

Analysis of the trend of snowmelt changes in Iran and its impact ability from changes in the Mediterranean wave of westerly winds

Seyed Hossein Mirmousavi^{1*}, Masoud Jalali², Kohzad Raispour³, Arman Jahedi⁴

1. *Corresponding Author*, Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2. Assistant Professor of Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3. Assistant Professor of Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
4. Student of Ph.D. Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 25 August 2021

Revised: 10 January 2022

Accepted: 15 February 2022

Keywords:

Snow, Snowmelt, Climate change, the Mediterranean wave of westerly winds, Iran.

ABSTRACT

Snow is considered as one of the climatic elements of water supply for life. Therefore, this study was conducted aimed to investigate the trend of changes in snowmelt in Iran and its impact on changes in the Mediterranean wave of westerly winds. For this purpose, we provided snowmelt and geo-potential height data of 500, 600, and 700 hPa atmospheric levels from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) version ERA5 with a spatial resolution of $0.25 \times 0.25^\circ$ for 1979-2019 January, February, March, April, November, and December. First, the trend and slope of monthly snowmelt changes in Iran were evaluated using non-parametric Mann-Kendall statistical tests and Sen.'s slope estimator. Then, using the percentile method, 25% and 75% percentiles of monthly snowmelt values in Iran were determined. The relationship between the changes in the Mediterranean wave of the westerly winds and the months with snowmelt values lower and higher than 25% and 75% percentiles was measured. Finally, the Middle East Synoptic Index (MESI) and decade expansion were used to analyze the impact of the monthly decreasing trends of snowmelt of the Mediterranean wave changes of the western winds in Iran. The results showed that in January, February, March, April, and December, the mean monthly snowmelt in Iran has a decreasing trend. In addition, a relationship was between the Mediterranean wave heights of the westerly winds in January, February, March, November, and December with the mean snowmelt of lower and higher than 25% and 75% percentiles, respectively. Also, the results showed changes in the height of the Mediterranean wave of westerly winds. It seems that these changes are among the factors affecting the decreasing trend of snowmelt in Iran, which is especially evident in the third and fourth decades (since 1999 onwards) in January, February, March, November, and December.

Cite this article: Mirmousavi, S. H., Jalali, M., Raispour, K., & Jahedi, A. (2022). Analysis of the trend of snowmelt changes in Iran and its impact ability from changes in the Mediterranean wave of westerly winds. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(34), 101-126. DOI: 10.22111/jneh.2022.39601.1839



© Seyed Hossein Mirmousavi.

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2022.39601.1839

* Corresponding Author Email: hossein.mirmousavi@znu.ac.ir



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳۴، زمستان ۱۴۰۱

واکاوی روند تغییرات ذوب برف در ایران و اثرپذیری آن از تغییرات موج مدیترانه‌ای بادهای غربی

سید حسین میرموسوی^{۱*}، مسعود جلالی^۲، کوهزاد رئیس پور^۳، آرمان جاهدی^۴

۱. دانشیار آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران (نویسنده مسئول)

۲. استادیار آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳. استادیار آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۴. دانشجوی دکترا آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	برف یکی از عناصر آب‌وهوایی تأمین منابع آب برای حیات می‌باشد؛ بنابراین، هدف از این پژوهش، واکاوی روند تغییرات ذوب برف در ایران و اثرپذیری آن از تغییرات موج مدیترانه‌ای بادهای غربی می‌باشد. برای این هدف، داده‌های ذوب برف (Snowmelt) و ارتفاع ژئوپتانسیل (Geopotential height) ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت هوا (ECMWF)، نسخه نیواری (ERA5) با قدرت تفکیک مکانی ۰٫۲۵*۰٫۲۵ درجه برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹ دریافت شد. ابتدا، روند و شیب تغییرات ماهانه ذوب برف در ایران با استفاده از آزمون‌های آماری ناپارمتریک من - کندال و تخمین‌گر شیب سین ارزیابی شد. سپس، با استفاده از روش صدک‌گیری، صدک‌های ۲۵ و ۷۵ مقادیر ذوب برف ماهانه در ایران تعیین شد. ارتباط بین تغییرات موج مدیترانه‌ای بادهای غربی با ماه‌های که مقادیر ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵ داشتند، سنجیده شد. سرانجام، از شاخص همیدی خاورمیانه‌ای (MESI) و روش بسط دهه‌ها، برای واکاوی اثرپذیری روندهای کاهشی ماهانه ذوب برف در ایران از تغییرات موج مدیترانه‌ای بادهای غربی استفاده شد. نتایج نشان داد، در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و دسامبر میانگین ماهانه ذوب برف در ایران دارای روند کاهشی است. علاوه بر این، بین ارتفاع موج مدیترانه‌ای بادهای غربی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر که مقدار میانگین ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک ۲۵ و ۷۵ داشته‌اند، ارتباط وجود داشت. همچنین نتایج نشان داد که، تغییراتی در ارتفاع موج مدیترانه‌ای بادهای غربی رخ داده است. به نظر می‌رسد، این تغییرات یکی از عامل‌های اثرگذار در روند کاهشی ذوب برف در ایران باشد، که به خصوص در دهه‌های سوّم و چهارم (از سال ۱۹۹۹ به بعد) در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر نمایان‌تر است.

استناد: میرموسوی، سید حسین، جلالی، مسعود، رئیس پور، کوهزاد، جاهدی، آرمان. (۱۴۰۱). واکاوی روند تغییرات ذوب برف در ایران و اثرپذیری آن از تغییرات موج مدیترانه‌ای بادهای غربی. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۴): ۱۰۱-۱۲۶.

DOI: 10.22111/jneh.2022.39601.1839



© سید حسین میرموسوی*، مسعود جلالی، کوهزاد رئیس پور، آرمان جاهدی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

برف، شکل جامد آب است، که در نیوار آبدینه شده، و در ریزش به زمین، حدود ۲۳ درصد سطح زمین را می‌پوشاند (بریتانیکا، ۲۰۲۱). برف یک منبع عمده، برای جریان آب در هر منطقه است (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۷). برف انباشته یک منبع حیاتی آب برای سیستم‌های طبیعی و انسان‌ها می‌باشد (بارنت و همکاران، ۲۰۰۵؛ ویورولی و همکاران، ۲۰۰۷؛ کورز و همکاران، ۲۰۰۸؛ رود و همکاران، ۲۰۰۸؛ پیرسون و همکاران، ۲۰۱۳؛ فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۸). در همین راستا مانکین و همکاران (۲۰۱۵) ذوب برف و یخچال‌ها طبیعی سیاره‌ی زمین، را فراهم کننده‌ی منابع آب برای حدود ۲ میلیارد نفر می‌دانند. وانگ و همکاران (۲۰۱۶) بر این باورند، که ارزیابی ذوب برف در حوضه‌های آبریز، برای مدیریت منابع آب شایان توجه است. از همین رو، لی و هائو (۲۰۱۰) معتقدند که تغییرات مکانی و زمانی پوشش برف و ذوب برف، به عنوان شاخص‌های حساس برای تغییر اقلیم را می‌توان در نظر گرفت. پوشش برفی نیم‌کره‌ی شمالی در بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵، کاهش ماه به ماه را به جز در ماه‌های نوامبر و دسامبر نشان می‌دهد (هیأت بین دولتی تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). با عنایت به پژوهش‌های صورت گرفته، کنکل و همکاران (۲۰۱۶) بر این باورند، که مطالعات آب‌وهواشناسی اخیر برف، یک روند ترکیبی را نشان می‌دهند، اما با این وجود یافته‌های اغلب مطالعات، حاکی از روند کاهشی در چندین معیار فرین‌های برف است. سدرو و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با استفاده از داده‌های ۳۲ ساله‌ی هیدرولوژیک و بیوشیمیایی، در سیرا نوادا کالیفرنیا، ویژگی‌های تغییرات ذوب برف را در ارتباط با تغییرپذیری آب‌وهوا و واریاسیون اثرات عامل‌های اثرپذیر در زیست بوم فیتوپلانکتون‌ها را مورد کنکاش قرار دادند، نتیجه‌ی حاصل از مطالعه‌ی آن‌ها نشان می‌دهد، که مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده‌ی تغییرات آب‌وهوایی در زمان و میزان ذوب برف در فصل بهار، در سراسر کشور، مقدار برف زمستانی انباشته شده است، که از طریق آب معادل برف تخمین زده می‌شود. بر همین اساس شیلکاپار و همکاران (۲۰۰۹)، به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در ذوب برف، در حوضه‌ی تاماکوشی پرداختند، یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که تغییر اقلیم اثرات معنی‌داری در ذوب برف در این حوضه داشته است. نقی زاده و همکاران (۱۳۹۸) روند تغییرات عمق برف را با استفاده از داده‌های بازکوی شده‌ی پایگاه داده، مرکز اروپایی میان مدت پیش‌بینی هوا (ECMWF) با آزمون‌های ناپارمتریک من-کندال و تخمینگر شیب سن، در پهنه‌ی شمالی ایران را انجام دادند، یافته‌های مطالعه‌ی آن‌ها نشان می‌دهد، که فصل زمستان بیشینه روند کاهشی را داشته است، علاوه بر آن روند کاهشی عمق برف را در پاسخ به گرمایش جهانی می‌دانند. با این حال، اثر گرم شدن سیاره‌ی زمین بر تأمین برف، زمان و مقدار ذوب، در همه‌ی حوضه‌ها به یک اندازه نیست (راوشر و همکاران، ۲۰۰۸؛ براون و موته، ۲۰۰۸؛ آدام و همکاران، ۲۰۰۹؛ ویورولی و همکاران، ۲۰۱۱؛ اشفق و همکاران، ۲۰۱۳). عزیززی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ی به پیش پوشش برف و تغییرپذیری زمانی و مکانی آن در دامنه‌های جنوبی البرز با استفاده از داده‌های ساعتی و ماهانه در ایستگاه‌های منطقه و محصولات برف سنجنده‌ی مودیس پرداختند، نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان می‌دهد، که پوشش برف در اوایل پاییز و اواخر زمستان روبه افزایش است، و در ژانویه و به ویژه فصل بهار به میزان فزاینده‌ی در حال کاهش است، علاوه بر این از نظر ارتفاعی پوشش برف در حال پسروی است. دوبره و همکاران (۲۰۱۷)، دو عامل اثرگذار در ذوب برف را، درجه شهرنشینی و توزیع مقدار برف می‌دانند. نتایج مطالعه‌ی ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۱)، که به روند تغییرات پوشش برف در مناطق برف‌خیز ایران با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس در یک دوره‌ی ۱۰ ساله

پرداخته‌اند، نشان می‌دهد، که روند تغییرات در تمامی مناطق کوهستانی و برف‌خیز کاهشی بوده است. علاوه بر این تعدادی از پژوهش‌ها به بررسی ارتباط گردش‌های نیواری - اقیانوسی با ذوب برف در حین فصل ذوب پرداخته‌اند (به عنوان مثال، ژنگ و همکاران، ۲۰۱۸). ذوب برف دارای ارتباط نزدیکی با انباشت برف و دمای هوا در فصل زمستان و بهار دارد (نولز و همکاران، ۲۰۰۶). کیانی و مسعودیان (۱۳۹۹) نیز به بررسی تغییرات زمانی و مکانی زمانبندی فصل انباشت پوشش برف در ایران با استفاده از داده‌های نسخه‌ی ششم سنجنده‌ی مودیس ترا و آکوا برای دوره‌ی زمانی ۱۳۷۹/۱/۱ تا ۱۳۹۷/۶/۳۱ پرداختند، یافته‌های مطالعه‌ی آن‌ها حاکی از آن است، که آغاز فصل انباشت پوشش برف در ارتفاعات غربی و شمال شرقی کشور در حال پیشروی به سوی زمستان است؛ در حالی که در ارتفاعات شمالی و شمال غرب کشور، شروع فصل انباشت در حال رفتن به عقب، یعنی پسروی به سوی فصل پاییز است. با عنایت به مطالعات صورت گرفته در موضوع روند تغییرات ذوب برف، قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) در حوضه آبریز بختیاری؛ علیزاده و همکاران (۱۳۹۸) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه؛ صادقی و همکاران (۱۳۹۸) در زنجان؛ معتمدی (۱۳۹۸) در حوضه آبریز دز؛ پیچاقچی و همکاران (۱۳۹۸) در شمال البرز مرکزی؛ موسی زاده و همکاران (۱۳۹۳) در خراسان جنوبی؛ مدنی و مدنی (۱۳۹۷) در سیلان؛ رییس‌پور (۱۳۹۷) در ایران؛ منظری و جعفری (۱۳۹۶) در فریدون‌شهر؛ حسین زاده (۱۳۹۶) در حوضه کارده، بر وجود اثر تغییرات آب‌وهوایی در برف و ذوب آن، اتفاق نظر دارند. در راستای راستی آزمایشی این فرضیه که ذوب برف در ایران دارای تغییراتی است، به نظر می‌رسد که یکی از عامل‌های این تغییرات، تغییراتی است، که در موج مدیترانه‌ی بادهای غربی رخ می‌دهد. از همین رو از آنجا که شواهد نشان می‌دهند، این تغییرات در ذوب برف می‌تواند به عنوان یک عامل محیط طبیعی بر زندگی موجودات زنده و زیستگاه‌های آن‌ها اثر گذار باشد، از همین رو، هدف از انجام این پژوهش واکاوی روند تغییرات ذوب برف در ایران و اثرپذیری آن از تغییرات موج مدیترانه‌ی بادهای غربی می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

در ابتدا مقادیر ذوب برف از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹ برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر از پایگاه داده، مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت هوا (ECMWF)، نسخه‌ی (ERA5) با قدرت تفکیک ۰٫۲۵*۰٫۲۵ دریافت گردید. در این پژوهش مقیاس اندازه‌گیری مقادیر ذوب برف بر اساس تعریف پایگاه داده اروپایی مرکز میان مدت پیش‌بینی هوا، متر معادل آب (m of water equivalent) می‌باشد. بر اساس رابطه (۱) مقیاس مقادیر به میلی‌متر (mm) تبدیل گردید.

$$P_{iexl}(smlt/m) * 1000 = P_{iexl}(smlt/mm) \quad (1)$$

در شکل (۱) پراکنش یاخته‌های ذوب برف مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت هوا، نسخه‌ی (ERA5) نمایان شده است.



شکل ۱: پراکنش یاخته‌های پایگاه داده مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت هوا، نسخه (ERA5) با قدرت تفکیک مکانی $0.25^*0.25$ درجه در محدوده ایران زمین.

واکاوی آماری:

در این مرحله برای واریس روند تغییرات ذوب برف در ایران از آزمون ناپارامتریک من-کندال و برای بررسی مقدار تغییرات روند، از تخمین‌گر شیب سین استفاده شد. آزمون ناپارامتریک من-کندال یک روش بسط یافته برای کشف روندها در سری‌های زمانی آب‌وهواشناختی و هیدرولوژیکی است (بولوت و همکاران، ۲۰۰۸). در همین راستا واکاوی آماری مقادیر ذوب برف در ایران به صورت زیر انجام گرفت.

