



بررسی مکانسیم جوی حاکم بر رخداد برف‌های سنگین استان همدان

امید نخعی^۱، حسن حاجی محمدی^۲ و فاطمه فیضی کوشکی^۳

۱. کارشناسی ارشد مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران omidnakhaei8@gmail.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک دانشکده ادبیات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران hasanhajimohammadi@yahoo.com

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (نویسنده مسئول)
fatemefeyzi@rocketmail.com

چکیده

زمینه و هدف: بارش برف نقش تعیین کننده‌ای در تامین منابع آب، اقتصاد کشاورزی و خروج از بحران خشکسالی دارد. از طرفی ریزش برف سنگین طی دوره سرد سال باعث بروز مشکلات و خسارات گوناگون در بخش‌های مختلف از جمله؛ ساختمان، تاسیسات، حمل و نقل و انرژی می‌شود. **روش:** در این پژوهش به منظور شناسایی الگوهای جوی مرتبط با بارش سنگین برف در استان همدان از داده‌های چهار ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی بیست ساله استفاده شد و پس از شناسایی روزهای فراگیر برفی، با هدف شناسایی الگوهای غالب، روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر روی داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال صورت گرفت. در ادامه جهت بررسی دقیق‌تر یک روز به عنوان نماینده انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور داده‌های فشار سطح زمین (SLP)، امگا (Omega)، ارتفاع ژئوپتانسیل (HGT)، مولفه مداری (U) و نصف‌النهاری باد (V) در ترازهای گوناگون از تارنمای مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP/NCAR) اخذ و در محیط نرم افزار GrADS اقدام به ترسیم نقشه‌های همدیدی شد. **یافته‌ها و نتایج:** نتایج نشان داد، در سطوح فوقانی جو چهار الگوی غالب قابل تفکیک بوده که نقش عمده‌ای در رخداد بارش‌های سنگین برف دارند. در این الگوها، فرود عمیق پدیده غالب است. در بررسی نقشه‌های مربوط به روز نماینده مشخص شد که عملکرد شاخص‌های امگا و تاوایی، شرایط ضخامتی جو و موقعیت رودباد به گونه‌ای است که تغییرات شرایط جوی از سطح زمین تا سطوح بالای جو با یکدیگر کاملاً مرتبط بوده و شرایط مناسب را برای ریزش برف فراگیر و سنگین فراهم کرده است.

کلیدواژه‌ها: برف سنگین، خوشه‌بندی، فرود عمیق، استان همدان

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** نخعی، امید؛ حاجی محمدی، حسن؛ فیضی کوشکی، فاطمه (پاییز، ۱۳۹۷). بررسی مکانسیم جوی حاکم بر رخداد برف‌های سنگین استان همدان. فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۸ (۳)، ۳۰۰-۳۱۰.

Investigating the atmospheric synoptic of heavy snowfalls Case study: Hamadan province

Omid Nakhaei¹, Hasan Hajimohammadi² & Fatemeh Feyzi Koushki³

1. Master of desert and arid areas Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2. Master student of Synoptic Weather, Faculty of Literature, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3. Master student of desert and arid areas Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (responsible author)

Abstract

Backgrounds and objective: Snowfall has a decisive role in supplying water resources, agricultural economics, and outbreak of drought crisis. On the other hand, snowfall during the cold season causes various problems and damages in various sectors such as buildings, utilities, transportation and energy.

Method: In this research, in order to identify the atmospheric patterns associated with heavy snowfall in Hamadan province, four meteorological stations were used in the period of 20 years; after identification of snowy days, with the aim of identifying dominant patterns, hierarchical clustering method was applied to data of geo-potential height of 500 hPa. In the following, one day was selected as a sample and analyzed for a closer look. For this purpose, ground surface pressure data (SLP), omega, geo-potential heights (HGT), Zonal wind (U) and meridian wind (V) at various levels were collected from website of the National Center of Environmental Prediction (NCEP / NCAR), to draw the synoptic maps in GrADS software.

Findings and Results: The results showed that in the upper levels of the atmosphere, four dominant patterns were distinguishable which play a major role in the occurrence of heavy snowfalls. In these patterns, the dominant constituent is deep trough. Considering the representative day maps showed that the performance of the omega and vorticity indexes, the atmosphere's thickness conditions, and jet stream situation is such that atmospheric changes from the ground to the upper level of the atmosphere are completely related and provide the appropriate conditions for heavy snowfall incredible and heavy snowfall.

Keywords: heavy snowfalls, clustering, deep trough, The Hamadan Province

► **Citation (APA 6th ed.):** Nakhaei O, Hajimohammadi H, Feyzi Koushki, F. (2018, Fall). Investigating the atmospheric synoptic of heavy snowfalls Case study: Hamadan province. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 8(3), 300-310.

