته است. در این راستا ابتدا داده مربوط به پارامتر بارش برف روزانه برای ایستگاه سینوپتیکی اردبیل از اداره هواشناسی کل دریافت گردید. برای تحلیل روند سری زمانی این متغیر از روش ناپارامتریک من–کندال و سنس استیمیتور استفاده شد.

- **آزمون من-کندال**

در آزمون من–کندال فرض صفر بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. این آزمون ابتدا توسط Mann (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط Kendall (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی گسترش یافت و به صورت دو روش محاسبه می‌شود: ۱- آزمون آماره (T) من–کندال ۲- آزمون نموداری من–کندال. مراحل محاسبه این آزمون به این شرح است (زینالی، ۱۳۹۵: ۹۰): الف) اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر محاسبه می‌شود و تابع علامت اعمال شده و پارامتر S به صورت رابطه ۱، به دست می‌آید.

$$S=\sum_{k=0}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\operatorname{sgn}(x_j-x_k)$$

رابطه ۱

که در آن n طول سری زمانی، x_j و x_k به ترتیب داده‌های J ام و K ام سری می‌باشند.

ب) تابع علامت نیز به صورت رابطه ۲، قابل محاسبه است:

$$sgn=(x_j-x_k)=\begin{matrix}+1 & if & (x_j-x_k)>0\\ 0 & if & (x_j-x_k)=0\\ -1 & if & (x_j-x_k)<0\end{matrix}$$

رابطه ۲

ج) با توجه به اینکه ایستگاه مورد مطالعه بیش از ۲۰ سال طول دوره آماری دارد بنابراین از رابطه ۳، برای محاسبه واریانس آماره S استفاده می‌شود:

$$\operatorname{var}(s)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{j=1}^{n}t_p(p)(p-1)(2p+5)}{18}$$

رابطه ۳

در رابطه فوق n، تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m، معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. T نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

د) آماره استاندارد شده Z_mk از رابطه ۴ بدست می‌آید.

$$z=\begin{cases}\dfrac{s-1}{\sqrt{var(s)}} & if \quad s>0\\ 0 & if \quad s=0\\ \dfrac{s+1}{\sqrt{var(s)}} & if \quad s<0\end{cases}$$

رابطه ۴

مقدار مثبت Z_{mk} روند افزایشی و مقدار منفی Z_{mk} روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه ۵ برقرار باشد.

$$|z| \le z_{a/2}$$

رابطه ۵

همچنین این آزمون به صورت نموداری نیز مورد بررسی قرار گرفت که در آن دنباله U و 'U بر اساس i به صورت نموداری رسم می‌شود. در حالت معناداری روند، دو نمودار در نقطه شروع پدیده در خارج از محدوده $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع کرده و در خلاف جهت یکدیگر حرکت خواهند کرد در حالی‌که اگر روند وجود نداشته باشد دو دنباله U و 'U تقریبا به صورت موازی حرکت خواهند کرد. نمودار U نسبت به سال (محور x) رسم شده و برای اینکه معنی‌داری روند و نقطه جهش آن بدست آید دنباله 'U نیز برای آن تعریف می‌شود که در این دنباله مراحل همانند U است با این تفاوت که سال‌ها به‌ترتیب نزولی قرار می‌گیرند و مراحل محاسبه U برای 'U نیز محاسبه می‌شود. در مواقعی که $-1/96 < U < +1/96$ باشد روند تصادفی، و در صورت $U > +1/96$ روند مثبت و در حالت $U < -1/96$ روند منفی است.

- **آزمون سنس استیمیتور**

روش سنس استیمیتور نیز مانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت مشاهدات یک سری زمانی استفاده می‌کند. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و داوری نمودن در مورد معنی‌دار بودن شیب به‌دست آمده در سطوح اطمینان مختلف می‌باشد و مراحل انجام آن به این صورت است (حجام و همکاران، ۱۳۸۷).

الف) شیب میان هر جفت داده مشاهده‌ای با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$Q=\frac{X_t-X_s}{t-s}$$

رابطه ۶

که در آن X_t و X_s به‌ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s، و t یک واحد زمانی بعد از زمان s می‌باشد. با انجام این رابطه برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده به دست می‌آید که از محاسبه میانی این سری زمانی شیب خط روند (Qmed) حاصل می‌شود. مقدار مثبت آن صعودی بودن روند و مقدار منفی آن نزولی بودن روند را نشان می‌دهد.

ب) با استفاده از رابطه ۷، پارامتر C_a در سطوح اطمینان مورد آزمون محاسبه می‌شود.

$$C_a = Z_{1-a/2} * \sqrt{var(s)}$$

رابطه ۷

که در آن Z آماره توزیع نرمال استاندارد است و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اطمینان مورد آزمون مقادیر مختلفی می‌تواند به خود بگیرد. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵٪ برابر با Z=1.96 و برای ۹۹٪ برابر با Z=2.58 در نظر گرفته می‌شود.

ج) حدود اطمینان بالا و پایین $(M_1 \text{ و } M_2)$ به کمک رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$\begin{bmatrix} M_1=\dfrac{N'+C_a}{2} \\ M_2=\dfrac{N'-C_a}{2}\end{bmatrix}$$

رابطه ۸

که N' تعداد شیب‌های محاسبه شده در بند الف، می‌باشد.