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

در رابطه‌ی (۲)، در گام اول اختلاف تک تک مشاهدات با یک‌دیگر و سپس اعمال تابع علامت، در این رابطه k و j رتبه‌های داده‌ها می‌باشند. x_k و x_j مقادیر ژام و k ام سری می‌باشند. بر حسب اینکه اختلاف مشاهدات سری زمانی به چه صورت باشد، با استفاده از رابطه‌ی زیر علامت‌های مثبت یا منفی به آن تعلق می‌گیرد.

$$\text{sgn}(a_i - a_j) = \begin{cases} +1 & a_i > a_j \\ 0 & a_i = a_j \\ -1 & a_i < a_j \end{cases} \quad (3)$$

در رابطه‌ی (۴) تعداد s محاسبه می‌شود، که n تعداد مشاهدات اولیه‌ی سری زمانی می‌باشد. از همین رو از تعداد کل s محاسبه شده، تعدادی ممکن است مثبت، منفی و یا صفر باشند.

$$s = \frac{n(n-1)}{2} \quad (4)$$

در این گام باید، تعداد علامت‌های مثبت و منفی را که از اختلاف محاسبه شده در مرحله‌ی اول به دست آمد، را محاسبه کنیم. در واقع بدانیم چه تعداد داده‌ی با علامت مثبت و چه تعداد داده‌ی با علامت منفی وجود دارد. در این مرحله از روی شمارش تعداد مشاهدات دارای علامت، می‌توان فهمید که داده‌ها دارای چه روندی هستند. اگر تعداد شمارش علامت‌های مثبت بیشتر باشد، روند افزایشی و اگر تعداد علامت‌های منفی بیشتر باشد، روند کاهش می‌باشد. در گام بعدی باید، واریانس به کمک یکی از روابط زیر محاسبه شود.

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m T_i(T_i-1)(2T_i+5)}{18} \quad (5)$$

اگر $n > 10$ باشد، از رابطه‌ی (۵) و اگر $n < 10$ باشد، از رابطه‌ی (۶) برای محاسبه‌ی واریانس استفاده می‌شود. در رابطه‌ی (۵) n تعداد داده‌ها و m تعداد سری‌های است، که در آن‌ها حداقل یک داده‌ی تکراری وجود دارد، T نیز فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است (حلبیان، ۱۳۹۶).

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (6)$$

در مرحله‌ی بعد لازم است که آماره‌ی Z را به کمک یکی از روابط زیر محاسبه کرد.

$$Z = \frac{s-1}{\text{var}(s)} \quad (7)$$

$$Z = \frac{s+1}{\text{var}(S)} \quad (8)$$

اگر s بزرگتر از صفر باشد ($s > 0$)، از رابطه (۷)، و اگر s کوچکتر از صفر باشد ($s < 0$) از رابطه (۸) استفاده می‌شود. در گام بعدی، قدر مطلق Z محاسبه شده با Z جدول مقایسه می‌شود، که اگر قدر مطلق Z محاسبه شده بزرگتر از Z جدول باشد، فرض صفر (H_0) رد می‌شود. با استفاده از روابط زیر می‌توان شواهد کافی برای پذیرش یا رد فرض صفر را یافت. روابط (۹) و (۱۰) بر اساس وجود دو دامنه بودن آزمون در نظر گرفته شده‌اند.

$$|z| \geq z_{1 - \frac{\alpha}{2}} \quad (9)$$

$$|z| \leq z_{\frac{\alpha}{2}} \quad (10)$$

در رابطه (۹)، قدر مطلق Z محاسبه شده بزرگتر از Z جدول است، در نتیجه فرض صفر رد می‌شود، و در رابطه (۱۰) قدر مطلق Z محاسبه شده کوچکتر از Z جدول است، در نتیجه نمی‌توان فرض صفر را رد کرد. در نهایت یکی از حالت‌های دو رابطه بالا بر مشاهدات، ارزیابی می‌گردد. در این پژوهش ما سطح اطمینان آماری را برای محاسبه‌ی روند برابر 0.05 خطا در نظر گرفته‌ایم، با عنایت به مقدار سطح معنی داری، فرضیه‌های آزمون به شرح زیر تدوین می‌شوند.

$H_0 =$ مقادیر ذوب برف در ایران دارای روند معناداری نیستند.

$H_1 =$ مقادیر ذوب برف در ایران دارای روند معناداری هستند.

در گام بعدی میزان تغییرات ماه به ماه مقادیر ذوب برف در ایران با آماره‌ی تخمین گر شیب سن به صورت زیر که توسط سین (۱۹۶۸) ارایه گردیده است، محاسبه می‌شود. اگر مدل خطی $f(t)$ به صورت زیر باشد.

$$f_t = Qt + B \quad (11)$$

که در آن Q : شیب و B : ثابت و عرض از مبدأ است. برای محاسبه شیب Q ، شیب همه جفت داده‌ها به کمک رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_{Med} = \frac{x_j - x_k}{j - k}, i = 1, 2, \dots, N, j > k \quad (12)$$

اگر سری زمانی x دارای n مقدار باشد، تعداد شیب‌های محاسبه شده Q برابر با $N=n(n-1)/2$ خواهد بود. تخمین‌گر شیب سن برابر با میانه N مقدار Q_i است. مقادیر Q_i از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند و شیب سن به کمک رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q=Q_N+1/2 \quad (۱۳)$$

$$1/2(Q_N/2+Q_N+2/2) \quad (۱۴)$$

در این مرحله تمام مقادیر شیوه‌های روند داده‌های ذوب برف در ایران، را که در مرحله‌ی قبل محاسبه کردیم، را از کوچک به بزرگ مرتب می‌کنیم، و بر حسب اینکه تعداد داده‌های مرتب شده (N) فرد باشد، از رابطه ۱۳ و چنانچه (N) زوج باشد از رابطه ۱۴ استفاده می‌شود، عددی که به عنوان میانه به دست می‌آید، میزان شیو تغییرات داده‌ها می‌باشد (شن، ۲۰۱۰؛ دراپلا، ۲۰۱۱؛ دارند، ۱۳۹۳).

واکاوی همدیدی:

در این مطالعه یکی از عامل‌های اثرگذار در آب‌وهوای ایران واکاوی همدیدی می‌شود. علیجانی (۲۰۰۲، ۱۳۶۶)، بر این باور است سیستم‌های غربی که از شمال غربی و غرب و جنوب غربی که به ایران وارد می‌شوند، اثر بسیار بالایی در کنترل آب‌وهوای ایران دارند. از همین رو علیجانی و نظاماتی (۱۳۹۴) بر این باورند که فرود مدیترانه یکی از سیستم‌های کنترل کننده‌ی اقلیم ایران در دوره سرد سال است، یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد، که محور فرود مدیترانه ۹ درجه به سمت غرب حرکت کرده است. رضیعی و همکاران (۱۳۸۸) نیز معتقدند که ناوه مدیترانه بر اقلیم و تأمین بارش زمستانه ایران اثر زیادی دارد. بنابراین با عنایت به نتایج پژوهش‌های صورت گرفته، موج بادهای غربی در منطقه‌ی مدیترانه بر آب‌وهوای سرزمین ایران اثر گذار بوده است، و تغییرات سیستم‌های همدیدی در این منطقه، بر تغییرات آب‌وهوای ایران نیز اثر گذار است. در همین راستا از نظر همدیدی در این پژوهش گام‌های زیر برای وجود ارتباط بین تغییرات ارتفاع موج مدیترانه‌ی بادهای غربی و تغییرات آن بر تغییرات روند ذوب برف در ایران برداشته شد.

در این مرحله صدک‌های ۲۵ و ۷۵ مقادیر ذوب برف (بر حسب میلی متر) با استفاده از رابطه‌ی ۱۵ مشخص شدند.

$$\text{Percentile}=N*P= \quad (۱۵)$$

در رابطه ۱۵، N برابر تعداد داده‌ها، P برابر با صدک مورد نظر است، در مرحله‌ی بعد با نظر به پژوهش علیجانی و همکاران (۱۴۰۰)، روابط زیر برای ارتباط بین تغییرات موج مدیترانه‌ی بادهای غربی با ماه‌های که مقدار میانگین ذوب برف آن‌ها از صدک‌های ۲۵ و ۷۵ کوچک‌تر و بزرگ‌تر بوده‌اند، به کار گرفته شدند.

$$\sum_{l=25}^{N=45} [(\overline{H_{10}}; \overline{H_{52.5}})] \quad (۱۶)$$

$$\sum_{l=25}^{N=45} [(\overline{H_{10}}, \overline{H_{30}}, \overline{H_{52.5}})] \quad (۱۷)$$

$$\sum_{l=25}^{N=45} [(\overline{H_{10}} - \overline{H_{30}}), (\overline{H_{52.5}} - \overline{H_{30}})] \quad (۱۸)$$

$$\sum_{l=25}^{N=45} [(\overline{H_{10-30}}), (\overline{H_{52.5-30}})] \quad (۱۹)$$

$$\text{MESI} = \frac{1}{2} (\sum_{l=25}^{N=45} [(\overline{H_{10-30}}), (\overline{H_{52.5-30}})] + \sum_{l=25}^{N=45} [(\overline{H_{10-30}}), (\overline{H_{52.5-30}})]) \quad (۲۰)$$

که در آن (MESI) شاخص همدیدی خاورمیانه‌ای، I شمارشگر مدارها، $\overline{H_{10}}$ ، $\overline{H_{30}}$ ، $\overline{H_{52.5}}$ ، بیانگر میانگین، میانگین‌های ارتفاع ژئوپتانسیل روی نصف‌النهارهای ۱۰، ۳۰ و ۵۲٫۵ درجه‌ی طول شرقی از مدار ۲۵ تا ۴۵ درجه‌ی عرض شمالی می‌باشند. در اینجا تمام ماه‌های که میانگین مقادیر ذوب برف آن‌ها کمتر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵ بوده است در نظر گرفته می‌شود. بدین صورت که برای هر کدام از ماه‌ها به طور جداگانه در بار (-) اول مقدار میانگین‌های روی نصف‌النهارهای ۱۰ تا ۵۲٫۵ درجه‌ی طول شرقی برآورد می‌گردد. در اینجا فرض کنید ما از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹، ۱۲ ماه ژانویه که مقدار میانگین کمتر از صدک ۲۵ و ۷ ماه ژانویه که مقدار میانگین ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵ را دارند، داریم. بار (-) اول برای تک تک ماه‌ها به طور جداگانه، از یک طرف آن‌های که کم‌تر از صدک ۲۵ و بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده‌اند، محاسبه می‌شود. بعد از آن که بار (-) اول محاسبه شد، در بار (=) دوم ۱۲ ماه ژانویه‌ی که کمتر از صدک ۲۵ بوده‌اند، میانگین‌های را که از بار (-) اول از نصف‌النهار ۱۰ تا ۵۲٫۵ درجه محاسبه کرده بودیم، را در کنار هم قرار می‌دهیم. در اینجا چون که داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل دارای قدرت تفکیک ۰٫۲۵ * ۰٫۲۵ درجه بودند، تعداد میانگین‌های بار اول، یعنی از نصف‌النهار ۱۰ تا ۵۲٫۵ درجه برابر ۱۷۱ یاخته می‌باشد، و از طرف دیگر چون که ما در اینجا (به طور فرضی) ۱۲ ماه ژانویه‌ی که کمتر از صدک ۲۵ بودند، را داشتیم، بنابراین میانگین‌ها را نیز در ۱۲ ستون خواهیم داشت، در نتیجه برای هر کدام از ماه‌ها ۱۷۱ مقدار میانگین (با در نظر گرفتن قدرت تفکیک مکانی) را داریم، برای قدرت تفکیک‌های دیگر این مقدار میانگین تغییر می‌کند. از همین رو ما برای ژانویه‌ی فرضی در اینجا یک ماتریسی از میانگین‌های بار (-) اول با ابعاد ۱۷۱ * ۱۲ داریم. برای مقادیر میانگین ذوب برف ۷ ماه ژانویه‌ی فرضی، یک ماتریس دیگر از میانگین‌های بار (-) اول با ابعاد ۱۷۱ * ۷ داریم. در مرحله‌ی بعد، از ۱۲ ستون میانگین‌های بار (-) اول روی نصف‌النهار ۱۰، ۳۰ و ۵۲٫۵ درجه بار (=) دوم گرفته می‌شود. که از یک طرف برای ۱۲ ماه کمتر از صدک ۲۵ و از طرف دیگر برای ۷ ماه بیش‌تر از صدک ۷۵ بار (=) دوم را خواهیم داشت. زمانی که مقادیر ارتفاع نیوار در هر کدام از ترازهای نیواری محاسبه شد، ۳ میانگین برای ۱۲ و ۳ میانگین دیگر برای ۷ ماه فرضی داریم، که این میانگین‌ها مقادیر بر روی سه نصف‌النهار ۱۰، ۳۰ و ۵۲٫۵ درجه طول شرقی هستند. در نتیجه $\overline{H_{10}}$ از $\overline{H_{30}}$ و $\overline{H_{52.5}}$ نیز از $\overline{H_{30}}$ تفریق می‌شود (رابطه‌ی ۱۸)، این کار به صورت جداگانه هم برای کمتر از صدک ۲۵ و هم برای بیش‌تر از صدک ۷۵ انجام می‌شود. بر همین اساس دو مقدار تفریق شده برای ۱۲ ماه فرضی که مقدار ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ و دو مقدار هم برای ۷ ماه فرضی دیگر که ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵ داشته‌اند، به دست می‌آید، در ادامه، اگر بر اساس رابطه‌ی ۱۹ بار (-) سوم، برای دو مقدار مربوط به ۱۲ ماه کم‌تر از صدک ۲۵ که بر اساس رابطه‌ی ۱۸ محاسبه شده‌اند گرفته شود، یک مقدار عددی دیگر حاصل می‌آید، و همچنین این برای دو مقدار مربوط به ۷ ماه فرضی دیگر که بیش‌تر از صدک ۷۵ ذوب برف داشته‌اند، و بر اساس همان رابطه‌ی ۱۸ به دست آمده‌اند، نیز به طور جداگانه گرفته می‌شود، که در اینجا نیز یک مقدار حاصل می‌آید. یکی برای ماه‌های که ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵ داشته‌اند، و دیگری برای ماه‌های که ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ را داشته‌اند. در ادامه، بر اساس رابطه‌ی ۲۰ اگر آن دو مقدار حاصل از رابطه‌ی ۱۹، که یکی برای ماه‌های که ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵ و دیگری برای ماه‌های که ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ داشته‌اند، با همدیگر جمع (+) شوند، و سپس $\left(\frac{1}{2}\right)$ آن‌ها بر اساس رابطه‌ی ۲۰ گرفته شود، مقدار آستانه‌ی به دست می‌آید، که با آن می‌توان ارتباط بین موج مدیترانه‌ی بادهای غربی را با مقادیر ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵ را واکاوی کرد.