مقدمه

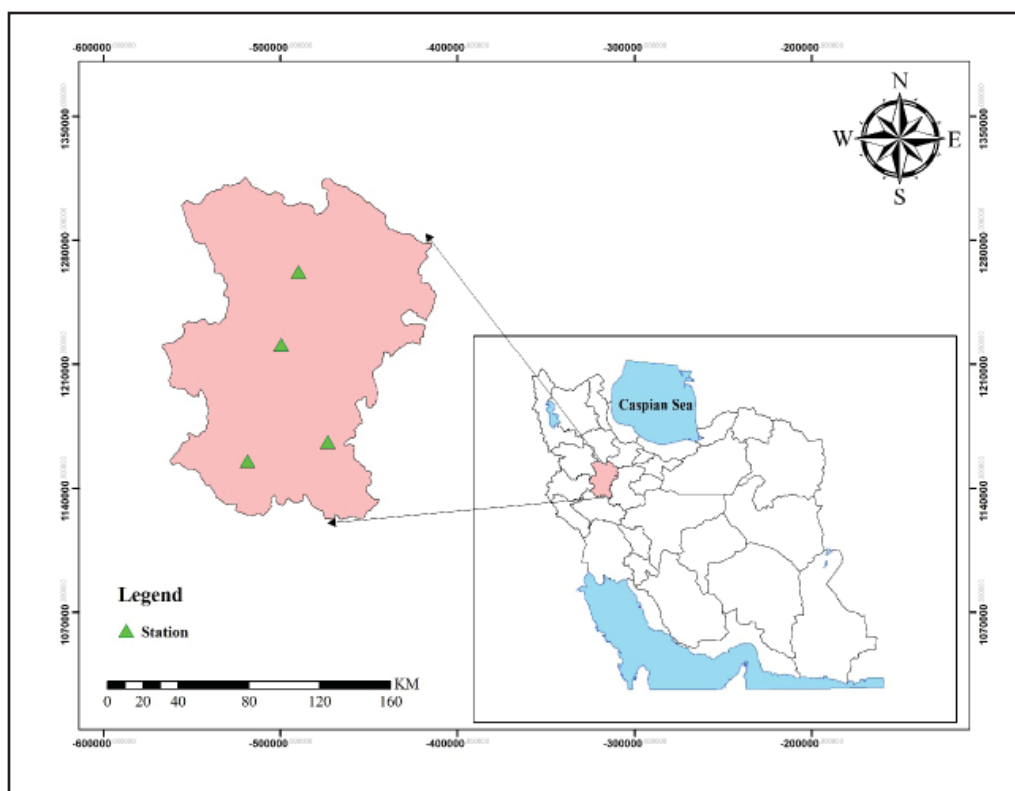
بخش زیادی از بارش در سطح کره زمین به صورت برف می‌بارد و برای مدتی کم یا زیاد در سطح زمین باقی مانده و در نهایت در چرخه هیدرولوژی قرار می‌گیرد (کاویانی، ۱۳۸۶، ص ۱۲۱). برف یکی از صور مختلف بارش است که از چگالش توده‌های هوای مرطوب در طی صعود و در شرایطی که درجه حرارت هوا کمتر از نقطه انجماد باشد شکل می‌گیرد. در این وضعیت، به جای قطرات آب، بلورهای شش وجهی یخ به وجود می‌آید که به تدریج در اثر برخورد و پیوستن به یکدیگر دانه‌های برف، با اندازه‌ها و شکل‌های گوناگون ایجاد می‌شود (کاویانی و همکاران، ۱۳۸۲، ص ۱۵). برف در مناطق کوهستانی و عرض‌های جغرافیایی بالا دارای اهمیت ویژه‌ای است. در مناطق کوهستانی غرب و شمال غرب ایران آب حاصل از ذوب برف‌ها تا ۹۰ درصد جریان رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهد (موحد دانش، ۱۳۷۶، ص ۱۸۶). طبق بررسی‌های به عمل آمده، حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور در مناطق برف‌گیر کشور جریان دارد (تماب، ۱۳۷۵، ص ۱۳۱). خصوصیات برف تفاوت‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیک متنوعی را در محدوده تحت ریزش خود نسبت به دیگر اشکال ریزش جوی ایجاد می‌کند. این تفاوت می‌تواند منشأ اثرات مهمی در محیط طبیعی خود باشد. شناخت چگونگی این تأثیرات قادر است برنامه‌ریزان را در امر استفاده بهینه از پتانسیل‌های محیطی یاری دهد (کاویانی و همکاران، ۱۳۸۲، ص ۱۷). ریزش برف اثر تأخیری در جریان و هیدرولوژی رودخانه‌ها دارد. تجمع برف در ماه‌های زمستان یک سال، در ماه‌های بهار سال بعد پراهمیت تلقی شده و آب حاصل از ذوب برف برای تأسیسات آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به طوری که سیلاب‌های قابل توجهی را در زمانی که ذوب برف با بارندگی گرم بهار همراه باشد به وجود می‌آورد. سیلاب‌های حاصل از ذوب برف باعث فرسایش خاک‌ها می‌شود و گاهی شدت آنقدر زیاد است که باعث خسارات فراوانی در منطقه می‌گردد. یخ‌بندان‌های بعد از ریزش برف باعث لغزندگی سطح جاده‌ها و تصادفات جاده‌ای می‌شود که همه ساله جان بسیاری از افراد را می‌گیرد (حیدری، ۱۳۸۴، ص ۹۱-۷۷). در زمینه بررسی بارش برف تحقیقات گوناگونی صورت گرفته است. بویدن (۱۹۶۴) با مقایسه شش عامل پیش‌بینی‌کننده برای تعیین نوع بارش (برف یا باران) نتیجه گرفت که بهترین عامل ارتفاع تراز یخبندان