د) مرحله آخر این روش، آزمون کردن حدود اعتماد محاسبه شده است. بدین ترتیب از میان شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه ۶، M_1 امین و (M_2+1) امین شیب‌ها استخراج می‌شوند و اگر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق عدد صفر قرار بگیرد فرض صفر پذیرفته می‌شود و بر سری زمانی آزمون هیچ روندی را در سطح اعتماد نمی‌توان نسبت داد و در غیر این‌صورت فرض صفر رد شده می‌توان گفت که سری زمانی در سطح اطمینان مورد آزمون دارای روند معنی‌داری می‌باشد. بعد از تحلیل سری زمانی به منظور انجام تحلیل سینوپتیکی روی این پدیده، بارش برف سنگین روز ۲۶ دی‌ماه ۱۴۰۰ به عنوان فرین انتخاب گشت و داده‌های باز تحلیل شده از سایت (NCEP/NCAR) دریافت گردید و نقشه‌های فشار تراز سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، تاوایی، وزش رطوبتی، رودباد، دمای سطح زمین و ضخامت جو برای روز نماینده و قبل از آن در محیط نرم‌افزار گردس ترسیم گشت.

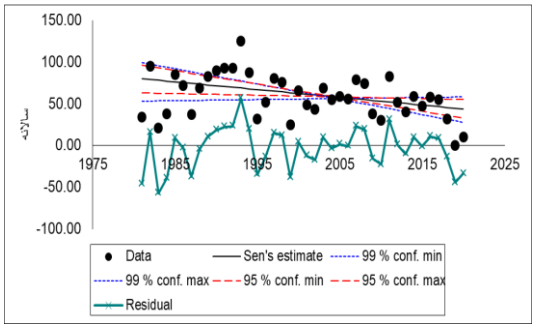
۳- نتایج و بحث

با توجه به جدول ۱، که نتایج آزمون من-کندال را نشان می‌دهد و در آن Q MED شیب‌خط روند، Qmax 95 و Qmin 95 حد بالا و پایینی فاصله اطمینان در سطح ۹۵ درصد و Qmax 99 و Qmin 99 حد بالا و پایین در سطح اطمینان ۹۹ درصد را نشان می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار من-کندال برای ایستگاه سینوپتیکی اردبیل ۲/۳۰- در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند معنی‌داری را نشان می‌دهد و بر حسب مقدار Qmed که ۰/۹۳۱- به دست آمد مشخص می‌شود این روند نزولی می‌باشد. ضمن اینکه کمینه و بیشینه فراوانی روزهای برفی در سطح ۹۹٪ به ترتیب ۱/۸۳۸- و ۰/۱۲۸ بوده درحالی‌که در سطح ۹۵٪ کمینه و بیشینه فراوانی بارش برف به ترتیب ۱/۶۲۵- و ۰/۲۰۰- برآورد شده است.

جدول ۱- نتایج سالانه مقادیر آماره Z من کندال و سنس استیمیتور ۴۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۸۱) برای متغیر فراوانی بارش برف ایستگاه سینوپتیک اردبیل

ایستگاه	Man-kendal			Sens estimator			
	Test Z	signific	Qmed	۹۵٪		۹۹٪	
				Qmin	Qmax	Qmin	Qmax
اردبیل	۲/۳۰ –	*	۰/۹۳۱ –	۱/۶۲۵ –	۰/۲۰۰ –	۱/۸۳۸ –	/۱۲۸ ۰

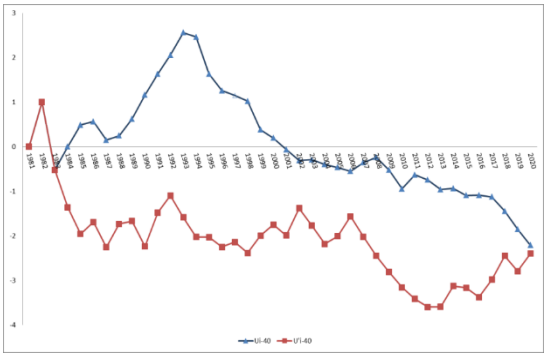
فراوانی بارش برف سنگین در بازه زمانی ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰) مربوط به ایستگاه سینوپتیکی اردبیل بر اساس برازش خط سنس استیمیتور که در نمودار گرافیکی (شکل ۲) نشان داده می‌شود بیانگر روند کاهشی بوده است.



شکل ۲- نمودار سالانه سنس استیمیتور ایستگاه سینوپتیکی اردبیل در طول بازه زمانی ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰)