رابطه‌ی نهایی روابط ۱۶ تا ۱۹ در رابطه‌ی ۲۰ تعریف شده است. فرض بر این است در ماه‌های که ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک ۲۵ و ۷۵ داشته‌اند، مقدار حاصل از رابطه‌ی ۱۹ به ترتیب پایین‌تر و بالاتر از مقدار آستانه در رابطه‌ی ۲۰ باشد. در گام بعدی برای ارزیابی اثر تغییرات موج مدیترانه‌ی بادهای غربی بر روند تغییرات ذوب برف در ایران، با استفاده از رابطه ۲۱، سری زمانی یاخته‌های موج مدیترانه‌ی بادهای غربی بر اساس تعریف MESI فقط یک بار (-)، از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹ در ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی از نصف‌النهار ۱۰ تا ۵۲٫۵ درجه‌ی طول شرقی به عنوان میانگین کل ماهیانه برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر به صورت جداگانه برآورد گردید. از طرف دیگر نیز به روش بسط دهه‌ها، هر کدام از ماه‌ها از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸ نیز به ۴ دهه تقسیم شدند، و در نتیجه، بار (-) اول نیز برای هر کدام از ۴ دهه محاسبه گردید. روابط ۲۱ و ۲۲ گویای بیان آماری این محاسبات می‌باشد.

$$MESI_{T=1:N} = \sum_{l=25}^{N=45} [\overline{H_{10}} \cdot \overline{H_{52.5}}] \quad (21)$$

$$MESI_{T=1:10} = \sum_{l=25}^{N=45} [\overline{H_{10}} \cdot \overline{H_{52.5}}] \quad (22)$$

در رابطه ۲۱، میانگین ماهیانه کل و در رابطه ۲۲ میانگین ماهیانه به روش بسط دهه‌ها محاسبه می‌شود. به این معنی که یکبار میانگین ماهیانه کل و چهار بار برای هر کدام از دهه‌ها نیز میانگین موج گرفته می‌شود. منتها در روابط ۲۱ و ۲۲ فقط بار (-) اول گرفته می‌شود. که در این حالت یک ماتریس یک بعدی با ابعاد ۱۷۱ یاخته از موج مدیترانه‌ی چه برای میانگین کل ماهیانه و چه برای هر کدام از دهه‌ها را خواهیم داشت. در روابط ۲۱ و ۲۲، T زمان می‌باشد، که برای میانگین کل از ۱ تا N و برای هر کدام از دهه‌ها برابر ۱ تا ۱۰ قرار داده شده است. با عنایت به روابط ۲۱ و ۲۲ جهت شناسایی اثرات تغییرات موج مدیترانه‌ی بر روندهای ذوب برف در منطقه‌ی مورد مطالعه، رابطه‌ی ۲۳ برقرار گردید.

$$MESI_{T=1:N} = \sum_{l=25}^{N=45} [\overline{H_{10}} \dots \overline{H_{52.5}}] - MESI_{T=1:10} \sum_{l=25}^{N=45} [\overline{H_{10}} \dots \overline{H_{52.5}}] \quad (23)$$

در رابطه ۲۳ مقادیر بار (-) اول میانگین ماهیانه کل دوره، یعنی از T=1:N روی ۳ نصف‌النهار در نظر گرفته شده، از مقادیر بار (-) اول ۴ دهه به طور جداگانه روی همان نصف‌النهارها تفریق شد. در واقع در رابطه‌ی ۲۳ برای هر کدام از ماه‌های مورد مطالعه ۴ بار میانگین کل ماهیانه ارتفاع موج از میانگین‌های دهه‌ی در ۳ تراز نیواری تفریق می‌شود. بدین صورت که مقادیر موج دارای ۱۷۱ یاخته می‌باشد، اولین یاخته بر روی نصف‌النهار ۱۰ درجه، هشتاد و دومین یاخته بر روی نصف‌النهار ۳۰ درجه و صد و هفتاد و یکمین یاخته بر روی نصف‌النهار ۵۲٫۵ درجه می‌باشد. در نتیجه بعد از این مرحله برای هر تراز نیواری با استفاده از رابطه ۲۳ یک ماتریس ۳ * ۴ که سطر اول آن شامل ۴ یاخته‌ی حاصل از تفریق رابطه‌ی ۲۳ بر روی نصف‌النهار ۱۰ درجه، سطر دوم و سوم نیز ۴ یاخته که به ترتیب نتیجه‌ی تفریق از رابطه‌ی ۲۳ به ترتیب بر روی نصف‌النهار ۳۰ درجه و ۵۲٫۵ درجه می‌باشند، برآورد می‌گردد. در نهایت فرض بر این است که تغییراتی در موج مدیترانه‌ی بادهای غربی به عنوان یکی از عامل‌های همدیدی، اثر گذار در روند ذوب برف در ایران رخ داده باشد.

یافته‌های تحقیق

با عنایت به آنچه که در بحث داده‌ها و روش‌ها بیان گردید، نتایج آزمون من-کندال که بر روی مقادیر ذوب برف در ایران انجام گردید، در جدول (۱) آرایه گردیده است.

جدول ۱: نتایج آزمون من-کندال و تخمین گر شیب سن.

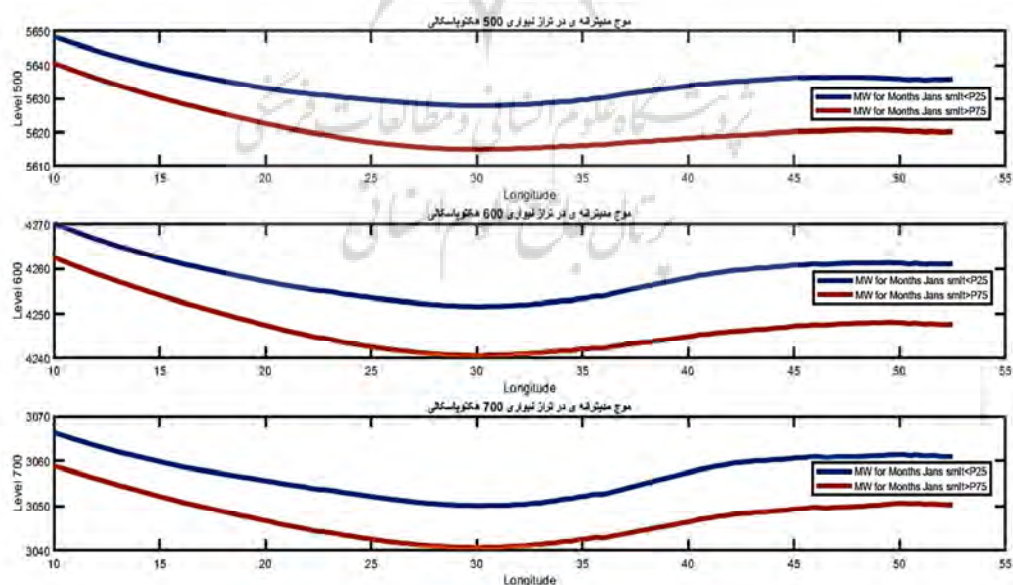
اسامی ماه‌ها	آماره آزمون	آماره بحرانی (آزمون دو دامنه)	میزان تغییرات ماه به ماه (برحسب میلی‌متر)	مقایسه آماره آزمون با آماره بحرانی
ژانویه‌ها	-۴,۳۰۲	۱,۹۶	-۰,۰۰۵۳۸	۱,۹۶ > -۴,۳۰۲
فوریه‌ها	-۳,۷۱۸	۱,۹۶	-۰,۰۰۶۰۵	۱,۹۶ > -۳,۷۱۸
مارس‌ها	-۴,۴۳۷	۱,۹۶	-۰,۰۱۶۳	۱,۹۶ > -۴,۴۳۷
آوریل‌ها	-۳,۵۶۱	۱,۹۶	-۰,۰۰۷۱۵	۱,۹۶ > -۳,۵۶۱
نوامبرها	۰,۵۹۵	۱,۹۶	۰,۰۰۰۳۹	۱,۹۶ < ۰,۵۹۵
دسامبرها	-۲,۸۸۷	۱,۹۶	-۰,۰۰۲۵۳	۱,۹۶ > -۲,۸۸۷

با در نظر گرفتن نتایج آزمون‌های آماری بر روی مقادیر ذوب برف در ایران، به نظر می‌رسد که آب حاصل از ذوب برف در ایران در دوره‌ی سرد سال، در ماه‌های ژانویه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹، دارای روند، و به صورت کاهشی بوده است، بدین معنا که آب حاصل از ذوب برف در هر ماه ژانویه نسبت به ژانویه‌ی در سال قبل از خود، کاهش یافته است. مقدار تغییرات ماه به ماه، در ماه‌های ژانویه که روند به صورت کاهشی بوده است، برابر $۰,۰۰۵$ - میلی‌متر می‌باشد، یعنی در هر سال از ماه‌های ژانویه از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹ این مقدار تغییرات کاهشی در ذوب برف وجود داشته است. در ماه‌های فوریه، نیز شواهد کافی برای پذیرش فرض صفر وجود ندارد، بدین معنا که روند کاهشی در میانگین حاصل از یاخته‌های ذوب برف در ایران وجود دارد، مقدار تغییرات، نیز که به صورت کاهشی می‌باشد، برابر $۰,۰۰۶$ - میلی‌متر می‌باشد. در ماه‌های مارس، آوریل و دسامبر نیز روند ذوب برف معنادار می‌باشد، بدین صورت که روند معنادار کاهشی در این ماه‌ها وجود دارد، که مقدار تغییرات آن‌ها نیز به ترتیب برابر $۰,۰۰۱$ -، $۰,۰۰۷$ - و $۰,۰۰۲$ - میلی‌متر هر ماه نسبت به همان ماه در سال قبل از خود می‌باشد. فقط در ماه نوامبر روند ذوب برف در ایران به صورت افزایشی بوده است، ولی با در نظر گرفتن آماره‌ی آزمون، این روند معنادار نبود، به نظر می‌رسد که می‌توان گفت که روند افزایشی وجود داشته است، ولی این روند معنادار نیست. بر همین اساس با در نظر گرفتن نتایج مطالعاتی که در ارتباط با موج مدیترانه‌ی انجام شده است، ما در این مطالعه از نظر همدیدی این موج را به عنوان یکی از عامل‌های اثرگذار، که دارای ارتباطی با روند تغییرات ذوب برف در ایران است را به عنوان فرضیه مطرح کردیم. در جدول (۲) مقادیر میانگین ذوب برف برای ماه‌های مورد مطالعه که مقدار میانگین ذوب برف آن‌ها کم‌تر و بیش‌تر از صدک ۲۵ و ۷۵ بودند، آورده شده است.

جدول ۲: مقادیر میانگین ذوب برف ماهانه کم تر و بیش تر از صدک های ۲۵ و ۷۵.

دسامبر بر V>75 P	نوامبر V>75P	آوریل V>75P	مارس V>75P	فوریه V>75P	ژانویه V>75P	دسامبر V<25P	نوامبر V<25P	آوریل V<25P	مارس V<25P	فوریه V<25P	ژانویه V<25P
۱۹۸۰	۱۹۸۲	۱۹۸۱	۱۹۸۰	۱۹۷۹	۱۹۷۹	۱۹۸۱	۱۹۷۹	۲۰۰۰	۱۹۹۵	۱۹۹۵	۱۹۹۵
۱۹۸۲	۱۹۸۴	۱۹۸۲	۱۹۸۲	۱۹۸۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۱۹۸۵	۲۰۰۱	۲۰۰۱	۱۹۹۷	۱۹۹۷
۱۹۸۵	۱۹۸۶	۱۹۸۳	۱۹۸۵	۱۹۸۶	۱۹۸۱	۱۹۹۶	۱۹۹۰	۲۰۰۵	۲۰۰۲	۲۰۰۱	۲۰۰۱
۱۹۸۶	۱۹۸۹	۱۹۸۷	۱۹۸۶	۱۹۸۸	۱۹۸۲	۱۹۹۸	۱۹۹۱	۲۰۰۶	۲۰۰۶	۲۰۰۴	۲۰۰۲
۱۹۸۷	۱۹۹۳	۱۹۸۸	۱۹۸۸	۱۹۹۰	۱۹۸۵	۲۰۰۵	۱۹۹۵	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۰۹	۲۰۰۹
۱۹۸۹	۱۹۹۴	۱۹۸۹	۱۹۸۹	۱۹۹۱	۱۹۹۰	۲۰۰۸	۱۹۹۸	۲۰۱۰	۲۰۱۰	۲۰۱۰	۲۰۱۰
۱۹۹۱	۲۰۰۹	۱۹۹۰	۱۹۹۰	۱۹۹۳	۱۹۹۱	۲۰۱۰	۲۰۰۲	۲۰۱۱	۲۰۱۳	۲۰۱۳	۲۰۱۲
۱۹۹۲	۲۰۱۱	۱۹۹۲	۱۹۹۱	۱۹۹۶	۱۹۹۳	۲۰۱۱	۲۰۰۷	۲۰۱۳	۲۰۱۵	۲۰۱۵	۲۰۱۵
۱۹۹۳	۲۰۱۴	۱۹۹۳	۱۹۹۸	۱۹۹۸	۱۹۹۶	۲۰۱۷	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۶	۲۰۱۷
۲۰۰۱	۲۰۱۸	۱۹۹۷	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۱۴	۲۰۱۸	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۱۸
۰,۱۸۸	۰,۰۷۴	۰,۳۴۰	۰,۷۲۶	۰,۴۵۲	۰,۲۸۰	۰,۰۹۱	۰,۰۲۵	۰,۱۰۳	۰,۲۷۶	۰,۲۴۶	۰,۱۳۴
صدک های ۷۵ مقادیر میانگین مشاهدات ذوب برف						صدک های ۲۵ مقادیر میانگین مشاهدات ذوب برف					

در جدول ۱ سال های ماه های را که مقدار میانگین ذوب برف آن ها کمتر از صدک ۲۵ و بیش تر از صدک ۷۵ بوده است مشخص گردیده اند. V در جدول به معنای معنی داری و P به معنای صدک مورد نظر می باشد. در همین راستا شکل (۴) و جدول (۳) برای ارزیابی تغییرات ارتفاع موج در ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی در ماه های ژانویه که مقدار ذوب برف کم تر و بیش تر از صدک ۲۵ و ۷۵ داشته اند، آورده شده است.



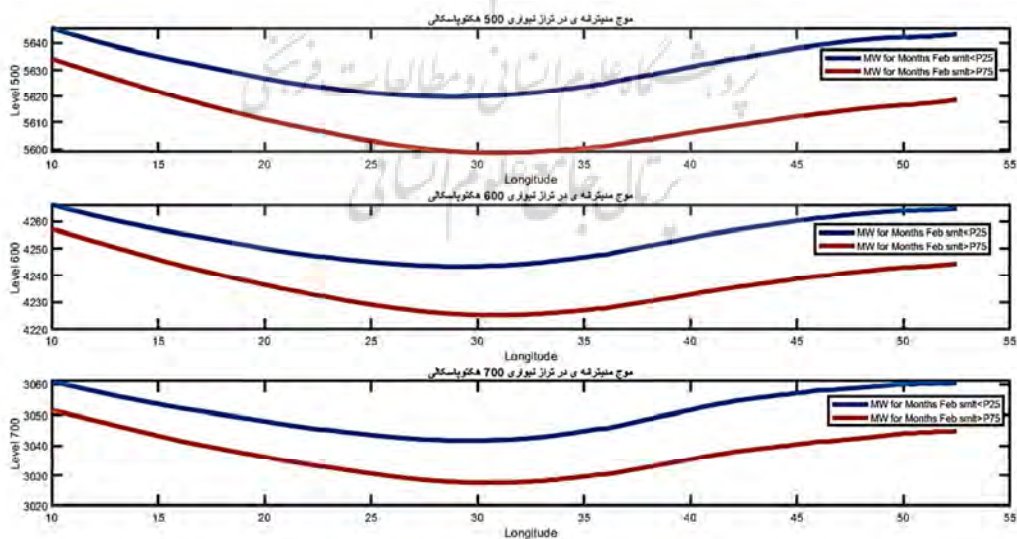
شکل ۴: وضعیت موج مدیترانه ای در ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی در ماه های ژانویه با مقادیر میانگین ذوب برف کم تر و بیش تر از صدک ۲۵ و ۷۵.