و پس از آن، ترکیبی از فشار و ضخامت لایه ۸۵۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال است. بوث (۱۹۷۰) نشان داد که نقطه شبنم می‌تواند به عنوان پارامتر پیش‌بینی‌کننده ریزش برف به کار رود. پتکوا (۲۰۰۴) روند کاهشی ارتفاع برف باریده در شمال حوضه دانوب در کشور بلغارستان را همراه با افزایش قابل توجه دمای هوا در ماه‌های زمستانی (دسامبر تا فوریه) برای دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۳۱ را اثبات کردند. هانتینگتون (۲۰۰۱) وجود روند افزایشی در میزان آب معادل برف ماه‌های نوامبر، دسامبر و مارس و وجود روند کاهشی در همین شاخص برای ماه‌های ژانویه و فوریه در نیوانگلند مشخص کرد. لاترنسر و همکاران (۲۰۰۳) نیز کاهش قابل توجه بارش برف بویژه بعد از دهه‌ی ۹۰ میلادی را با توجه به افزایش دمای میانگین حدود ۰/۵ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد در کوه‌های آلپ فرانسه نشان دادند. بدنورز و همکاران (۲۰۰۴) کاهش معنی‌داری در عمق پوشش برف اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه در شرق اروپا طی قرن بیستم و 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 کردند. در ایران نیز مطالعات بسیاری درباره پدیده برف در قالب پایان‌نامه‌های دانشجویی و طرح‌های پژوهشی انجام شده است. بیشتر این تحقیقات اهداف آب‌شناسی داشته و به جنبه‌های هواشناسی کمتر پرداخته‌اند. از جمله مطالعات انجام شده می‌توان به مطالعات آماری ریزش برف برای ۲۱ ایستگاه سینوپتیک کشور، توسط قائمی و نوحی در سال ۱۳۵۵ اشاره کرد. در این تحقیق، همبستگی ریزش برف با پارامترهای مختلف جوی نشان داده شده است. در مطالعه دیگری که با هدف بررسی توزیع مکانی بارش برف در حوضه‌های دز و کارون (اسلامی و فیروزبخت، ۱۳۷۳) انجام شده است، حوزه‌های مذکور بر حسب جهت و موقعیت آنها نسبت به جبهه‌های ورودی به دو محدوده مجزا با عنوان پیشکوه و پشتکوه تفکیک شده‌اند. رشتچی (۱۳۷۳) به منظور شناخت توانایی‌های بالفعل شبکه ایستگاه‌های برف سنجی کشور، توزیع مکانی این ایستگاه‌ها، طول دوره آماری آنها، حداکثر ارتفاع برف ریزش شده، وضعیت متوسط نمونه برداری‌ها و ... را مشخص کرده است.

منطقه مورد مطالعه

و بین ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی در غرب ایران واقع شده و متوسط ارتفاع آن از سطح دریاهای آزاد ۱۷۰۰ متر می باشد. در این پژوهش از داده های هواشناسی مربوط به روزهای برفی برای چهار ایستگاه استفاده شده است. موقعیت منطقه در شکل ۱ و مشخصات ایستگاهها در جدول ۱ آمده است.

در این پژوهش با توجه به موقعیت جغرافیایی استان همدان در غرب کشور تلاش شده است تا الگوهای جوی مرتبط با ریزش برف سنگین مورد بررسی و شناسایی قرار گیرد. این استان استان با مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه تا ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روشها

(علیزاده، ۱۳۸۰)، صورت گرفت. بدین منظور، آمار روزانه دریافتی از اداره کل هواشناسی استان، از طریق نمره استاندارد یا (Z) مورد بررسی قرار گرفت (رابطه ۱).

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

رابطه ۱:

بر اساس این رابطه، Z انحراف استاندارد، X مقدار، μ میانگین و σ انحراف معیار می باشد. برای بررسی و تحلیل همیدی بارشهای سنگین ابتدا با مشخص کردن حداکثر مقدار بارش رخ داده در ایستگاه از طریق استاندارد کردن دادهها، مقادیر حدی Z انتخاب و اقدام به تفکیک کردن بارشهای سنگین با استفاده از رابطه (۱) در بازه مورد نظر شد. سپس با استفاده از روش تحلیل خوشه سلسله مراتبی بر روی داده های ارتفاع ژئوتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال اقدام به تفکیک الگوهای ایجاد کننده برف سنگین در منطقه

برای بررسی رابطه بین الگوهای گردشی و بارش برف سنگین از رویکرد محیط به گردش استفاده شد. بدین منظور پس از کنترل کیفی و اطمینان از صحت دادههای مورد استفاده، اقدام به تجزیه و تحلیل ویژگیهای آماری دادههای مربوط به فراوانی روزهای برفی شد. در این پژوهش از دادههای روزهای برفی و فراوانی ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاه های سینوپتیک فرودگاه همدان، نوزه، ملایر و نهاوند که از اداره کل هواشناسی استان همدان از بدو تاسیس تا سال ۲۰۱۱ اخذ شده، استفاده گردیده است. انتخاب نمونههای مطالعاتی با توجه به تعریف سازمان هواشناسی جهانی از بارش برف سنگین «بارش ۱۵ سانتی متر برف در ۲۴ ساعت» و در نظر گرفتن هر ۱۵ سانتی متر برف به طور متوسط معادل ۱۲/۵ میلیمتر بارندگی



شد و همچنین برای تحلیل شرایط سینوپتیکی روزهای با بارش سنگین برف، داده‌های فشار سطح زمین (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل (Hgt)، مؤلفه‌های مداری (Uwnd) و نصف‌النهاری باد (Vwnd) از تارنمای NCEP/NCAR اخذ و با استفاده از نرم افزار GrADS نقشه‌های مربوطه ترسیم و تحلیل شد.

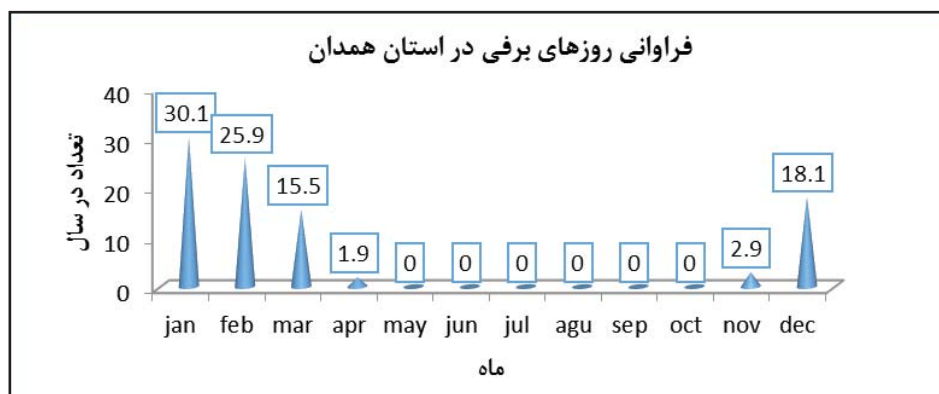
شکل ۲ و جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول دوره آماری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
همدان (فرودگاه)	۲۰۱۱-۱۹۷۶	۴۸ ۳۲	۳۴ ۵۲	۱۷۴۱
نوژه	۲۰۱۱-۱۹۵۱	۴۸ ۴۳	۳۵ ۱۲	۱۶۷۹
ملایر	۲۰۱۱-۱۹۹۲	۴۸ ۵۱	۳۴ ۱۵	۱۷۷۷
نهادند	۲۰۱۱-۱۹۹۲	۴۸ ۲۵	۳۴ ۰۹	۱۶۸۰