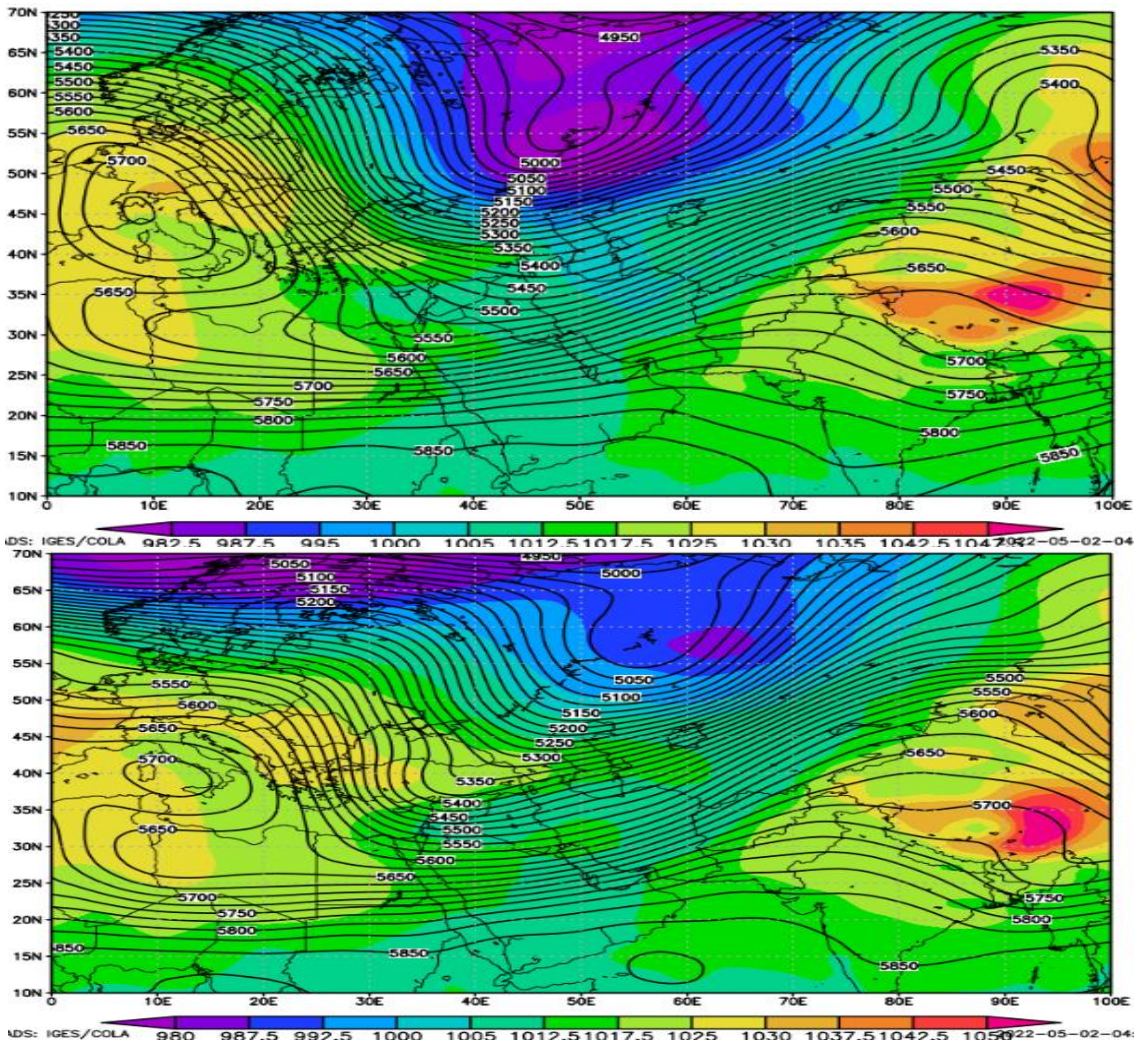
از بررسی رفتار تغییرات مؤلفه‌های U و U' مربوط به تعداد روزهای برفی سالانه ایستگاه سینوپتیکی اردبیل (شکل ۳)، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که از سال ۱۹۹۳ دستخوش یک تغییر ناگهانی شده و تاکنون این روند نزولی ادامه‌دار بوده است. از سال ۲۰۱۲ به بعد دنباله U' در خلاف جهت دنباله U حرکت نموده که درسال ۲۰۲۰ به همدیگر رسیده و در صورتی‌که در خارج از محدوده $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع کنند قبول فرض یک (معنی‌داری) اثبات می‌شود.

شکل ۳- نمودار تغییرات مؤلفه‌های U (خط آبی رنگ) و U' (خط قرمز رنگ) تعداد روزهای برفی ایستگاه سینوپتیکی اردبیل در طول بازه زمانی ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰)



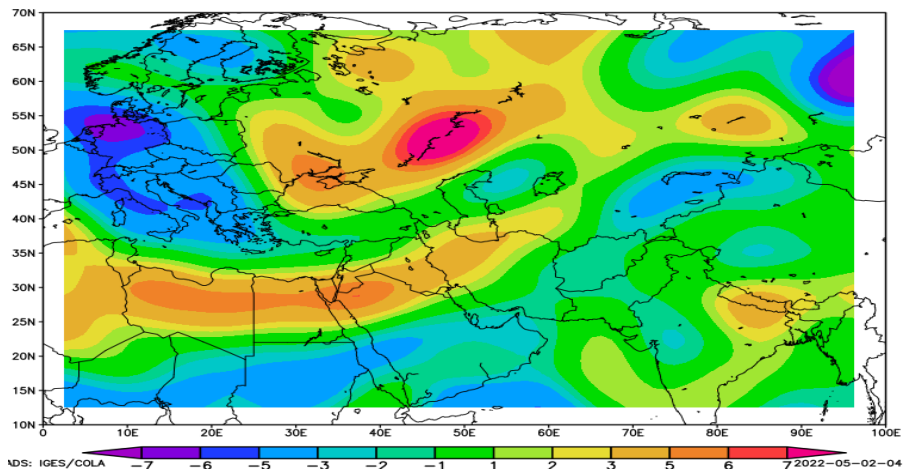
- **تحلیل سینوپتیکی بارش برف سنگین روز ۲۶ دی‌ماه ۱۴۰۰**