با عنایت به شکل ۴ می‌توان گفت که موج مدیترانه‌ای در ماه‌های ژانویه‌ی که مقدار میانگین ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ و بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده‌اند، رفتاری به مانند هم دارند. موج آبی رنگ برای ماه‌های که کم‌تر از صدک ۲۵ و موج قرمز رنگ برای ماه‌های که مقدار ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده‌اند می‌باشد. در همین راستا در جدول (۳) محاسبات مربوط به این شکل بر اساس شاخص همدیدی خاورمیانه‌ی آورده شده است.

جدول ۳: محاسبات موج مدیترانه‌ای بر اساس شاخص MESI در ماه‌های ژانویه ($V < P25$ و $V > P75$) بر حسب متر.

تراز نیواری	MESI برای $V < P25$	آستانه	MESI برای $V > P75$
۵۰۰	۱۴,۲۷۲	۱۴,۸۶۵	۱۵,۴۵۸
۶۰۰	۱۴,۰۲۹	۱۴,۲۳۳	۱۴,۴۳۸
۷۰۰	۱۳,۴۶۶	۱۳,۶۹۶	۱۳,۹۲۶

آنچنان که در جدول ۳ و با در نظر گرفتن شکل ۴ در ترازهای مختلف میانی نیوار مشاهده می‌شود، موج مدیترانه‌ی شکل گرفته است، منتها مقدار محاسبه‌ی شاخص MESI در هر ۳ تراز میانی نیوار در ماه‌های ژانویه که مقدار میانگین ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ بوده است، کم‌تر از آستانه و در مقابل در ماه‌های ژانویه که مقدار ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده است، مقادیر شاخص بیش‌تر از آستانه می‌باشد. با توجه به شکل ۵، به نظر می‌رسد، که از نظر همدیدی موج مدیترانه‌ی بادهای غربی دارای ارتباط با ماه‌های فوریه‌ی که مقدار ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵ داشته‌اند، است، در موج‌های آبی‌رنگ که مربوط به ماه‌های است که مقدار میانگین ذوب برف در منطقه‌ی مورد مطالعه کم‌تر از صدک ۲۵ بوده است، تغییرات ارتفاعی هر دو فراز در موج نسب به فرود در موج، همانند بالا نیست، بدین معنا که الگوی همدیدی موج آنچنان به ارتفاع‌های نیواری پایین کشیده نشده است.



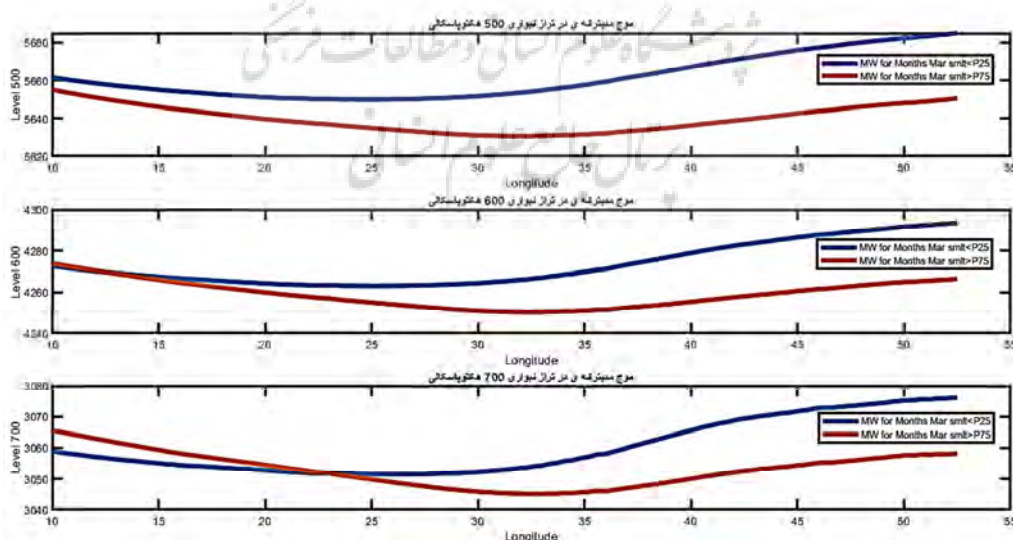
شکل ۵: وضعیت موج مدیترانه‌ای در ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی ماه‌های فوریه با مقادیر میانگین ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵.

در همین راستا در جدول (۴) محاسبات مربوط به MESI در ماه‌های فوریه بیان گردیده است. در ماه‌های فوریه در ترازهای میانی نیوار، موج بادهای غربی بر اساس MESI در ماه‌های فوریه‌ی که از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹ مقادیر میانگین ذوب برف آن‌ها بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده، از آستانه به دست آمده بالاتر و از طرف دیگر برای آن ماه‌های فوریه‌ی که ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ بوده است، مقادیر MESI کم‌تر از آستانه می‌باشد.

جدول ۴: محاسبات موج مدیترانه‌ی بر اساس شاخص MESI در ماه‌های فوریه ($V < P25$ و $V > P75$) بر حسب متر.

تراز نیواری	MESI $V < P25$	برای	آستانه	MESI $V > P75$	برای
۵۰۰	۲۴,۴۷۴		۲۶,۰۸۸	۲۷,۷۰۲	
۶۰۰	۲۱,۹۲۲		۲۳,۸۰۵	۲۵,۶۸۸	
۷۰۰	۱۸,۹۹۸		۱۹,۸۱۹	۲۰,۶۴۱	

از همین رو به نظر می‌رسد که موج بادهای غربی بر روی مدیترانه با مقادیر ذوب برف در ایران در ماه‌های فوریه دارای ارتباط است. شکل ۶ و جدول ۵ برای ارزیابی تغییرات موج مدیترانه‌ی و ارتباط آن با مقادیر ذوب برف در ماه‌های مارس نشان می‌دهند که مقادیر MESI هم در ماه‌های مارس که مقادیر میانگین ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ و بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده‌اند، بسیار نزدیک به هم است. موج بادهای غربی با در نظر گرفتن شکل ۶ یک ویژگی را آشکار می‌کند، در تمام موج‌های در شکل ۶ که به رنگ آبی هستند، بادهای غربی بر روی نصف‌النهار ۱۰ نسبت به نصف‌النهار ۳۰ ارتفاع بالای ندارند، بدین معنا که تعادل موج در زمانی که بادهای غربی از عرض‌های میانی بر روی مدیترانه جریان داشته‌اند، وجود ندارد، یعنی زمانی که بادهای غربی به صورت یک موج بر روی دریای مدیترانه می‌افتند، انتظار بر این است، زمانی که پایین می‌آیند، و دوباره بالا می‌روند، حداقل نه شاید به اندازه‌ی پایین آمدن، بلکه نصف ارتفاع پایین آمدن را در بالا رفتن نیز داشته باشند.



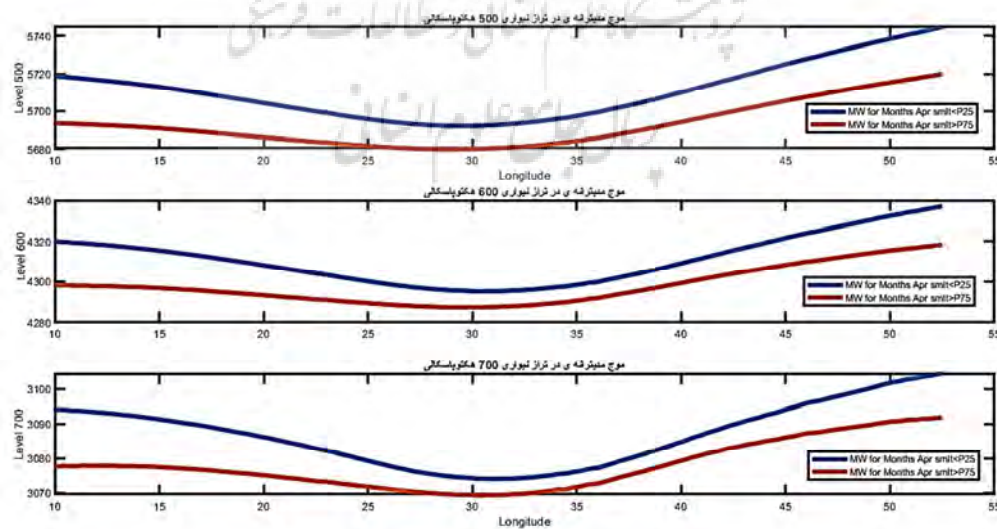
شکل ۶: وضعیت موج مدیترانه‌ی در ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی ماه‌های مارس با مقادیر میانگین ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵.

یکی از حالت‌های که در موج مدیترانه در ماه‌های مارس که مقدار ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ بوده است، این است که سمت راست موج در شکل ۶ دارای ارتفاع بالایی است، در حالی که ارتفاع فرود نسبت به ارتفاع فراز روی نصف‌النهار ۱۰ بسیار نزدیک به هم است. علاوه بر این در جدول ۵ محاسبات مربوط به MESI در این ماه آورده شده است. نتایج در جدول ۵ نشان می‌دهد که در هر سه تراز ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی مقادیر تغییرات موج با استناد به شاخص همدیدی خاورمیانه‌ی در ماه‌های که مقادیر میانگین ذوب برف بالاتر و پایین‌تر از صدک‌های ۷۵ و ۲۵ بوده‌اند، نیز بالاتر و پایین‌تر از آستانه هستند.

جدول ۵: محاسبات موج مدیترانه‌ی بر اساس شاخص MESI در ماه‌های مارس ($V < P25$ و $V > P75$) بر حسب متر.

تراز نیواری	MESI $V < P25$	برای	آستانه	MESI $V > P75$	برای
۵۰۰	۲۱,۶۰۸		۲۱,۶۱۸	۲۱,۶۲۸	
۶۰۰	۱۸,۵۷۸		۱۸,۸۵۳	۱۹,۱۲۹	
۷۰۰	۱۵,۲۶۵		۱۵,۶۴۸	۱۶,۰۳۰	

بنابراین به نظر می‌رسد که در ماه‌های مارس نیز ارتباطی بین موج مدیترانه‌ی بادهای غربی با مقادیر ذوب برف در ایران وجود دارد. از همین رو وضعیت موج در ماه‌های آوریل در شکل ۷ و جدول ۶ نمایان گردیده است. موج‌های آبی رنگ (مقادیر ذوب برف در ماه‌های آوریل، بیش‌تر از صدک ۷۵) در شکل ۷ و مقایسه‌ی آن با موج‌های آبی رنگ ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس در شکل‌های ۶، ۵ و ۴ نشان می‌دهد که بالاترین ارتفاع موج بر روی نصف‌النهار ۵۲٫۵ درجه می‌باشد، این بدان معناست که عاملی در نیوار ایران به عنوان عاملی مانع از ورود موج مدیترانه‌ی بادهای غربی شده است، زیرا که موج در ماه‌های آوریل در سمت راست خود بالاترین ارتفاع را گرفته است.

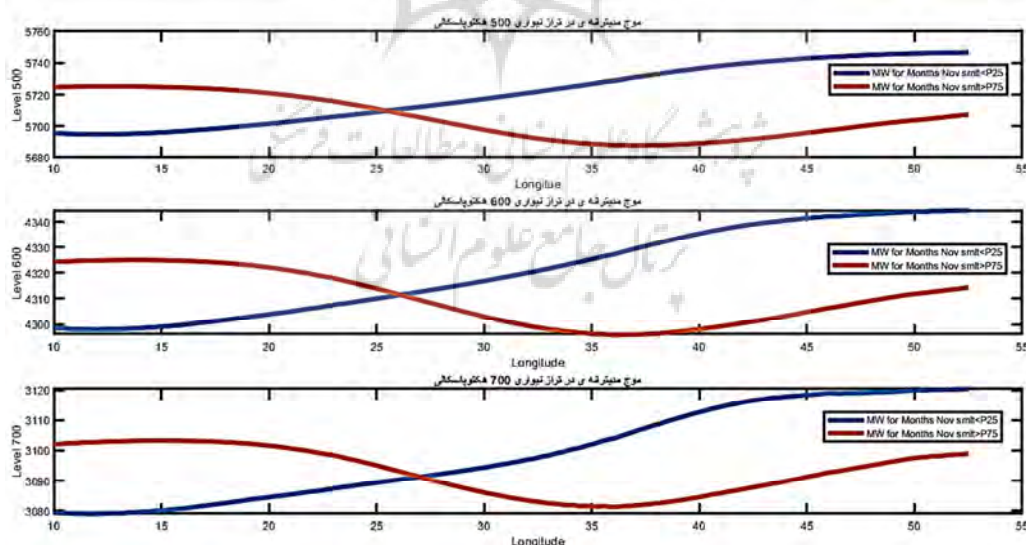


شکل ۷: وضعیت موج مدیترانه‌ی در ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی در ماه‌های آوریل با مقادیر میانگین ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵.

وضعیت موج مدیترانه‌ای در شکل ۷ در هر ۳ تراز میانی نیوار، طوری است که موج چه در ماه‌های آوریل که میانگین مقدار ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ و بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده است، از لحاظ الگوی هم‌مدیدی به مانند هم‌اند، ولی ارتباطی که بنابر تعریف شاخص انتظار می‌رفت برقرار باشد، وجود ندارد. آنچنان که در جدول ۶ نمایان است، جدول ۶: محاسبات موج مدیترانه‌ای بر اساس شاخص MESI در ماه‌های آوریل ($V < P25$ و $V > P75$) بر حسب m.

تراز نیواری	MESI $V < P25$ برای	آستانه	MESI $V > P75$ برای
۵۰۰	۳۹,۷۴۰	۳۳,۲۵۷	۲۶,۷۷۴
۶۰۰	۳۳,۳۰۴	۲۷,۱۶۸	۲۱,۰۳۱
۷۰۰	۲۵,۰۹۰	۲۰,۲۵۵	۱۵,۴۲۱

مقادیر MESI در هر دو حالت، کم‌تر از صدک ۲۵ و بیش‌تر از صدک ۷۵ الگوی موج وجود داشته است، با این حال ارتباط معناداری بین میانگین مقادیر ذوب برف که کم‌تر از صدک ۲۵ و بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده‌اند، با مقادیر شاخص MESI وجود ندارد. آنچه که در این ماه‌ها از مقادیر در جدول ۶ می‌توان برداشت نمود، این است که مقادیر ذوب برف در ماه‌های آوریل کم‌تر از صدک ۲۵ بالاتر از آستانه هستند، و در مقابل مقادیر ماه‌های که ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده است، پایین‌تر از آستانه‌اند. در ماه‌های نوامبر که مقادیر میانگین ذوب برف از صدک ۲۵ کم‌تر بوده‌اند، وضعیت موج بادهای غربی بر روی مدیترانه به گونه‌ای است که حالت پُشته (ریج) بر روی نصف‌النهار ۳۰ افتاده است، موج آبی رنگ در شکل ۸ در هر ۳ تراز نیواری این ویژگی را آشکار می‌کند.