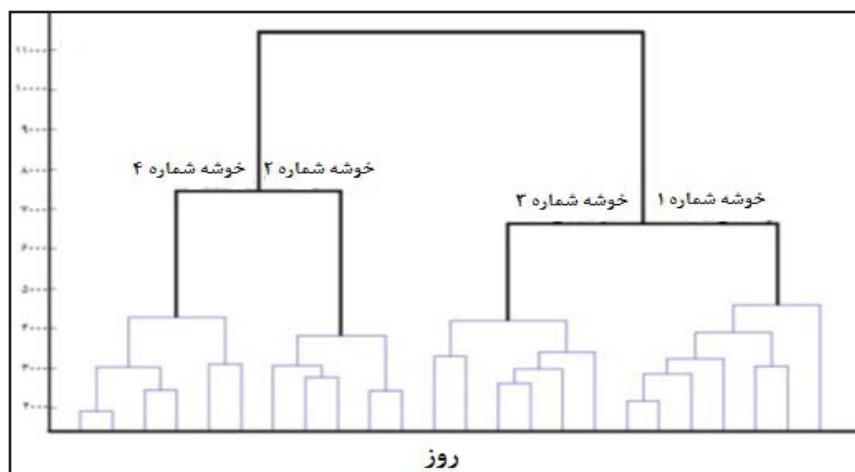
دارنما بر اساس داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به هر یک از روزهای برفی تهیه شده است و بدین ترتیب هر یک از روزهای مورد بررسی، بر حسب مقادیر مؤلفه‌هایشان در یکی از این خوشه‌ها جای گرفتند که هر کدام از این خوشه‌ها الگوهای گردشی اصلی مرتبط با بارش سنگین برف را معرفی می‌کنند.

یافته‌ها

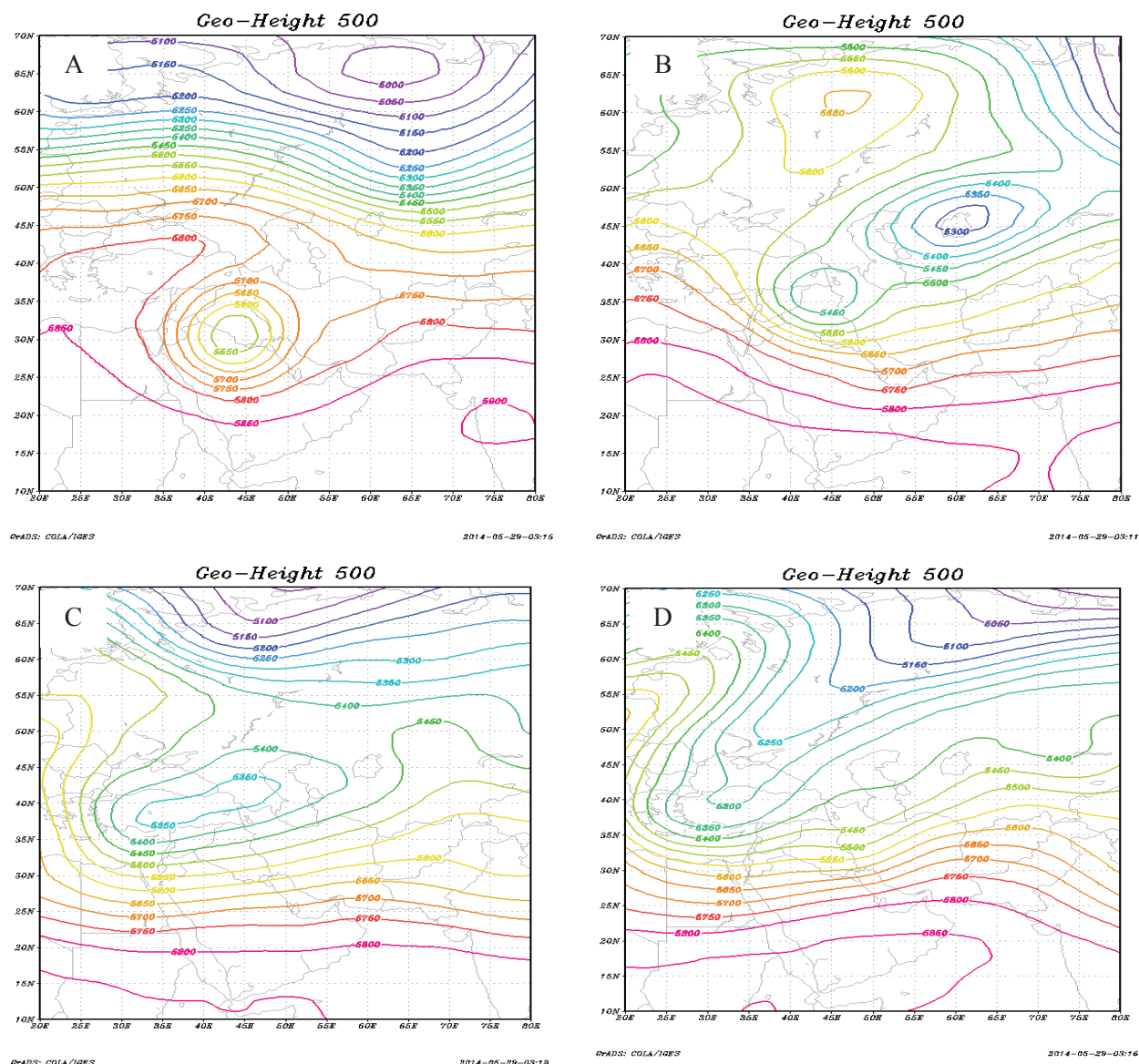
با توجه به شکل ۳ بیشترین فراوانی و درصد وقوع بارش برف در ماه ژانویه می‌باشد. پس از آن، به نوبت، ماه‌های فوریه، دسامبر، مارس، نوامبر و در نهایت آوریل قرار دارند. درخت خوشه‌بندی حاصل از روش تحلیل خوشه‌ای نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. این