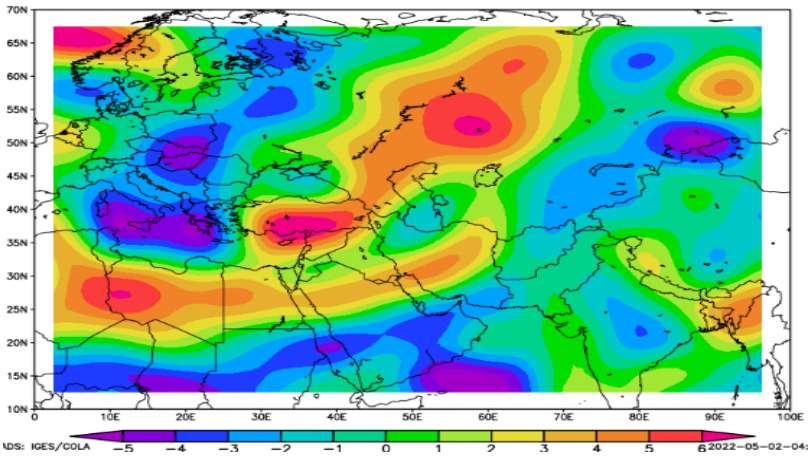
در روز ۲۵ دی‌ماه ۱۴۰۰ وضعیت فشار تراز سطح دریا بدین گونه بوده که یک سامانه کم‌فشار بسیار بزرگی در شمال روسیه با کانون ۹۸۲/۵ هکتوپاسکال تشکیل یافته و زبانه ۱۰۰۵ هکتوپاسکال آن بر فراز منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. در دو سوی غرب و شرق ایران هسته‌های پرفشاری ملاحظه می‌شود که با حرکت برونگرد خود باعث گسیل جریان توده هوا به سمت مراکز کم‌فشار و بخصوص منطقه مورد مطالعه شده است. با تداوم چنین وضعیتی در روز ۲۶ دی‌ماه سامانه پرفشار روی اروپا در جهت مداری گسترش یافته و توانسته بر فراز منطقه مورد مطالعه چیره شود. همزمان با این وضعیت بادهای غربی نیز تحت تأثیر حرکت برونگرد این سامانه بر غرب و شمال غرب ایران هجوم آورده‌اند و باعث اغتشاش جوی شده‌اند. سامانه کم‌فشار یادشده نیز به سمت عرض‌های بالا عقب‌نشینی نموده و مرکز فعالیت آن در دریای شمالگان واقع شده است. جدا از این مراکز فشار یادشده پرفشار روی چین نیز با حرکت ساعتگرد خود مسیر جریانات هوا را متوجه نیمه شرقی ایران نموده و در نهایت جو ناپایداری در این روز بر منطقه مورد مطالعه حاکم شده است. اما وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۲۵ دی‌ماه ۱۴۰۰ نشان می‌دهد یک ناوه بسیار بزرگی در غرب ایران تشکیل یافته و امتداد آن از روسیه تا شمال عربستان را شامل می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود حرکت سینوسی این ناوه باعث شده جریان بادهای غربی به موازات خطوط مداری هم‌ارتفاع آن ابتدا از روی دریای شمالگان گذر نماید سپس با تقویت واگرایی در سطح زمین به سمت عرض‌های پایین ریزش نماید و منطقه مورد مطالعه در تیررس آن قرار بگیرد. شکل و شمایل ناوه یادشده در روز رخداد بارش برف سنگین نسبتا متمایل شده و همین عامل باعث شده بادهای غربی پیش از رسیدن به محور این ناوه حرکت نصف‌النهاری داشته باشند. تغییر مسیر این بادها در شرق مدیترانه شکل گرفته و حرکت مداری یافته‌اند. با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه در قسمت جلوی محور ناوه قرار گرفته بنابراین به تقویت واگرایی در آتمسفر انجامیده و به ناپایداری هوا دامن زده است. در (شکل ۴)، نقشه ترکیبی فشار تراز سطح دریا (شکل رنگی)، با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف) روز ۲۵ دی‌ماه، ب) روز ۲۶ دی‌ماه ۱۴۰۰ ارائه شده است.



شکل ٤- نقشه ترکیبی فشار تراز سطح دریا (شکل رنگی)، با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف) روز ۲۵ دی‌ماه، ب) روز ۲۶ دی‌ماه ۱۴۰۰