شکل ۸: وضعیت موج مدیترانه‌ای در ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی در ماه‌های نوامبر با مقادیر میانگین ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵.

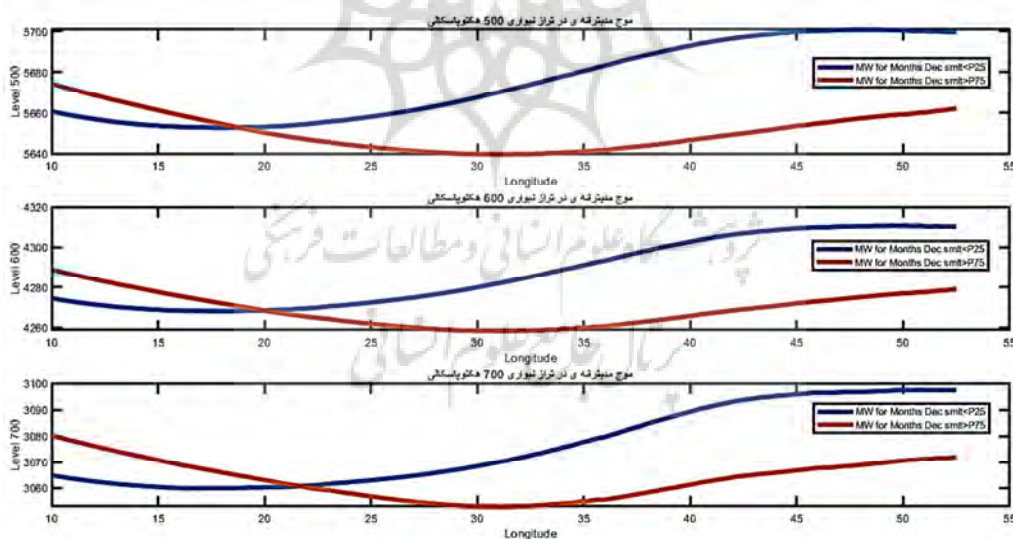
این حالت به طوری است که موج حاصل از بادهای غربی از عرض‌های میانی سیاره‌ی زمین (منطقه‌ی برون حاره) به سمت مناطق پایین‌تر جریان نداشته‌اند، یعنی مقدار ارتفاع روی نصف‌النهار ۱۰ نسبت به ارتفاع روی ۳۰ بسیار پایین

است. برعکس این حالت در ماه‌های که مقدار میانگین ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده‌اند، رخ داده است. در جدول ۷ معناداری این ارتباط با MESI برآورد گردیده است.

جدول ۷: محاسبات موج مدیترانه‌ی بر اساس شاخص MESI در ماه‌های نوامبر ($V < P25$) و $V > P75$) بر حسب متر.

تراز نیواری	MESI برای $V < P2$	آستانه	MESI برای $V > P75$
۵۰۰	۳,۸۰۳	۱۱,۱۳۹	۱۸,۴۷۶
۶۰۰	۴,۶۶۱	۱۰,۵۱۱	۱۶,۳۶۱
۷۰۰	۱۲,۸۹۰	۱۴,۴۰۳	۱۵,۹۱۷

آستانه‌های در جدول ۷ نشان می‌دهند، که در ۳ تراز میانی نیوار موج مدیترانه‌ی دارای ارتباط با ماه‌های نوامبری که مقادیر ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵ بوده‌اند، است. به طوری که در زمانی که میانگین مقادیر ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ بوده است، موج نیز MESI‌های کم‌تر از آستانه، و بر عکس در مقابل حالت دیگر MESI‌های بیش‌تر از آستانه داشته است. ارزیابی ارتباط موج مدیترانه‌ی بادهای غربی با مقادیر میانگین ذوب برف، در ماه‌های دسامبر نیز نشان می‌دهد، الگوی همدیدی موج مدیترانه‌ی در ماه‌های دسامبر نیز چه برای زمانی که مقادیر میانگین ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ و چه زمانی که بیش‌تر از صدک ۷۵ بوده‌اند، شبیه به ماه‌های نوامبر می‌باشد.



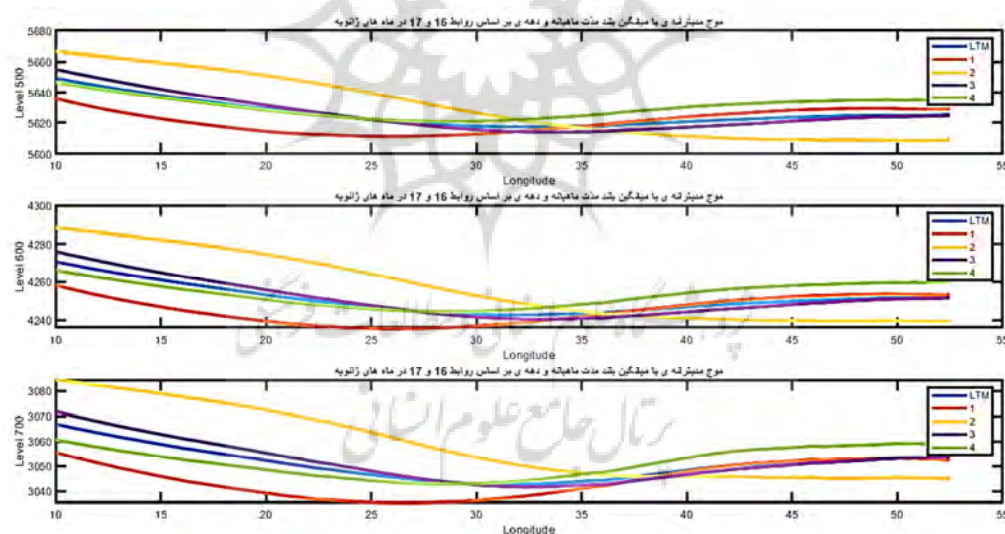
شکل ۹: وضعیت موج مدیترانه‌ی در ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی در ماه‌های نوامبر با مقادیر میانگین ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵.

اما مقدار تغییرات MESI آن با ماه‌های نوامبر تفاوت دارد. در موج آبی رنگ که در شکل ۹ در ترازهای مختلف نیوار وجود دارد، حالت پُشته مانند در شرق دریای مدیترانه به عنوان یک ویژگی، و پایین بودن ارتفاع موج روی نصف‌النهار ۱۰ به عنوان ویژگی دیگری مطرح است. که نتایج محاسبات آن در جدول ۸ نشان داده شده است.

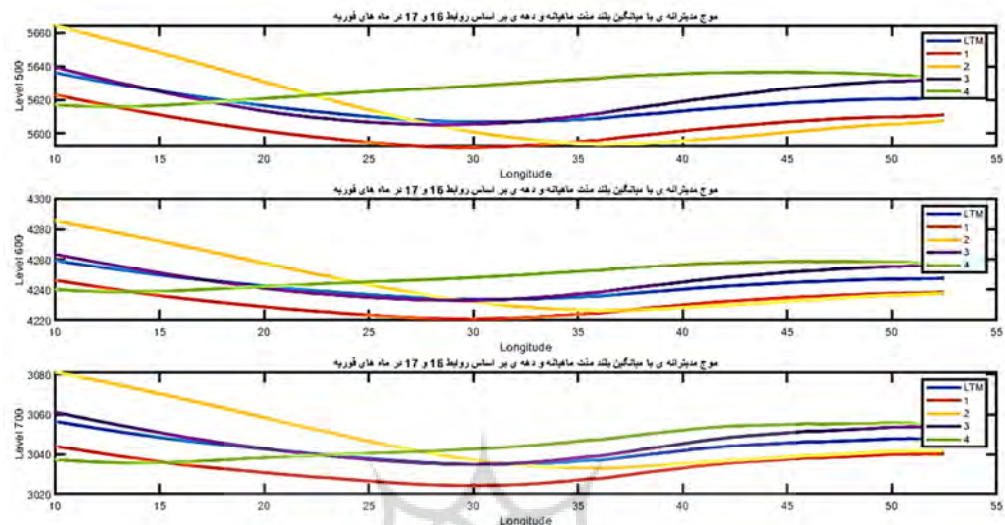
جدول ۸: محاسبات موج مدیترانه‌ای بر اساس شاخص MESI در ماه‌های دسامبر ($V < P25$ و $V > P75$) بر حسب متر.

تراز نیواری	MESI برای $V < P25$	آستانه	MESI برای $V > P75$
۵۰۰	۱۲,۶۲۸	۲۰,۴۴۲	۲۸,۲۵۷
۶۰۰	۱۲,۴۳۲	۱۸,۹۸۵	۲۵,۵۳۸
۷۰۰	۱۲,۶۲۹	۱۷,۸۳۲	۲۳,۰۳۶

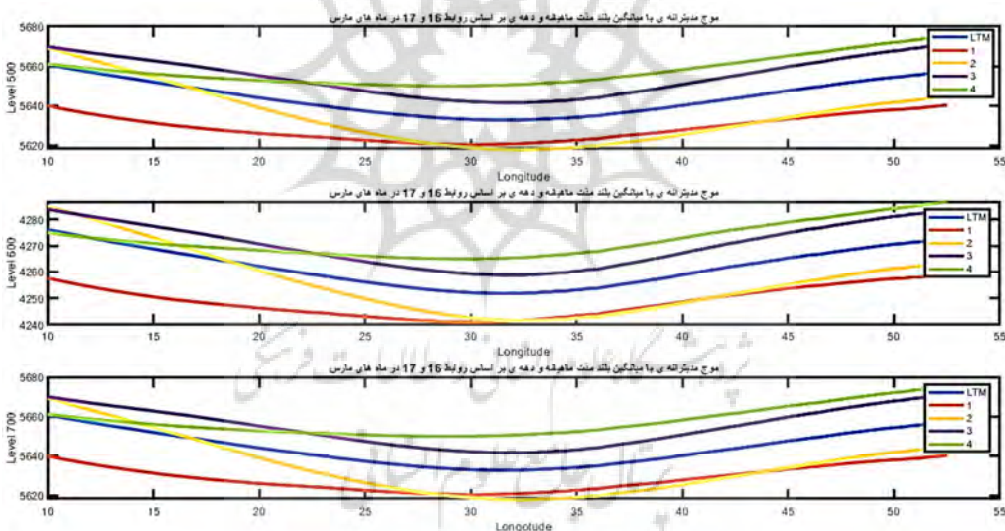
با استناد به نتایج حاصل از مقادیر MESI، به نظر می‌رسد که ارتباط معناداری بین موج بادهای غربی در مدیترانه با دوره‌های ماهانه‌ی ماه‌های دسامبری که مقادیر میانگین ذوب برف آن‌ها کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵ بود، با مقایسه‌ی آن‌ها با آستانه، وجود دارد. این ارتباط به صورتی است که مقدار MESI در هر کدام از ترازهای میانی نیوار باید از آستانه تعریف شده، بالاتر در دوره‌های که مقدار میانگین ذوب برف بیش‌تر از صدک ۷۵، و پایین‌تر از آستانه در ماه‌های که مقدار میانگین ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ مقادیر بوده‌اند، باشد. در راستای ارزیابی تغییرات موج مدیترانه‌ی و اثرگذاری آن بر روند ذوب برف در ایران، نگاره‌های ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ برای تغییرات این موج با استناد به شاخص MESI در رابطه‌های ۲۱، ۲۲ و ۲۳ برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر آورده شده است.



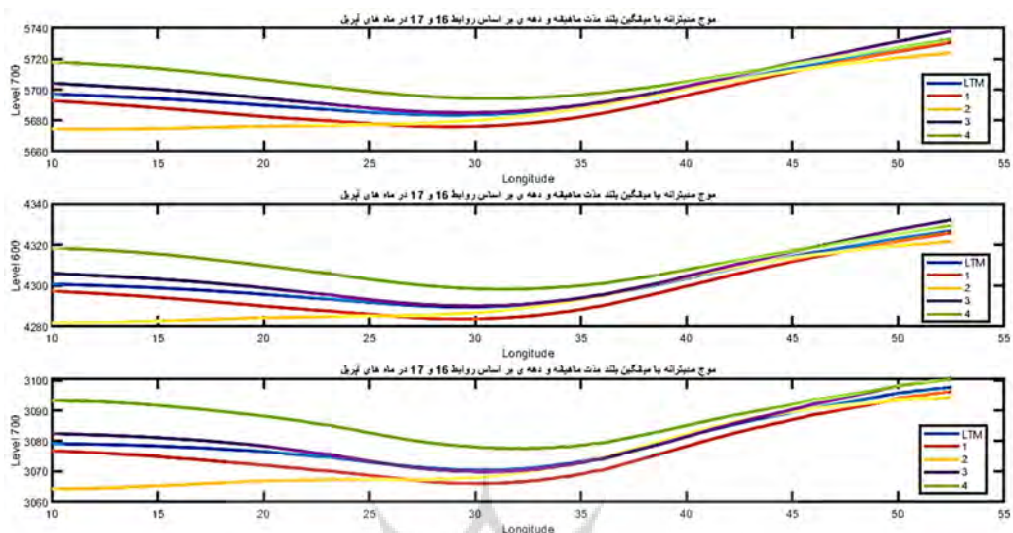
شکل ۱۰: تغییرات موج مدیترانه‌ی در ماه‌های ژانویه.



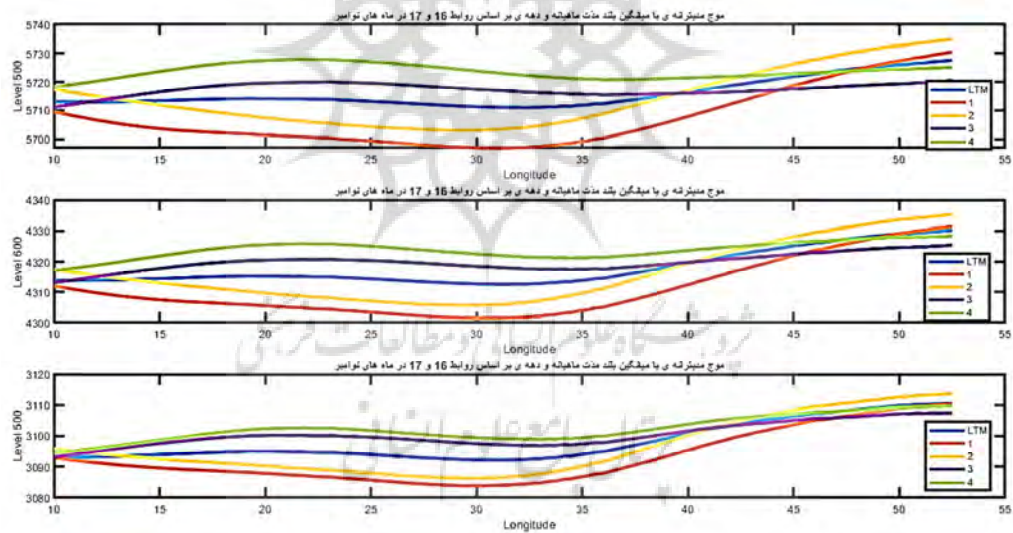
شکل ۱۱: تغییرات موج مدیترانه‌ای در ماه‌های فوریه.