شکل ۳: میانگین فراوانی ماهانه روزهای برفی در استان همدان



شکل ۴: دارنمای (نمودار درختی) بارش‌های سنگین برف



شکل ۵: به ترتیب A تا D چهار الگوهای گردشی برای روزهای برفی

-الگوی گردشی (A)

این الگو شامل یک ناوه مورب عمیق با محور شمال شرق-جنوب غرب در غرب خاورمیانه و یک پشته بسیار قوی بر روی شرق اروپا می باشد. این پشته سبب شده تا ناوه غرب خاورمیانه عمیق تر و از طریق ریزش هوای سرد عرض های بالا تقویت شد (شکل A۵). وجود دو هسته سردچال که هر کدام از آنها با ارتفاعی معادل ۵۴۵۰ و ۵۳۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی مناطق غرب و شمال غرب ایران بسته شده است، نیز پتانسیل این الگو را برای ناپایداری افزایش داده است.

-الگوی گردشی (B)

این الگو نشان دهنده یک کم فشار عمیق همراه با هسته سردچال با منحنی مرکزی ۵۶۵۰ ژئوپتانسیل متر با محور شمالی-جنوبی بر روی کشور عراق است. جهت گردش هوا در این سامانه امکان تزریق و صعود منابع رطوبتی خلیج فارس و دریای سرخ را فراهم می سازد. در غرب این ناوه، و در شمال شرق آفریقا یک پشته سبب ریزش هوای سردتر عرض های بالاتر بر روی خاورمیانه شده و شرایط را برای وقوع کولاک برف تشدید می کند (شکل B۵).

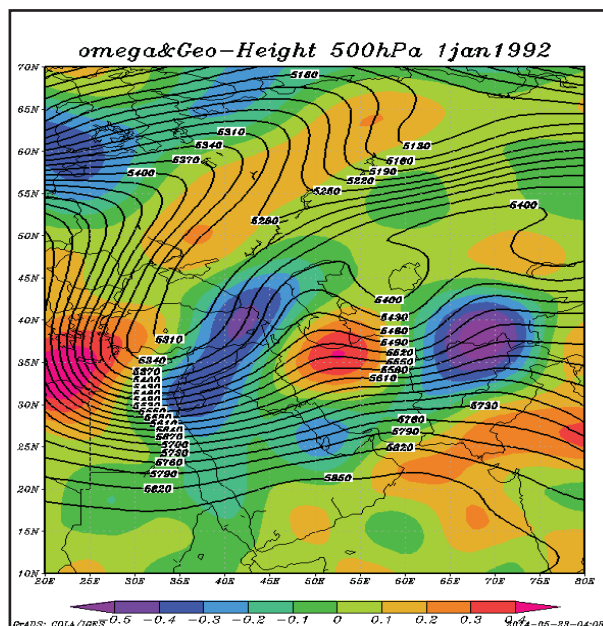
-الگوی گردشی (C)

فرود عمیق و مورب با عمق بیش از ۳۵ درجه موجبات نفوذ سرد

تاثیر چرخندگی مثبت ایجاد شده در زیر فرود است.

تحلیل سینوپتیکی روز نماینده

پس از شناسایی و تحلیل الگوهای گردشی مرتبط با ریزش برف سنگین برای بررسی دقیق‌تر شرایط جوی در زمان رخداد این پدیده، برای هر یک از این الگوها یک روز به عنوان نماینده با توجه به ارتفاع و فراگیر بودن ریزش برف انتخاب شد و با استفاده از مولفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل، امگا، فشار سطح دریا، ضخامت، تاوایی، الگوی رودباد و گردایان فشار مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه با توجه به محدودیت مقاله یک روز به عنوان نماینده انتخاب شد. روز مورد نظر ۱ ژانویه ۱۹۹۲ مصادف با ۱۱ دی‌ماه ۱۳۷۰ بوده که برفی معادل ۴۰ سانتی متر تقریباً تمام گستره استان را در بر گرفته و در همه ایستگاه‌ها ثبت شده است.



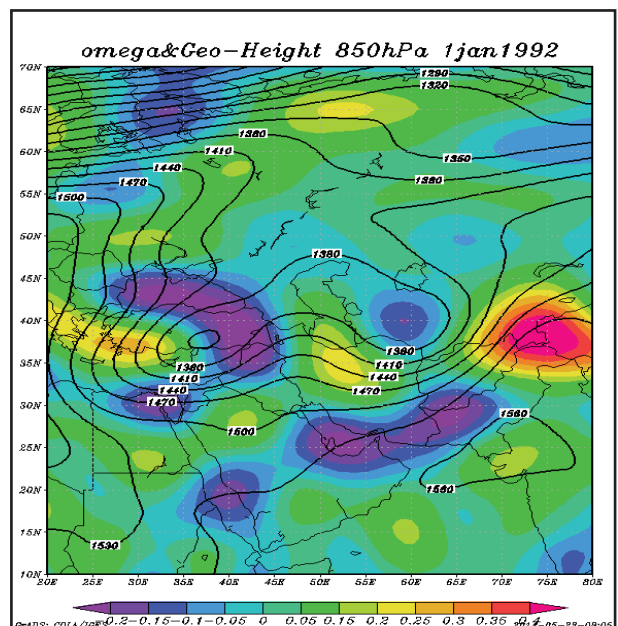
شکل ۷: نقشه ترکیبی امگا و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲

نشان می‌دهد که الگویی از موج راسبی را مشخص کرده که در آن یک ناوه عمیق بر روی نیمه غربی خاورمیانه استقرار یافته است. شکل‌گیری یک پشته با محور شمال شرق- جنوب غرب بر روی شرق اروپا باعث عمیق‌تر شدن ناوه در شرق خود گشته است. در این الگو جهت جریان بر روی ایران در ترازهای میانی جو جنوب غربی بوده و حداکثر ناپایداری را در بر روی غرب ایران ایجاد کرده است. این الگو باعث شده تا رطوبت در تراز زیرین جو بصورت

قطبی را به عرض‌های میانه و جبهه‌زایی فعال را فراهم آورده است. اما نکته مهم و مؤثر بر بارش‌های برفی محدوده مورد مطالعه حضور یک موج کوتاه در مرزهای غربی ایران است که نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد ناپایداری‌های منجر به بارش سنگین برف داشته است.