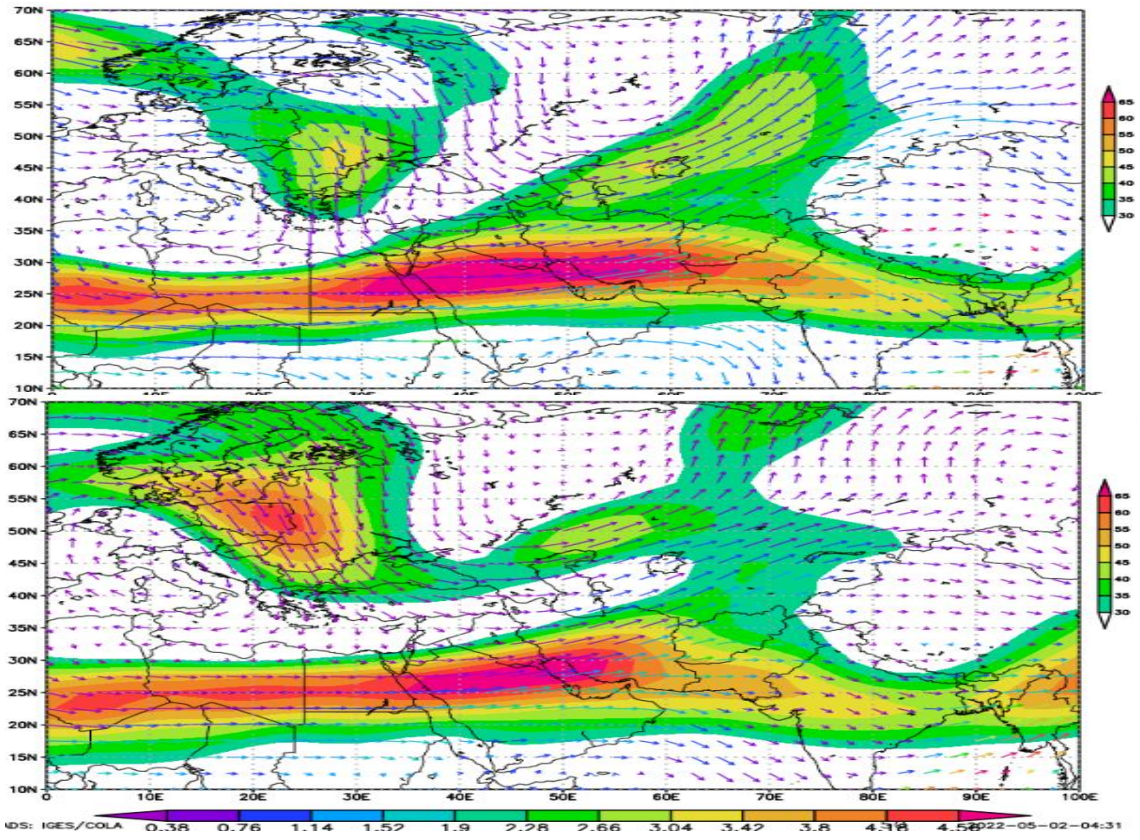
بر اساس اشکال مربوط به تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای روز ۲۵ دی‌ماه سال ۱۴۰۰ (شکل ۵)، درمی‌یابیم همانطور که منطقه مورد مطالعه در قسمت جلوی محور فرود ناوه قرار گرفته بود با تقویت واگرایی تحرکات صعودی هوا را در پی داشته که این حالت را وضعیت چرخندگی به خوبی نشان می‌دهد. در این (شکل ۵)، هسته مثبت تاوایی در غرب ایران مشاهده می‌شود که مقدار ۲+ تاوایی بر روی منطقه مورد مطالعه نشان از ناپایداری هوا دارد. با عقب‌نشینی سامانه کم‌فشار از شمال ایران و اشغال جای آن توسط سامانه پرفشار اروپای مرکزی و از طرفی دیگر دور شدن محور ناوه از منطقه مورد مطالعه در روز رخداد بارش برف سنگین، هسته منفی تاوایی در شمال ایران شکل گرفته و زبانه ۱- تاوایی بر فراز منطقه مورد مطالعه گسترده شده و وضعیت هوا نسبت به روز قبل واژگون گشته و جو پایداری حاکم شده است.





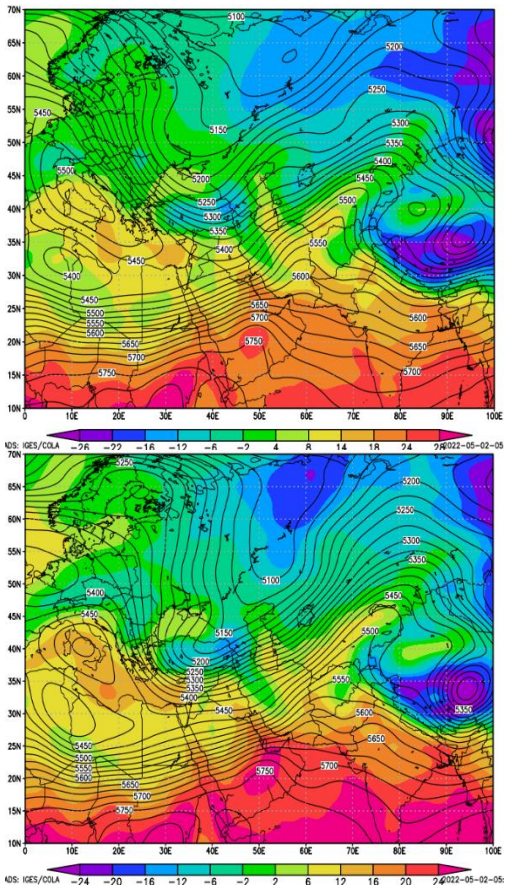
شکل ۵- نقشه تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الف) روز ۲۵ دی‌ماه، ب) روز ۲۶ دی‌ماه ۱۴۰۰