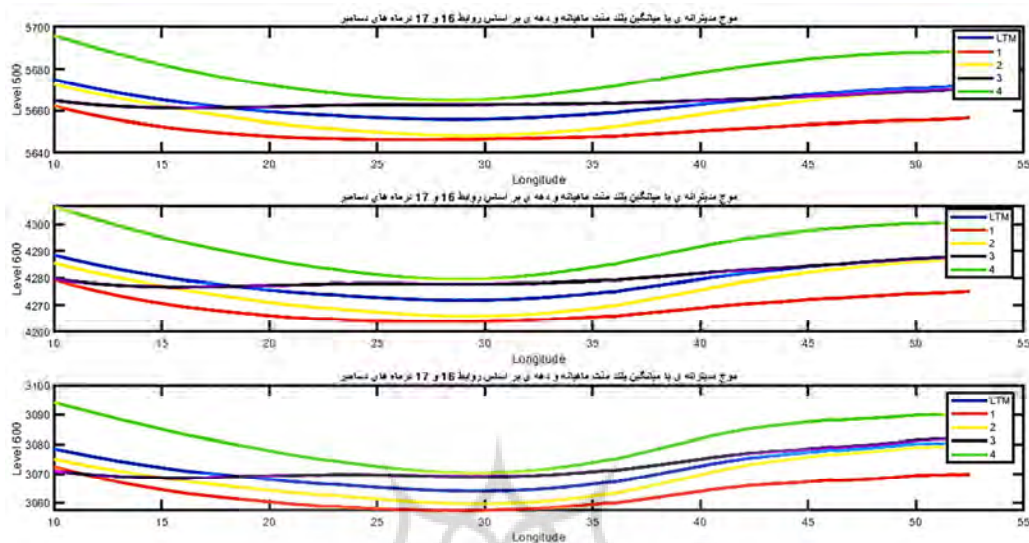
شکل ۱۲: تغییرات موج مدیترانه‌ای در ماه‌های مارس.



شکل ۱۳: تغییرات موج مدیترانه‌ی در ماه‌های آوریل.



شکل ۱۴: تغییرات موج مدیترانه‌ی در ماه‌های نوامبر.



شکل ۱۵: تغییرات موج مدیترانه‌ای در ماه‌های دسامبر.

در تمامی شکل‌های ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵، به ترتیب، LTM، ۱، ۲، ۳ و ۴ برابر با میانگین بلند مدت ماهیانه، میانگین ماهانه از ۱۰ ساله‌ی اول، دوم، سوم و چهارم می‌باشد. LTM برای هر کدام از ماه‌های سال، از ماه اول سال ۱۹۷۹ تا همان ماه در سال ۲۰۱۹ می‌باشد، در حالی که میانگین‌های دهه‌ها به طور یکنواخت برابر ۱۰ ماه از سال‌ها می‌باشد. آنچنان که مشخص است، موج مدیترانه‌ی بادهای غربی در هر سه تراز میانی نیوار در دهه‌ی چهارم، برای تمامی ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر در شرق دریای مدیترانه و با در نظر گرفتن نصف‌النهار ۳۰ طول شرقی در شاخص MESI در رابطه‌ی ۲۱ نسبت به LTM در رابطه‌ی ۲۲ مقدار ارتفاع بیش‌تری یافته است، این ارتفاع بیش‌تر در روی این نصف‌النهار در محل فرود موج بادهای غربی بر روی مدیترانه، به نظر می‌رسد که به عنوان نمایه‌ی از تغییر در موج مدیترانه‌ی که در ذوب برف اثرگذار است، مطرح باشد. آنچه که در شکل‌های بالا نمایان است، این است که نه فقط در دهه‌ی چهارم، این الگوی که به عنوان یک نمایه‌ی از تغییر در موج رخ داده است، بلکه در ماه‌های مارس، نوامبر، دسامبر و آوریل در دهه‌ی سوم نیز رخ داده است، بدین معنا که از دهه‌ی سوم از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ به صورت یک روند افزایشی مشخص ارتفاع موج مدیترانه‌ی بادهای غربی در روی نصف‌النهار ۳۰ درجه طول شرقی نسبت به میانگین ماهیانه کل در روی همان نصف‌النهار بالاتر رفته است، از نظر همدیدی، به نظر می‌رسد که فرود، به حالت فراز تبدیل شده است. که این دارای پیامدهای از تغییر در رفتار موج به عنوان یکی از عامل‌های اثرگذار در ذوب برف و آب‌وهوای سرزمین ایران است. شواهد نشان می‌دهد، که تغییراتی در موج مدیترانه‌ی رخ داده است. در جدول زیر مقادیر این تغییرات با استناد به رابطه ۲۳ بیان گردیده است.

جدول ۹: مقادیر حاصل از MESI در رابطه ۲۲ در تراز ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی.

ژانویه	$\overline{H_{10}L500}$	$L500 H_{30}$	$L500 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L600$	$L600 H_{30}$	$L600 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L700$	$L700 H_{30}$	$L700 \overline{H_{52.5}}$
۱	۱۳,۳۵	۵,۰۳	-۳,۶۵	۱۲,۴۸	۵,۸۹	-۱,۵۷	۱۱,۳۶	۶,۶	۰,۳۱
۲	-۱۷,۲۲	-۸,۷۳	۱۶,۴۱	-۱۷,۶۷	-۹,۸۳	۱۲,۱۶	-۱۷,۵۳	-۱۰,۶۳	۷,۸۵
۳	-۵,۷	۲,۲۸	۰,۴۹	-۵,۲۸	۱,۳۹	-۰,۰۲	-۴,۹۴	۰,۴۱	-۰,۷۴
۴	۲,۶۲	-۳,۲۳	-۱۰,۳۳	۴,۵۵	-۱,۶	-۸,۴۹	۶,۱۸	-۰,۰۶	-۶,۲
فوریه	$\overline{H_{10}L500}$	$L500 H_{30}$	$L500 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L600$	$L600 H_{30}$	$L600 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L700$	$L700 H_{30}$	$L700 \overline{H_{52.5}}$
۱	۱۳,۴۶	۱۴,۷۷	۱۰,۳۲	۱۳,۱۵	۱۲,۷۲	۹,۲۳	۱۲,۴۹	۱۰,۶۸	۷,۸
۲	-۲۸,۰۴	۵,۸۸	۱۳,۶۸	-۲۶,۳۵	۱,۶۲	۹,۹	-۲۴,۶	-۲,۱۳	-۶,۰۱
۳	-۳۰,۷	۱,۳۱	-۱۱,۵۱	-۴,۰۱	۰,۶۴	-۸,۸۵	-۴,۶۴	۰	-۶,۱۲
۴	۱۹,۴۱	-۲۱,۴۴	-۱۲,۴۴	۱۹,۲۴	-۱۴,۲۳	-۱۰,۰۸	۱۹,۲۲	-۷,۶۸	-۷,۴۶
مارس	$L \overline{H_{10}500}$	$500 H_{30}$	$500 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L600$	$L600 H_{30}$	$L600 \overline{H_{52.5}}$	$L700 H_{10}$	$L700 \overline{H_{30}}$	$L700 \overline{H_{52.5}}$
۱	۲,۹۲	۱۲,۶۳	۱۷,۲۶	۱۸,۵۶	۱۱,۱۲	۱۳,۸۷	۱۵,۸۱	۹,۴	۱۰
۲	-۸,۳۸	۱۴,۱۴	۱۲,۶۷	-۸,۹۴	۹,۵۵	۹,۳۷	-۹,۵۵	۵,۴۶	۵,۷۹
۳	-۹,۱۳	-۸,۹۷	-۱۳,۸۸	-۷,۷	-۷,۱۱	-۱۰,۹۳	-۵,۸۱	-۵,۱۲	-۷,۲۲
۴	-۰,۲۹	-۱۶,۹۴	-۱۸,۰۲	۱,۲	-۱۲,۸۴	-۱۳,۹۴	۲,۵۲	-۹,۱	-۹,۷۲
آوریل	$\overline{H_{10}L500}$	$500 H_{30}$	$500 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L600$	$L600 H_{30}$	$L600 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L700$	$L700 H_{30}$	$L700 \overline{H_{52.5}}$
۱	۴,۳۴	۷,۴۶	۰,۰۴	۳,۳۸	۵,۸۶	۰,۹۴	۲,۴۴	۴,۴	۱,۴۲
۲	۲۲,۷	۳,۵۴	۶,۹۷	۱۸,۹۵	۲,۸۵	۵,۲۱	۱۴,۸۵	۲,۴۴	۳,۳۳
۳	-۶,۹۹	-۱,۴	-۷,۳۷	-۵,۱۶	-۰,۴۱	-۵,۳۴	-۳,۳۵	۰,۵۷	-۲,۰۳
۴	-۲۰,۸۱	-۱۰,۷	-۲,۱	-۱۷,۶۷	-۸,۹۵	-۲,۵۹	-۱۴,۲۸	-۷,۵۳	-۲,۷۴
نوامبر	$\overline{H_{10}L500}$	$500 H_{30}$	$500 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L600$	$600 H_{30}$	$L600 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L700$	$L700 H_{30}$	$L700 \overline{H_{52.5}}$
۱	۳,۵۱	۱۴,۲۴	-۲,۸۶	۱,۸۵	۱۱,۲۴	-۱,۲۹	۰,۰۴	۸,۳۵	۰,۰۶
۲	-۴,۴۳	۸,۱۷	-۷,۲۵	-۳,۶۴	۷,۰۱	-۵,۱۵	-۲,۷۷	۵,۹۲	-۳,۱۹
۳	۱,۹۳	-۶,۱۶	۷,۰۹	۰,۸۱	۵,۸	۴,۷۴	-۰,۱۴	-۵,۲۸	۲,۹۴
۴	-۵,۲۶	-۱۲,۶۲	۲,۴۷	-۳,۲۲	-۹,۸۵	۱,۷۷	-۱,۳۶	-۷,۲۴	۰,۸۸
دسامبر	$\overline{H_{10}L500}$	$500 H_{30}$	$500 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L600$	$600 H_{30}$	$L600 \overline{H_{52.5}}$	$H_{10}L700$	$700 H_{30}$	$L700 \overline{H_{52.5}}$
۱	۱۲,۵۴	۹,۲۶	۱۵,۴۷	۸,۹۳	۷,۸۸	۱۲,۹	۶,۰۷	۶,۶۸	۱۰,۷۸
۲	۲,۰۹	۷,۶۴	۱,۱۹	۲,۹۹	۶,۰۲	۰,۹۹	۳,۵۵	۴,۴۸	۱,۰۶
۳	۱۰,۰۱	-۶,۹۵	۱,۲۶	۸,۷۹	-۵,۹۵	-۰,۲۹	۷,۵۳	-۵,۰۳	-۱,۶۹
۴	-۲۱	-۹,۴	-۱۶,۷۳	-۱۸,۰۷	-۷,۷۲	-۱۲,۷۵	-۱۵,۴۹	-۶,۲۵	-۹,۵۹

با در نظر گرفتن مقادیر در جدول ۹، موج مدیترانه‌ای بادهای غربی اگر بر روی نصف‌النهارهای ۱۰ و ۵۲,۵ در هر کدام از ۴ دهه نسبت به میانگین کل مقادیر منفی بالا داشته باشند، بیانگر بالا بودن ارتفاع موج بادهای غربی بر روی فرازهای موج می‌باشد، که این ویژگی نشان از این است که بادهای غربی از عرض‌های جغرافیایی بالاتری به سمت عرض‌های پایین‌تر بر روی دریای مدیترانه جریان دارند (ارتفاع بالا بر روی نصف‌النهار ۱۰)، از طرف دیگر مقادیر مثبت

در جدول بر روی همان دو نصف‌النهار ۱۰ و ۵۲٫۵ درجه نشانگر آن است که هر کدام از ۴ دهه نسبت به میانگین بلند مدت خود آن ماه‌ها بر روی فرازهای موج ارتفاع کم‌تری دارند. بالاترین ارتفاع موج مدیترانه‌ی بادها غربی بر روی نصف‌النهار ۱۰ نسبت به میانگین بلند مدت خود در ماه‌های فوریه در دهه‌ی دوم دارای مقادیر ۲۸٫۴-، ۲۶٫۲۵- و ۲۴٫۶- به ترتیب در ترازهای نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی می‌باشد. در همین راستا در ماه‌های ژانویه در هر ۳ تراز نیواری بر روی نصف‌النهار ۱۰ ارتفاع موج در دهه‌های دوم، سوم و چهارم کاهش یافته است، این کاهش به حدی است که در دهه‌ی چهارم در هر ۳ تراز نیواری مقادیر مثبتی به خود گرفته است. در همین ماه‌های ژانویه بر روی نصف‌النهار ۳۰ درجه در دهه‌ی چهارم مقدار ارتفاع موج بالاتر رفته است. در ماه‌های فوریه وضعیت ارتفاع موج روی نصف‌النهار ۱۰ به نظر می‌رسد که مقادیر ارتفاعی موج در دهه‌ی چهارم نسبت به میانگین بلند مدت خود، مقدار بالای داشته است، در نصف‌النهار ۳۰ درجه‌ی طول شرقی ارتفاع موج از دهه‌ی اول تا دهه‌ی چهارم دارای یک روند مشخص افزایشی به کاهشی (از نظر همدیدی) می‌باشد، به طوری که مقدار آن در دهه‌ی چهارم در هر سه تراز ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ مقادیر ناهنجاری ۲۱٫۴۴-، ۱۴٫۲۳- و ۷٫۶۸- به خود گرفته است. در ماه‌های مارس نیز یک روند خطی افزایشی به کاهشی در مقادیر بر روی نصف‌النهار ۳۰ وجود دارد، به نظر می‌رسد که ارتفاع موج به جای حالت ناوه مانند، در طول چهار دهه به حالت پشته مانند درآمده است. برای ماه‌های مارس با استناد به مقادیر جدول بر روی نصف‌النهار ۳۰ درجه طول شرقی در ترازهای ۵۰۰ و ۶۰۰ هکتوپاسکالی نیز ناهنجاری مثبت می‌باشد. در ماه‌های آوریل نیز این قابل ارزیابی است، بدین حالت که ارتفاع موج در ناوه شرق دریای مدیترانه در طول چهار دهه‌ی گذشته در ترازهای نیواری مختلف بالا رفته است، که این ویژگی بر خلاف فرضیه‌ی پذیرفته شده از شکل و حالت یک فرود در موج است. بر همین اساس ماه‌های نوامبر نیز که در ۴ دهه تقسیم شده بودند، بر روی نصف‌النهار ۳۰ درجه حالتی که برای ماه‌های دیگر رخ داده بود، نیز در ماه‌های نوامبر رخ داده است، مقادیر ناهنجاری حاصل از تفریق دهه‌ی چهارم از میانگین بلند مدت روی نصف‌النهار ۳۰ درجه در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ برابر ۱۲٫۶۲-، ۹٫۸۵- و ۷٫۲۴- متر می‌باشند. ماه‌های دسامبر هر کدام از ۴ دهه نیز روی نصف‌النهارهای شرق دریای مدیترانه به همین حالت‌اند. با استناد به شواهد حاصل از پژوهش، به نظر می‌رسد که موج مدیترانه‌ی بادهای غربی به عنوان یکی از عامل‌های اثرگذار در آب‌وهوای ایران دچار تغییراتی شده است، این تغییرات از یک طرف بر روی نصف‌النهارهای ۱۰ و ۵۲٫۵ درجه به عنوان فرازهای یک موج، و از طرف دیگر بر روی ۳۰ درجه به عنوان فرود موج نمایان است. تغییرات رخ داده در طول دو دهه‌ی اخیر و به خصوص در طول یک دهه گذشته، اول باعث پایین بودن ارتفاع موج بر روی فرازهای مورد مطالعه و دوم بالا بودن ارتفاع موج بر روی فرود شده است.

نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش واکاوی روند تغییرات ذوب برف در ایران و اثرپذیری آن از تغییرات موج مدیترانه‌ی بادهای غربی می‌باشد. از همین رو داده‌های ماهانه ذوب برف و ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر با قدرت تفکیک ۰٫۲۵*۰٫۲۵ درجه از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت هوا (ECMWF) نسخه‌ی (Era5) دریافت شد. بر همین اساس مقادیر یاخته‌های

بازکاو شده ذوب برف در محدوده‌ی سرزمین ایران استخراج شد و مقیاس اندازه‌گیری آن‌ها به میلی متر تبدیل گشت. در مرحله‌ی اول آزمون‌های ناپرامتریک من - کندال و تخمین‌گر شیب سن بر روی مقادیر میانگین ماهانه ذوب برف در ماه‌های مورد مطالعه انجام شد. با استناد به نتایج حاصل، مقادیر ماهانه ذوب برف در ایران در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و دسامبر دارای روند کاهشی بودند. تنها در ماه نوامبر روند افزایشی در میانگین ذوب برف در ایران وجود داشت، ولی روند حاصل در این ماه از لحاظ آماری معنادار نبود. از همین رو فرضیه‌ی پژوهش بر وجود اثرگذاری تغییرات ارتفاع موج مدیترانه‌ی بادهای غربی در مقادیر ذوب برف در ایران مطرح شد. در گام بعدی ارتباط ارتفاع موج با ماه‌های که ذوب برف کم‌تر و بیش‌تر از صدک‌های ۲۵ و ۷۵ داشتند، واکاوی شد. در همین راستا شاخص همدیدی خاورمیانه‌ی (MESI) جهت واکاوی این ارتباط استفاده شد، که نتایج آن نشان داد بین ارتفاع موج مدیترانه‌ی بادهای غربی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر که مقدار میانگین ذوب برف کم‌تر از صدک ۲۵ و بیش‌تر از صدک ۷۵ داشته‌اند ارتباط وجود دارد. با عنایت به وجود این ارتباط، و روندهای کاهشی در مقادیر میانگین ماهانه ذوب برف، فرضیه‌ی مطرح شده مورد واری قرار گرفت. بر این اساس، ارتفاع ژئوپتانسیلی بر روی سه نصف‌النهار ۱۰، ۳۰ و ۵۲٫۵ درجه‌ی طول شرقی در سه تراز نیواری ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی برای ارزیابی تغییرات موج مدیترانه‌ی بادهای غربی و اثرگذاری این تغییرات در روندهای کاهشی ذوب برف در ایران مورد بررسی قرار گرفت. در نتیجه بر اساس روش بسط دهه‌ها، ماه‌های مختلف از سال ۱۹۷۹ تا سال ۲۰۱۸ هر کدام به ۴ دهه تقسیم شدند. علاوه بر این نیز میانگین بلند مدت (LTM) ماهانه از ماه‌های مختلف گرفته شد. نتایج نشان داد، که ارتفاع موج مدیترانه‌ی بادهای غربی در دهه‌ی چهارم در تمامی ماه‌ها بر روی نصف‌النهار ۳۰ درجه طول شرقی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی مقادیر منفی به خود گرفته است. علاوه بر این بالاترین مقادیر منفی بر روی این نصف‌النهار به جز ماه ژانویه در تراز ۶۰۰ هکتوپاسکالی، در تمامی ترازهای دیگر در دهه‌ی چهارم رخ داده است. در ماه‌های ژانویه در هر ۳ تراز نیواری بر روی نصف‌النهار ۱۰ درجه‌ی طول شرقی ارتفاع موج در دهه‌های دوّم، سوّم و چهارم کاهش یافته است، این کاهش به حدی است که در دهه‌ی چهارم در هر ۳ تراز نیواری مقادیر مثبتی به خود گرفته است. در ماه‌های آوریل، نوامبر و دسامبر بر روی نصف‌النهار ۳۰ درجه در دهه‌ی سوّم، ناهنجاری به صورت مقادیر منفی است. در دهه‌ی چهارم از ماه‌های ژانویه و فوریه در هر سه تراز نیواری بر روی نصف‌النهار ۱۰ درجه طول شرقی، مقادیر ناهنجاری، مثبت می‌باشند. در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و دسامبر بر روی نصف‌النهار ۵۲٫۵ درجه اختلاف ارتفاع موج مدیترانه‌ی بادهای غربی در دهه‌ی چهارم از میانگین بلند مدت خود، دارای مقادیر منفی می‌باشد. ناهنجاری‌های منفی موج مدیترانه‌ی بادهای غربی بر روی نصف‌النهار ۳۰ درجه بدین معناست که موج از الگوی ناوه به الگوی پشته تغییر یافته است. علاوه بر این ناهنجاری منفی حاصل از اختلاف بر روی نصف‌النهارهای ۱۰ و ۵۲٫۵ نشان می‌دهند، که موج مدیترانه‌ی بادهای غربی در ارتفاع‌های پایین‌تر نسبت به میانگین بلند مدت خود جریان داشته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد تغییراتی در ارتفاع موج مدیترانه‌ی بادهای غربی رخ داده است. این تغییرات به عنوان یکی از عامل‌های اثرگذار در روندهای کاهشی ذوب برف در ایران است، که به خصوص در دهه‌های سوّم و چهارم (از سال ۱۹۹۹ به بعد) در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر نمایان‌تر است. از همین رو این تغییراتی که در موج مدیترانه‌ی بادهای غربی رخ داده است، نقش بسیار مهمی در به وجود آوردن مخاطرات محیطی، که می‌توانند از روندهای کاهشی ذوب برف در ایران به وجود بیایند، را دارند.

سپاس‌گزاری

در اینجا، نگارندگان بر خود لازم می‌دانند، که سپاس خود را به توسعه دهندگان برنامه‌های گرادس (GrADS) و متلب (MATLAB: Climate Data toolbox for Matlab) و همچنین مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت هوا (ECMWF) نسخه‌ی (ERA5) پیشکش نمایند.

منابع

- ابراهیمی، هادی؛ غیبی، ابوالحسن؛ ملکوتی، حسین. (۱۳۹۱). روند تغییرات پوشش برف در مناطق برف‌خیز ایران با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس. نشریه نیوار، دوره ۳۶، ۷۹ - ۷۸ - شماره پیاپی ۷۹، صص ۱۰ - ۳.
- بهرامی پیچاقچی، حدیقه. نوروزولاشدی، رضا. رائینی سرجاز، محمود. (۱۳۹۸). بررسی نوسانات اقلیمی در کاهش سطح پوشش برف گستره‌ی شمال البرز مرکزی با استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور. سومین همایش ملی مدیریت منابع آب نواحی ساحلی، ساری.
- حلیان، امیرحسین. (۱۳۹۶). واکاوی روند و ردش‌های دمای بیشینه و کمینه در فلات ایران. نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره هشتم، شماره سی‌ام، صص ۷۵ - ۶۱.
- حسین زاده، مهدی. (۱۳۹۶). بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (مطالعه موردی: حوضه کارده استان خراسان رضوی). سومین همایش ملی مدیریت بحران، ایمنی، بهداشت، محیط زیست و توسعه پایدار، تهران.
- دارند، محمد. (۱۳۹۳). واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و یکم، شماره دوم، صص ۲۹ - ۱. <http://jwsc.gau.ac.ir>
- رضیعی، طیب؛ مفیدی، عباس؛ زرین، آذر. (۱۳۸۸). مراکز فعالیت و الگوهای گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ارتباط آن‌ها با بارش ایران. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۱، صص ۱۴۱ - ۱۲۱.
- رییس پور، کوهزاد. (۱۳۹۷). پایش تغییرات پوشش برف ایران با به کارگیری الگوریتم NDSI در تصاویر TERRA/MODIS، دومین کنفرانس آب‌وهواشناسی ایران، مشهد.
- سلیمانی، کریم؛ درویشی، شادمان؛ شکران، فاطمه؛ رشیدپور، مصطفی. (۱۳۹۷). پایش تغییرات زمانی - مکانی پوشش برف با استفاده از تصاویر MODIS (مطالعه موردی: استان کردستان). نشریه انجمن سنجنش از دور و GIS ایران، سال دهم، شماره سوم، صص ۱۰۴ - ۷۷.
- صادقی، امین؛ رستمی، علی اصغر؛ عبداللهی، علی رضا. (۱۳۹۸). تحلیل نوسانات بارش برف (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک زنجان)، سومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، تبریز.
- علیجانی، بهلول. (۱۳۶۶). رابطه پراکندگی مکانی مسیرهای سیکلونی خاورمیانه با سیستم‌های سطح بالا. تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴، صص ۱۴۳ - ۱۲۵.
- علیجانی، بهلول؛ نظاماتی، حسین. (۱۳۹۴). بررسی تغییرات مکانی فرود مدیترانه. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۸، ۶۶، شماره ۲، صص ۹۲ - ۸۰.
- علیجانی، بهلول؛ سلیقه، محمد؛ دارند، محمد؛ جاهدی، آرمان. (۱۴۰۰). تغییرات میانگین مداری و نصف‌النهاری بادهای غربی در دوره‌های تر و خشک غرب ایران. نشریه نیوار، دوره ۴۵، ۱۱۳-۱۱۲، شماره پیاپی ۱۱۲، صص ۹۱-۷۷. DOI: 10.30467/NIVAR.2021.276760.1183
- عزیزی، قاسم؛ رحیمی، مجتبی؛ محمدی، حسین؛ خوش اخلاق، فرامرز. (۱۳۹۶). تغییرات زمانی - مکانی پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۳، صص ۳۹۳ - ۳۸۱.
- علیزاده، مرضیه؛ حساری، بهزاد؛ میر یعقوب زاده، میر حسن؛ محمد پور، مریم. (۱۳۹۸). تحلیل روند تغییرات برف در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. چهاردهمین همایش ملی علوم و فنون مهندسی آبخیزداری ایران، ارومیه.

فتاحی، ابراهیم؛ مقیمی، شوکت. (۱۳۹۷). اثر تغییرات اقلیمی بر روند برف شمال غرب ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۴، صص ۶۳ - ۴۷. DOI:10.29252/jgs.19.54.47

قاسمی، الهه؛ فتاحی، ابراهیم؛ بابائی، ام السلمه. (۱۳۹۲). بررسی نوسانات رواناب حاصل از ذوب برف تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آینده. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال چهارم، شماره سیزدهم و چهاردهم، صص ۱۲۲ - ۱۱۲.

کیخسروی کیانی، محمد صادق؛ مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۹۵). شناسایی ورودش‌های مکانی روزهای برفپوشان در ایران زمین به کمک داده‌های دورسنجی. نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره هفدهم، صص ۸۵ - ۶۹.

موسی زاده، هدی؛ شهایی فرد، فاطمه؛ قادری درمیان، محمد امین. (۱۳۹۳). تعیین سطح پوشش برف استان خراسان جنوبی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS در سال آبی ۱۳۹۳ - ۱۳۹۲، سومین همایش بین‌المللی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، بیرجند.

منظری، پریسا؛ جعفری، رضا. (۱۳۹۶). پایش پوشش برف شهرستان فریدون شهر با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS، نخستین همایش بین‌المللی سامانه اطلاعات جغرافیایی جاده ابریشم، اصفهان.

مدنی، لیلا؛ مدنی، فاطمه. (۱۳۹۷). بررسی کاربرد سنجش از دور و GIS در بررسی تغییرات برف چال‌ها و یخچال‌های سبلان، یازدهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز.

معتمدی، علی. (۱۳۹۸). بررسی پوشش برف حوضه آبریز دز در ۱۹ سال گذشته (سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ الی ۹۸-۱۳۹۷). سومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، تبریز.

نقی زاده، حبیبه؛ رسولی، علی‌اکبر؛ ساری صراف، بهروز؛ جهانخوش، سعید؛ بابائیان، ایمان. (۱۳۹۸). تغییرپذیری روند عمق برف در پهنه شمالی ایران مبتنی بر پایگاه داده ECMWF نسخه ERA Interim. نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی‌ام، صص ۲۲۹ - ۲۱۱.

DOI: <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.78609>

- Alijani, B., (2002). Variations of 500 flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with the climate of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 72, 41 - 54.
- Adam, J.C., Hamlet, A.F., Lettenmaier, D.P., (2008). Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century. *Hydrological Processes*, 23, 962 - 972. <https://doi.org/10.1002/hyp.7201>.
- Ashfaq, M., Ghosh, S., Kao, S.C., Bowling, L.C., Mote, P., Touma, D., Rauscher, S.A., Diffenbaugh, N.S., (2013). Near-term acceleration of hydroclimatic change in the western U.S. *Advancing Earth and Space Science*, 118, 10676 - 10693, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50816>.
- Barnett, T.P., Adam, J.C., Lettenmaier, D.P., (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, Vol 438, 303 - 309. DOI: 10.1038/nature04141.
- Bulut, H., Yesilata, B., Yesilnacara, M.I., (2008). Trend analysis for examining the interaction between the Atatürk Dam Lake and its local climate. *Natural and Engineering Sciences*, 1 (3), 115 - 123.
- Brown, R.D., Mote, P.W., (2008). The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *Climate*, 22, 2124 - 2145. DOI: 10.1175/2008JCLI2665.1.
- Drápela, K., Drápelová., (2011). (Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bílý Kříž (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997-2010. - *Beskydy*, 4 (2): 133 - 146.
- Dobre, R.G., Gaitanaru, D.S., Gogu, C.R., (2017). Snowmelt modeling aspects in urban areas. 209, 127 - 134. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.138.
- Knowles, N., Dettlinger, M.D., Cayan, D.R., (2006). Trends in snowfall versus rainfall in the Western United States. *Climate*, 19, 18, 4545 - 4559. <https://doi.org/10.1175/JCLI3850.1>.
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T., Safranyik, L., (2008). Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, Vol 452, 987 - 990. DOI: 10.1038/nature06777.
- Kunkel, K.E., Robinson, D.A., Champion, S., Ying, X., Estilow, T., Frankson, R.M., (2016). Trends and extremes in Northern Hemisphere show characteristics. *Curr Clim Change Rep*, 2, 65 - 73. DOI: 10.1007/s40641-016-0036-8.
- Li, J.W.H., Hao, X., (2010). Responses of snowmelt runoff to climatic change in an inland river basin, Northwestern China, over the past 50 years. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1979 - 1987. DOI: 10.5194/Hess-14-1979-2010.
- Mankin, J.S., Viviroli, D., Singh, D., Hoekstra, A.Y., Diffenbaugh, N.S., (2015). The potential for snow to supply human water demand in the present and future. *Environmental Research Letters*, 10 (2015) 114016. DOI: 10.1088/1748 - 9326/1/11/114016.
- Pierson, D.C., Samal, N.R., Owens, E.M., Schneiderman, E.M., Zion, M.S., (2013). Changes in the timing of snowmelt and the seasonality of nutrient loading: can models simulate the impacts on freshwater trophic status?. *Hydrological Processes*, 27, 3083 - 3093. <https://doi.org/10.1002/hyp.9894>.
- Qin, N., Chen, X., Fu, G., Zhai, J., Xue, X., (2010). Precipitation and temperature trends for the Southwest China: 1960 - 2007. *Hydrological Processes*, (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/hyp.7792.