-الگوی گردشی (D)

قرارگیری این الگو در شرق مدیترانه سبب انتقال رطوبت به کشور شده و از طرفی سردچال در منطقه سبب شدت یافتن صعود و در نهایت ریزش برف و وقوع کولاک گشته است (شکل D۵). اگر چه این فرود از عمق قابل توجهی برخوردار است، اما کشیدگی هسته سردچال موجب جهت‌گیری غربی-شرقی پایه فرود شده است. به نظر می‌رسد ناپایداری‌های ایجاد شده در محدوده مورد مطالعه بیش از آنکه از جریانات صعودی جلوی فرود تاثیر پذیرد، بیشتر تحت



شکل ۶: نقشه ترکیبی امگا و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲

الف) الگوهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
با بررسی نقشه‌ی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال، می‌توان مناطق اصلی فعالیت‌های همدیدی، مثل مراکز کم ارتفاع و پر ارتفاع را در این تراز شناسایی کرد. بدین منظور برای شناسایی کامل مراکز فعالیت در این سطح اقدام به ترکیب دو پارامتر، ارتفاع ژئوپتانسیل و امگا در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال شد. این نقشه‌های ترکیبی مراکز فشار را بصورت پشته و ناوه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به خوبی

حضور یک کمفشار با فشار مرکزی ۱۰۰۵ هکتوپاسکال را در زمان مورد نظر بر روی غرب خاورمیانه تایید می‌کند. این کمفشار با قرارگیری در زیر محور فرود و در ناحیه چرخندگی مثبت سبب شده تا شرایط در سطح زمین نیز برای صعود هوا مهیا گردد. از طرفی استقرار یک سلول پرفشار با هسته‌ای سرد در نواحی شرق اروپا، باعث شده تا شیو تغییرات فشار افزایش یابد و ناپایداری در منطقه تشدید شود.

د) الگوی پیچانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

با تحلیل وضعیت پیچانه‌ها در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال قرارگیری مرکز پیچانه قوی بر روی شرق مدیترانه که قدرت هسته مرکزی آن ۲۷۵- ژئوپتانسیل متر بوده که بواسطه‌ی این مراکز قوی آب و هوای منطقه ایران و منطقه خاورمیانه تحت تاثیر قرار گرفته است. با استقرار منحنی‌های منفی پیچانه بر روی اکثر نواحی ایران، شرایط ناپایداری شدیدی بر روی منطقه حاکم شده و با ایجاد تلاوایی مثبت بر روی این نواحی، باعث صعود هوا، واگرایی سطوح فوقانی و شرایط کژفشاری شدیدی شده است. با استقرار مقادیر منفی پیچانه بر روی ایران و حاکمیت جریان پادساعتگرد بر روی منطقه، شرایط از نظر دینامیکی برای صعود هوا فراهم شده است. این حالت، باعث تشدید شرایط کژفشاری بر روی منطقه شده و هوای منقلب را برای ایران به ارمغان آورده است که باعث تولید بارش سنگین برف در مناطق غربی ایران شده است (شکل ۹).

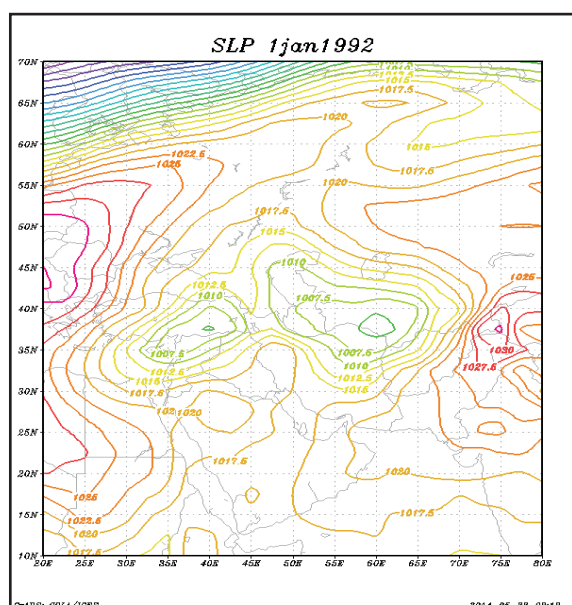
مناسب انتقال یابد و با تداوم هوای سرد در سطوح فوقانی باعث ایجاد بارش سنگین برف در محدوده مورد مطالعه شد (شکل ۶).