مطابق اشکال ترسیم شده برای وزش رطوبتی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۶)، جهت و سرعت وزش بادهای غربی حامل رطوبت را مشاهده می‌کنیم همانطور که مشخص است در روز ۲۵ دی‌ماه بادهای غربی در اروپا متأثر از حرکت ساعتگرد سامانه پرفشار واقع گشته‌اند و پس از حمل رطوبت دریای شمالگان با سرعت ۶۵ متر بر ثانیه از روی اروپا در جهت جنوب شرقی گذر نموده و با عبور از روی دریای سیاه مجددا تغذیه رطوبتی شده و سرانجام با کاهش سرعت باد در شمال‌غرب ایران حدودا یک گرم در کیلوگرم رطوبت را بر جو منطقه مورد مطالعه شارش نموده‌اند. این وضعیت کماکان در روز بعد نیز ادامه داشته حتی در این روز به مراتب سرعت باد در منطقه مورد مطالعه تشدید یافته است. هسته مرکزی رودباد در جنوب غرب ایران به بیشینه خود رسیده و در روی منطقه مورد مطالعه سرعتی معادل ۳۵ متر بر ثانیه داشته است. علیرغم این وضعیت با متمایل شدن ناوه غرب ایران و حرکت بادهای غربی در کانال آن موجب شده علاوه بر دریای سیاه، دریای مدیترانه نیز در تغذیه رطوبتی سهیم شود و حدود ۱/۳۶ گرم در کیلوگرم شارش رطوبتی توسط بادهای غربی بر آسمان منطقه مورد مطالعه اتفاق بیفتد.



شکل ٦- نقشه ترکیبی وزش رطوبتی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با رودباد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال الف) روز ۲۵ دی‌ماه، ب) روز ۲۶ دی‌ماه ۱۴۰۰

اشکال ترسیم‌شده مربوط به دمای تراز سطح زمین و ضخامت جو برای روز قبل از رخداد بارش سنگین برف (شکل ۷)، نشان می‌دهد جریانات سرد شمالی پس از ریزش به سمت غرب ایران در مقر محور ناوه متراکم گشته و به صورت یک توده هوای سردی در شمال غرب ایران پهن شده است هرچند که زبانه‌های آن بر روی منطقه مورد مطالعه نرسیده و به دلیل حاکمیت سامانه کم‌فشار بر روی منطقه مورد مطالعه وضعیت هوا ناپایدار بوده و دمای بالایی را شاهد هستیم. در روز ۲۶ دی‌ماه حرکت برونگرد سامانه پرفشار اروپای مرکزی و مستولی شدن زبانه‌های آن بر روی منطقه مورد مطالعه باعث هدایت و نفوذ توده هوای سرد مذکور به سمت نواحی شمال غرب ایران شده و دمای هوا تا ۲- درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. وضعیت ضخامت جو نیز ناوه واقع در غرب ایران را به خوبی نشان می‌دهد و کاهش ضخامت آن در شمال غرب ایران به منزله حاکمیت هوای سرد و در نتیجه انقباض گنجایش آتمسفر می‌باشد.



شکل ۷- نقشه ترکیبی دمای تراز سطح زمین (شکل رنگی)، با ضخامت جو الف) روز ۲۵ دی‌ماه، ب) روز ۲۶ دی‌ماه ۱۴۰۰

٤- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی سینوپتیکی بارش برف سنگین با دیدگاه محیطی به گردشی و بررسی روند تغییرات روزهای برفی با روش‌های ناپارامتریک در اردبیل می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون ناپارامتریک من- کندال و سنس استیمیتور نشان داد مقدار Test z، ۲/۳۰- و مقدار Qmed، ۰/۹۳۱- در سطح اطمینان ۹۵٪ داشته است و نشان‌دهنده روند منفی، نزولی و معنی‌داری بوده است همچنین طبق نتایج به‌دست آمده از تحلیل نقشه‌های همدید در رخداد برف سنگین روز ۲۶ دی‌ماه ۱۴۰۰ مشخص شد وجود دو سامانه پرفشار در شرق و غرب ایران با حرکت برونگرد خود باعث هدایت توده هوای مجاور به سمت منطقه مورد مطالعه شده و حاکمیت زبانه‌های سامانه پرفشار اروپای مرکزی بر روی منطقه مورد مطالعه موجب تشکیل شرایط واچرخندی هوا شده و منجر به پایداری هوا و فرونشست آن شده است. این سامانه نقش بسیار پررنگی در انتقال هوای سرد عرض‌های شمالی داشته و علاوه بر این در قسمت غرب ایران تشکیل یک ناوه شرایط جوی را به گونه‌ای رقم زده که پیش از محور ناوه تقویت همرفتی در سطوح فوقانی جو باعث هدایت جریان بادهای سرد شمالی به عرض‌های پایین و بخصوص غرب ایران شده است. با توجه به قرارگیری منطقه مورد مطالعه در قسمت جلوی محور فرود ناوه و تقویت واگرایی در وردسپهر مقادیر تاوایی مثبت شده و وضعیت هوا را ناآرام جلوه داده است. حرکت جریان بادهای غربی در کانال ناوه مذکور باعث حمل رطوبت دریای سیاه و دریای مدیترانه و شارش آن به سمت منطقه مورد مطالعه شده است از طرفی تشدید سرعت باد تا ۳۵ متربرثانیه در جو منطقه مورد مطالعه به اغتشاشات جوی دامن زده است هم‌چنین با هجوم جریانات سرد شمالی یک توده هوای سردی در محور ناوه در شمال غرب ایران متراکم گشته و دمای سطح زمین را در روی منطقه مورد مطالعه تا ۲- درجه سانتی‌گراد تنزل نموده است. حاکمیت هوای سرد بر قسمت شمال‌غرب ایران ضخامت جو را نیز کاهش داده و انقباض آتمسفر را در پی داشته است. نتیجه کار این تحقیق نیز با نتایج کار دیگر محققین همسویی داشته همانطور که صالح و اسکندری (۱۳۹۲) و درگاهیان و علیجانی (۱۳۹۶)، اشاره به نقش تراف عمیق در شمال‌غرب ایران داشته‌اند که نقش بسیار مهمی در انتقال هوای سرد عرض‌های شمالی