- Rood, S.B., Pan, J., Gill, K.M., Franks, G.G., Samuelson, G.M., Shepherd, A., (2007), Declining summer flows of Rocky Mountain rivers: changing seasonal hydrology and probable impacts on floodplain forests. *Journal of Hydrology*, 349, 397 – 410. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.11.012.
- Rauscher, S.A., Pal, J.S., Duffenbaugh, N.S., Benedetti, M.M., (2008), Future changes in snowmelt – driven runoff timing over the western US. *Geophysical Research Letters*, 35, L16703. DOI: 10.1029/2008GL034424.
- Sen, P.K., (1968), Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *American Statistical Association*, 63, 1379 – 1389. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.
- Shilpakar, R.B., Shakya, N.M., Hiratsuka, A., (2009), Impact of climate change on snowmelt runoff: A case study of Tamakoshi basin in Nepal.
- Sadro, S., Sickman, J.O., Melack, J.M., Skeen, K., (2018), Effects of climate variability on snowmelt and implications for organic matter in a high – elevation lake. *Water Resources Research*, 54, 1 – 16. <https://doi.org/10.1029/2017WR022163>.
- Viviroli, D., Dürr, H.H., Messerli, B., Meybeck, M., (2007), Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. *Water Resources Research*, Vol 43, W07447, 1 – 13. DOI: 10.1029/2006WR005653.
- Viviroli, D., Archer, D.R., Buytaert, W., Fowler, H.J., Greenwood, G.B., Hamlet, A.F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Litaor, M.I., López – Moreno, J.I., Lorentz, S., Schädler, H., Schwaiger, K., Ville, M., Woods, R., (2011), Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management, and policy. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 471 – 504. DOI: 10.5194/Hess-15-471-2011.
- Wang, R., Kumar, M., Link, T.E., (2016), Potential trends in snowmelt – generated peak streamflows in a warming climate. *Geophysical Research Letters*, 43, 5052 – 5059. doi:10.1002/2016GL068935.
- Zheng, X., Wang, Q., Zhou, L., Sun, Q., Li, Q., (2018), Predictive contributions of snowmelt and rainfall to streamflow variations in the Western United States. *Advances in Meteorology*, Volume 2018, Article ID 3765098, 1 – 14. <https://doi.org/10.1155/2018/3765098>.
<https://www.britannica.com/science/snow-weather>.



References

References (in Persian)

- Alijani, B., (1987), Relationship between spatial dispersion of Middle East cyclonic pathways with high-level systems. *Geographical Researches*, 2, 1 (4), 125 – 143. [In Persian]
- Alijani, B., Nezamati, H., (2017), Spatial and Temporal Analysis of the Mediterranean Trough. *Geography and Environmental Planning*, Volume 28, Issue 2, pp 79 – 92. <http://dx.doi.org/10.22108/gep.2017.97959.0>. [In Persian]
- Alijani, B., Saligheh, M., Darand, M., Jahedi, A., (2021). Mean Zonal and Meridional Variations of Westerlies in wet and dry periods in western, Iran. *Journal of Nivar*, Volume 45, 112 – 113, Serial Number 112, pp 77 – 91. DOI: 10.30467/NIVAR.2021.276760.1183. [In Persian]
- Azizi, G., Rahimi, M., Mohammadi, H., Khoshakhlagh, F., (2017). Spation-temporal variations of snow cover in the southern slope of central Alborz. *Physical Geography Research Quarterly*, Volume 49, Issue 3, pp 381 – 393. DOI: 10.22059/JPHGR.2017.217393.1006943. [In Persian]
- Alizadeh, M., Hesari, B., Mir Yaghoubzadeh, M.H., Mohammadpour, M., (2019), Analysis of snow change trends in the catchment area of Lake Urmia. 14th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of IRAN. [In Persian]
- Bahrami Pichachchi, H., Noruzolashdi, R., Raeini Sarjaz, M., (2019), Investigation of Climatic Fluctuations in Reducing the Snow Cover Level of North Central Alborz Using Remote Sensing Techniques. 3rd National Conference on Water Resources Management in Coastal Plains Mazandaran – Sari, 10 October 2019, <https://civilica.com/doc/950872>. [In Persian]
- Darand, M., (2014), Analysis of variations in extreme temperature and precipitation in Oromieh indices as the signs of climate change. *Journal of Water and Soil Conservation*, Volume 21, issue 2 – Serial Number 2, pp 1- 29. doi: 20.1001.1.23222069.1393.21.2.1.8. [In Persian]
- Ebrahime, H., Ghani, A., Malakoti, H., (2012), Trend of Snow Cover Detection Using Satellite Data From MODIS over Snow-Rich Areas in Iran. *Journal of Nivar*, Volume 36, 78 – 79, 79, 3 – 10. [In Persian]
- Fattahi, E., Moghimi, S., (2019), Investigation of snow cover Changes affected by climate change In North West of Iran. *Research in Geographical Sciences*, 2019, 19 (54), 47 – 63. <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-2828-en.html>. [In Persian]
- Ghasemi, E., Fattahi, E., Babaie, O., (2013), Estimating the Impact of Climate change on snowmelt Runoff on the feature. *Journal of Climate Research*, Volume 1392, Issue 13 – Serial Number 13, 2013, pp 111 – 122. [In Persian]
- Halabian, A., (2017), Trend Analysis of Maximum and Minimum Temperature Variations in Iran Plateau. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 8 (30): 61 – 75. <http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-1300-fa.html>. [In Persian]
- Keikhoravi Kiyan, M.S., Masoodian, S.A., (2016), Identification of Spatial Variations of Snow-covered days over Iran based on Remote Sensing. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, Volume 5, Issue 1 – Serial Number 17, 2016, pp 69 – 86. DOI: 10.22067/GEO.V5I1.49715. [In Persian]
- Musazadeh, H., Shahabi Fard, F., Qaderi Dormian, M.A., (2015), Determining the snow cover level of South Khorasan province using MODIS sensor images in the water year 2013 – 2014. *Water Harvesting and Watershed Management Congress*. [In Persian]
- Manzari, P., Jafari, R., (2017), Monitoring the snow cover of Fereydunshahr city using MODIS sensor images. The first International Conference of SILK GIS. [In Persian]
- Madani, L., Madani, F., (2019), Investigation of the application of remote sensing and GIS in the study of changes in snow pits and glaciers in Sabalan. 11th International River Engineering Conference. [In Persian]
- Motamedi, A., (2019), Investigation of snow cover of Dez catchment in the last 19 years (the water year 2000 – 2001 to 2018 – 2019). 3rd Iranian National Conference on Hydrology, 17 – 19 Sep. 2019- University of Tabriz. [In Persian]
- Naghizadeh, H., Rasooli, A.A., Sari Sarraf, B., Jahanbakhsh, A., Babaian, I., (2018), The Variability of the Snow Depth in the Northern Zone of Iran is based on the ECMWF Database of the ERA-Interim Edition. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, Volume 8, Issue 2 – Serial Number 30, pp 211 – 229. DOI: 10.22067/GEO.V0I0.78609. [In Persian]
- Raziei, T., Mofidi, A., Zarin, A., (2006), The 500 hPa atmospheric centers of action and circulation patterns over the Middle East and their relationship with precipitation in Iran. *Journal of the EARTH AND SPACE PHYSICS*, Volume 35, Issue 1, pp 121 – 141. DOI: 10.22059/JESPHYS.2009.79975. [In Persian]
- Raispour, K., (2018), Monitoring of snow cover changes in Iran using NDSI algorithm in TERRA/MODIS images. The 2nd National Conference on Climatology of Iran, May 9th, 2018 Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]
- Solaimani, K., Darvishi, S., Shokrian, F., Rashidpour, M., (2019), Monitoring of temporal-spatial variations of snow cover using MODIS image (Case Study: Kurdistan Province). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, Volume 10, issue 3, Winter 2019, pp 77 – 104. [In Persian]
- Sadeghi, A., Rostami, A.A., Abdullahi, A.R., (2019), Snowfall Fluctuation Analysis (Case Study: Zanjan Synoptic Station). Third National Conference on Hydrology of Iran, Tabriz. [In Persian]

References (in English)

- Alijani, B., (2002). Variations of 500 flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with the climate of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 72, 41 – 54.

- Adam, J.C., Hamlet, A.F., Lettenmaier, D.P., (2008), Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century. *Hydrological Processes*, 23, 962 – 972. <https://doi.org/10.1002/hyp.7201>.
- Ashfaq, M., Ghosh, S., Kao, S.C., Bowling, L.C., Mote, P., Touma, D., Rauscher, S.A., Diffenbaugh, N.S., (2013), Near – term acceleration of hydroclimatic change in the western U.S. *Advancing Earth and Space Science*, 118, 10676 – 10693, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50816>.
- Barnett, T.P., Adam, J.C., Lettenmaier, D.P., (2005), Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, Vol 438, 303 – 309. DOI: 10.1038/nature04141.
- Bulut, H., Yesilata, B., Yesilnacara, M.I., (2008), Trend analysis for examining the interaction between the Atatürk Dam Lake and its local climate. *Natural and Engineering Sciences*, 1 (3), 115 – 123.
- Brown, R.D., Mote, P.W., (2008), The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate. *Climate*, 22, 2124 – 2145. DOI: 10.1175/2008JCLI2665.1.
- Drápela, K., Drápelová., (2011), (Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bílý Kříž (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997-2010. – *Beskydy*, 4 (2): 133 – 146.
- Dobre, R.G., Gaitanaru, D.S., Gogu, C.R., (2017), Snowmelt modeling aspects in urban areas. 209, 127 – 134. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.138.
- Knowles, N., Dettinger, M.D., Cayan, D.R., (2006), Trends in snowfall versus rainfall in the Western United States. *Climate*, 19, 18, 4545 – 4559. <https://doi.org/10.1175/JCLI3850.1>.
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T., Safranyik, L., (2008), Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, Vol 452, 987 – 990. DOI: 10.1038/nature06777.
- Kunkel, K.E., Robinson, D.A., Champion, S., Ying, X., Estilow, T., Frankson, R.M., (2016), Trends and extremes in Northern Hemisphere snow characteristics. *Curr Clim Change Rep*, 2, 65 – 73. DOI: 10.1007/s40641 – 016 – 0036 – 8.
- Li, J.W.H., Hao, X., (2010), Responses of snowmelt runoff to climatic change in an inland river basin, Northwestern China, over the past 50 years. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1979 – 1987. DOI: 10.5194/Hess – 14 – 1979 – 2010.
- Mankin, J.S., Viviroli, D., Singh, D., Hoekstra, A.Y., Diffenbaugh, N.S., (2015), The potential for snow to supply human water demand in the present and future. *Environmental Research Letters*, 10 (2015) 114016. DOI: 10.1088/1748 – 9326/10/11/114016.
- Pierson, D.C., Samal, N.R., Owens, E.M., Schneiderman, E.M., Zion, M.S., (2013), Changes in the timing of snowmelt and the seasonality of nutrient loading: can models simulate the impacts on freshwater trophic status?. *Hydrological Processes*, 27, 3083 – 3093. <https://doi.org/10.1002/hyp.9894>.
- Qin, N., Chen, X., Fu, G., Zhai, J., Xue, X., (2010), Precipitation and temperature trends for the Southwest China: 1960 – 2007. *Hydrological Processes*, (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/hyp.7792.
- Rood, S.B., Pan, J., Gill, K.M., Franks, G.G., Samuelson, G.M., Shepherd, A., (2007), Declining summer flows of Rocky Mountain rivers: changing seasonal hydrology and probable impacts on floodplain forests. *Journal of Hydrology*, 349, 397 – 410. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.11.012.
- Rauscher, S.A., Pal, J.S., Diffenbaugh, N.S., Benedetti, M.M., (2008), Future changes in snowmelt – driven runoff timing over the western US. *Geophysical Research Letters*, 35, L16703. DOI: 10.1029/2008GL034424.
- Sen, P.K., (1968), Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *American Statistical Association*, 63, 1379 – 1389. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.
- Shilpakar, R.B., Shakya, N.M., Hiratsuka, A., (2009), Impact of climate change on snowmelt runoff: A case study of Tamakoshi basin in Nepal.
- Sadro, S., Sickman, J.O., Melack, J.M., Skeen, K., (2018), Effects of climate variability on snowmelt and implications for organic matter in a high – elevation lake. *Water Resources Research*, 54, 1 – 16. <https://doi.org/10.1029/2017WR022163>.
- Viviroli, D., Dürr, H.H., Messerli, B., Meybeck, M., (2007), Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. *Water Resources Research*, Vol 43, W07447, 1 – 13. DOI: 10.1029/2006WR005653.
- Viviroli, D., Archer, D.R., Buytaert, W., Fowler, H.J., Greenwood, G.B., Hamlet, A.F., Huang, Y., Koboltschnig, G., Litaor, M.I., López – Moreno, J.I., Lorentz, S., Schädler, H., Schwaiger, K., Ville, M., Woods, R., (2011), Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management, and policy. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 471 – 504. DOI: 10.5194/Hess-15-471-2011.
- Wang, R., Kumar, M., Link, T.E., (2016), Potential trends in snowmelt – generated peak streamflows in a warming climate. *Geophysical Research Letters*, 43, 5052 – 5059. doi:10.1002/2016GL068935.
- Zheng, X., Wang, Q., Zhou, L., Sun, Q., Li, Q., (2018), Predictive contributions of snowmelt and rainfall to streamflow variations in the Western United States. *Advances in Meteorology*, Volume 2018, Article ID 3765098, 1 – 14. <https://doi.org/10.1155/2018/3765098>.
<https://www.britannica.com/science/snow-weather>.