ب) الگوهای تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

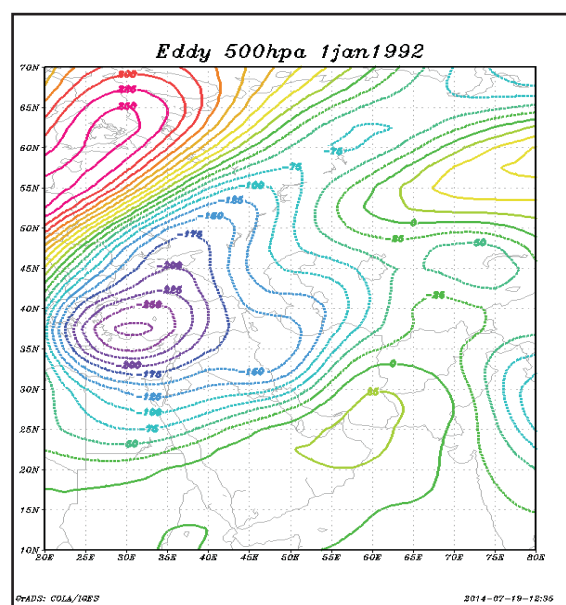
برای بررسی الگوهای فشار و معرفی مکانیسم ناپایداری در ترازهای پایینی جو اقدام به ترکیب دو پارمتر امگا و ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال شد. این سطح شرایط جوی را در سطوح پایینی اتمسفر نمایان می‌کند. با توجه به شکل ۷ یک فرود مورب، با محور شمال شرقی-جنوب غربی در غرب منطقه حضور دارد که با بررسی شاخص ناپایداری در این سطح می‌توان به این نتیجه رسید که، ناپایداری در این سطح نسبت به سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال شدیدتر ولی در محدوده کمتری می‌باشد. به گونه‌ای که قسمت اعظم آن بر روی شمال غرب کشور و جنوب کشور است. می‌توان از بررسی نقشه‌های تهیه شده برای این سطح دریافت که، بارش‌های سنگین برف در طبقات مختلف جوی با یکدیگر مرتبط بوده و ناپایداری در سطوح پایین‌تر بیشتر از سطوح بالاتر می‌باشد. به طوری که با افزایش ارتفاع صعود توده هوا با سرعت کمتری ولی در محدوده بیشتری اتفاق می‌افتد.

ج) الگوهای فشار سطح زمین

جهت بررسی الگوی فشار در سطح زمین اقدام به ترسیم نقشه فشار تراز دریا برای روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲ شد (شکل ۸). این نقشه همدیدی



شکل ۹: نقشه پیچانه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲



شکل ۸: نقشه فشار سطح زمین روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲

الگوی ضخامت جو

جهت بررسی وضعیت ضخامت جو، ضخامت بین ترازهای ۵۰۰-۱۰۰۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۱۰). نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که در زمان رخداد بارش سنگین برف در استان همدان، ضخامت جو بنا به ریزش هوای سرد و افت ژئوپتانسیل در ترازهای مذکور، در شرق اروپا و جنوب غرب ایران با کاهش روبرو بوده است که نتیجه آن گسترش جوی گزفشار بر روی ایران و به خصوص منطقه مورد بررسی است. این گزفشاری و کاهش ضخامت در سطح مذکور بنا به ریزش هوای سرد عرض‌های بالاتر بوده که هنگام ورود به منطقه، هوای گرم و مرطوب جنوب ایران را وادار به صعود می‌کند. این الگوها، منطبق بر محوره ناوه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است و چرخندگی مثبتی که در منطقه خلیج فارس بوجود آورده سبب انتقال رطوبت به نواحی داخلی کشور شده که در

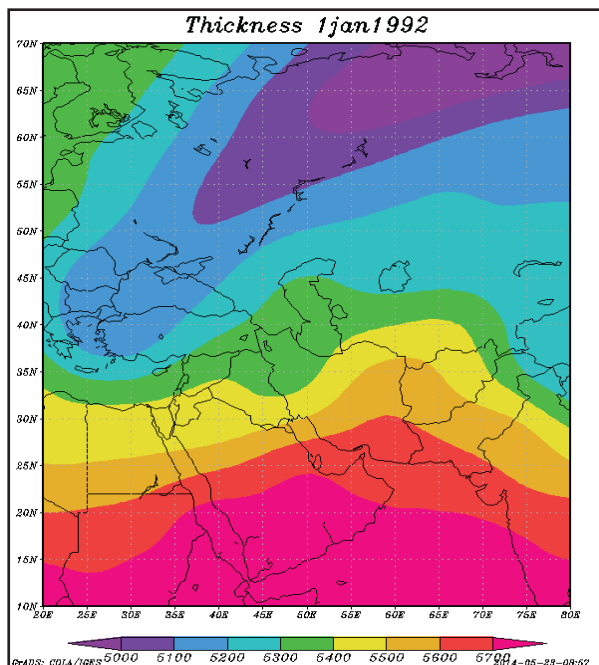
نهایت به بارش در نواحی غربی کشور ختم شده است.

الگوی تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

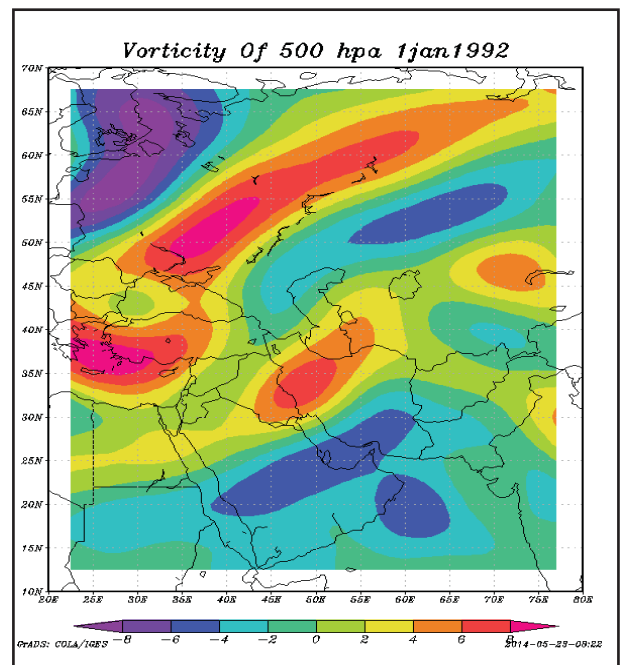
چرخش بردار سرعت، حول محور عمود بر سطح زمین را تاوایی گویند که با رابطه ۲ نمایش داده شده و از آن به عنوان تاوایی نسبی یاد می‌شود:

$$\xi = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{رابطه ۲:}$$

ξ تاوایی نسبی، u و v مولفه‌های سرعت باد (شرق سو و شمال سو) می‌باشد که تغییرات آن‌ها را در این رابطه نسبت به محور x و y محاسبه می‌کنند. تاوایی نسبی در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت، مثبت در نظر گرفته شده و منفی بودن این شاخص نزول هوا را نشان می‌دهد (آنتی سیکلونی). واحد اندازه‌گیری آن، عکس ثانیه می‌باشد (فلاح قاهر، ۴۵۷، ۱۳۹۰).