به سمت ایران داشته است. همچنین امینی‌نیا و همکاران (۱۳۸۹)، در بررسی تغییرات بارش برف سنگین در منطقه شمال غرب کشور اشاره نمودند که بارش برف سنگین در همه ایستگاه‌ها و در طول دوره آماری مشترک دارای نوسانات زیاد و روند کاهشی بوده است.

منابع

- امینی نیا، ک.، لشکری، ح.، علیجانی، ب.، ۱۳۸۸، بررسی و تحلیل نوسانات بارش برف سنگین در شمال غرب ایران، سال ۱۰، شماره ۲۹، صص ۱۶۳-۱۴۵.
- زینالی، ب.، ۱۳۹۵، بررسی روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با طوفان‌های گردوغباری نیمه غربی ایران، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ۵، شماره ۷، صص ۸۷-۱۰۰.
- عساکره، ح.، بیرانوند، آ.، دوستکامیان، س.م.، ۱۳۹۷، ارزیابی انرژی باد در ایستگاه سینوپتیک اردبیل، فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، سال ۸، شماره ۳، صص ۶۵-۸۲.
- درگاهیان، ف.، علیجانی، ب.، ۱۳۹۶، بررسی سینوپتیکی و دینامیکی بارش برف بهمن ۹۶ در ایران با تاکید بر نقش پدیده بلاکینگ، مخاطرات محیط طبیعی، سال ۶، شماره ۱۲، صص ۳۶-۱۹.
- حجام، س.، خوشخو، ی.، شمس‌الدین وندی، ر.، ۱۳۸۷، تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۱۵۷-۱۶۸.
- شادپور، آ.، لشکری، ح.، برنا، ر.، ۱۳۹۷، تحلیل همدیدی آماری برف‌های سنگین استان گیلان، جغرافیای طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴۲، صص ۱۴-۱.
- صالح، م.، اسکندری، م.، ۱۳۹۴، تحلیل همدیدی بارش برف سنگین رامسر (مطالعه موردی بارش برف سنگین ۱۵-۱۲ بهمن ۱۳۹۲)، کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- علیجانی، ب.، ۱۳۸۶. مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت.
- قصابی، ز.، فتحی، م.، رضازاده، پ.، رنجبرسعادت آبادی، ع.، ۱۳۹۹، بررسی عوامل دینامیکی و همدیدی موثر در رخداد بارش سنگین برف در استان تهران مطالعه موردی: ژانویه ۲۰۱۸، نیوار، دوره ۴۴، شماره ۵، صص ۱۱۱-۱۱۰.
- کاویانی، م ر. ۱۳۸۰. میکروکلیماتولوژی، انتشارات سمت.
- مرودشتی، م.، مزیدی، ش.، امیدوار، ا.، مظفری، غ.، ۱۴۰۰، بررسی تأثیر پارامترهای جوی بر پوشش برف حوضه آبخیز کوهرنگ، نیوار دو فصلنامه، دوره ۴۵، شماره ۱۰، صص ۱۱۳-۱۱۲.
- Alonso-González, E., López-Moreno, J.I., Navarro-Serrano, F., Sanmiguel-Vallelado, A., Aznárez-Balta, M., Revuelto, J. 2020.
- Elizabeth A. Burakowski, D. 2008. Trends In Wintertime Climate In The Northestern Unitedstades. Journal of Geophysical Research; 13(25): 117-129.
- Mastrangelo, D.K. Horvath, A., Riccio M.M., Miglietta. B. 2011. Mechanisms for convection development in a long-lasting heavy precipitation event over southeastern Italy. Atmospheric Research, 100: 586–602.
- Morán-Tejeda, E., López-Moreno, J., Beniston, M. 2013. Geophysical Research Letters. Journal of Geophysical Research, 45(40): 2131-2136.
- Pérez, T., Mattar, C., Fuster, R. 2018. Decrease in Snow Cover over the Aysén River Catchment in Patagonia, Chile. Water, 10: 619-625.
- Perkova, N., Koleva, E., Alexandrova, v. 2004. Winter Climate Varibility At Danube Plain, North Bulgaria. Meteorolgische Zeitschrift, 13(25): 189-190.
- Thomas, G., Huntington, S. 2005. The Denity of Falling Snow in New England 1949-2001, 62 Eastern Snow Conference, Waterloo, Canada.
- Zhang, H., Zhang, F., Che, T.,Wang, S. 2020. Comparative evaluation of VIIRS daily snow cover product with MODIS for snow detection in China based on ground observations. Science of The Total Environment, 45:138-156.

Collaborative analysis of heavy snowfall in Ardabil and evaluation of changes in the frequency of snowy days with non-parametric methods

Behrouz Sobhani[1*], Ghadir Delara[2]

[*]1- Professor of Department of Natural Geography (Hydrology and Meteorology), Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University.

2- Ph.D. student, Geomorphology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University.

[*]Emaill Adress:sobhaniardabil@gmail.com

Abstract

Introduction

Snow as a climatic element due to the rainy season, its solidity, the area covered and the consequences it brings, deserves the study and attention of researchers and users of the environment. It has played a major and fundamental role, and in terms of microclimate, due to its weak heat conduction, it is considered a good protection for its vegetation against the cold (Kaviani, 2010). In the generally dry and semi-arid land of Iran, snowfall and snowy days have a great value, among which the amount of snowfall, the number of days of occurrence, its ratio with the days of precipitation, during the period of descent and its beneficial and harmful consequences, each of them can be the subject of There should be separate researches, while the average number of rainy days in Iran ranges from less than 10 to about 115 days, the maximum number of snowy days is on average in the northwest region and about 25 days a year (Alijani, 2016). On the other hand, the effects of heavy snowfall and avalanches, the destruction of rural homes, the disruption of road transport, communications, daily activities, and many other consequences on the natural and human environment have attracted the attention of some researchers. It is true that some of these researches have been in the field of temporal changes of snowfall in recent decades. Due to the fact that studying and knowing the factors disturbing human peace and well-being seems to be necessary and knowing the changes in the trend and factors that generate the atmosphere of natural phenomena can be a way forward, so in this study, the aim is to analyze the heavy snowfall in Ardabil from a synoptic point of view. And to investigate the trend of changes in the frequency of snowy days with non-parametric methods.

Methodology

This research has been carried out in order to investigate the synoptic heavy snowfall in Ardabil city with an environmental approach to circulation and to investigate the trend of changes in snowy days with non-parametric methods. In this regard, first the data related to the daily snowfall parameter for Ardabil synoptic station was received from the General Meteorological Department. Nonparametric Mann-Kendall method and sense estimator were used to analyze the time series trend of this variable.
Mann-Kendall test In the Mann-Kendall test, the assumption of zero indicates randomness and the absence of a trend in the data series, and accepting the assumption of one indicates the presence of a trend in the data series. This test was first presented by Mann (1945) and then expanded by Kendall (1975) based on the rank of data in a time series and is calculated in two ways: 1- Statistical test (T) I- Kendall 2- Graphical test I- Kendall The calculation steps of this test are as follows (Zinali, 2015: 90).
Sense Estimator test The sense estimator method, like the Mann-Kendall method, uses the difference analysis of observations of a time series. This method is based on calculating a median slope for the time series and judging the significance of the obtained slope at different confidence levels, and the steps to do it are as follows (Hajam et al., 1387: 161).

Conclusion

The purpose of this research is the synoptic investigation of heavy snowfall from an environmental perspective and investigating the trend of changes in snowy days with non-parametric methods in Ardabil. The results of the non-parametric Mann-Kendall test and sense estimator showed that the Test z value was -2.30 and the Qmed value was -0.931 at the confidence level of 95% and indicated a negative, downward and significant trend. Also, according to the results According to the analysis of satellite maps in the event of heavy snow on January 26, 1400, it was found that there are two high-pressure systems in the east and west of Iran, with their outward movement, they lead the nearby air mass towards the studied area, and the dominance of the high-pressure systems of Central Europe

over the studied area. The study has caused the formation of weather conditions and has led to the stability of the air and its subsidence. This system has played a very prominent role in the transfer of cold air in the northern latitudes, and in addition, in the western part of Iran, it has formed a trough of atmospheric conditions in such a way that before the axis of the trough, the convective strengthening in the upper levels of the atmosphere leads the flow of cold northern winds to the lower latitudes. And especially the west of Iran. Due to the location of the studied area in the front part of the landing axis of the ship and the strengthening of the divergence in Wardspahr, the values of Tavai have become positive and the weather condition has become unstable. The movement of the westerly winds in the aforementioned nave channel has caused the moisture of the Black Sea and the Mediterranean Sea and its flow towards the studied area. On the other hand, the intensification of the wind speed up to 35 meters per second in the atmosphere of the studied area has fueled atmospheric disturbances, as well as the influx of cold currents. North, a cold air mass has condensed in the Naveh axis in the northwest of Iran and has lowered the surface temperature of the studied area to -2 degrees Celsius. The rule of cold air over the northwestern part of Iran has also reduced the thickness of the atmosphere and caused the contraction of the atmosphere. The results of this research are also aligned with the results of other researchers, such as Saleh and Eskandari (2012) and Dargahian and Alijani (2016), pointing to the role of deep troughs in the northwest of Iran, which play a very important role in the transfer of cold air from northern latitudes towards Iran. had. Also, Emininia et al. (2009), in the study of changes in heavy snowfall in the northwestern region of the country, pointed out that heavy snowfall in all stations and during the common statistical period had high fluctuations and a decreasing trend.

Keywords
Synopsis analysis; Mann-Kendall test; Sense Estimator test; Ardabil.