شکل ۱۱: نقشه تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲



شکل ۱۰: نقشه ضخامت جو بین لایه‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲

که بر این منطقه ایجاد شده هماهنگ است.

الگوی همگرایی و واگرایی جو

واگرایی عبارت است از ضرب نقطه‌ای عملگر ∇ در یک بردار

دلخواه مانند $\vec{v}$. در یک فضای دو بعدی واگرایی $\vec{v} = u\hat{i} + v\hat{j}$

بصورت زیر تعریف می‌شود:

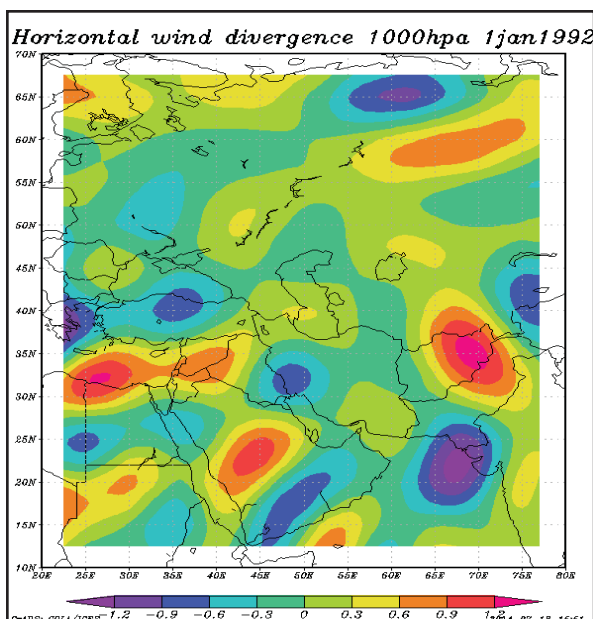
بر این اساس مشخص شد بیشینه تاوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دقیقاً بر روی غرب کشور بود که مقدار آن به بیش از ۶ متر بر ثانیه می‌رسد. در این شکل تاوایی مثبت و شدیدی در غرب اروپا مشاهده می‌شود که با محور شرقی ناوه مطابقت دارد از طرفی مقادیر تاوایی مثبت بر روی غرب ایران نیز با موج کوتاهی

رابطه ۳:

$$\nabla \cdot \vec{V} = \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} \right) \cdot (u\hat{i} + v\hat{j})$$

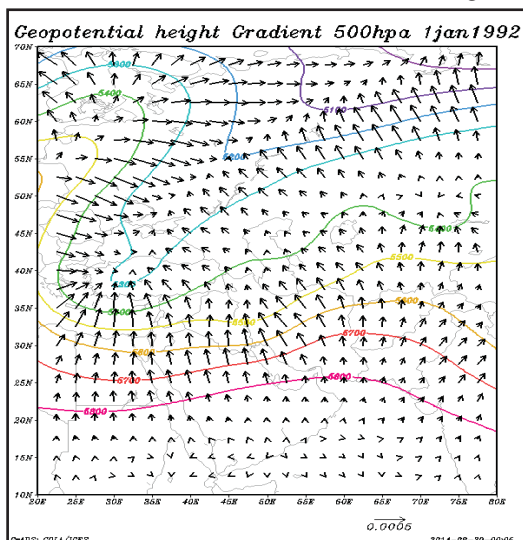
$$\nabla \cdot \vec{V} = \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right]$$

حاصل این عمل یک کمیت نرده‌ای است که واگرایی $\vec{V}$ نامیده می‌شود. مقادیر مثبت این کمیت نماینده واگرایی و مقادیر منفی نماینده همگرایی هستند. بر این اساس برای روز مورد نظر رابطه‌ی فوق محاسبه شد.

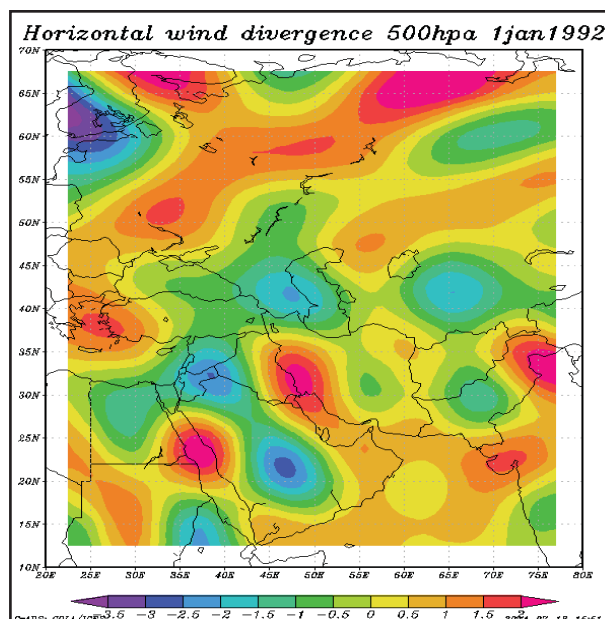


شکل ۱۳: نقشه واگرایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲

ناپایداری و آشوب‌های جوی و تشکیل چرخند بر روی منطقه شده است. حرکت واگرایانه شدید رودباد مذکور که با تاوایی مثبت همراه می‌باشد، صعود شدید هوا را به دنبال داشته و در نتیجه، باعث شدت یافتن بارش‌ها بر روی منطقه شده است.



شکل ۱۴: نقشه وضعیت رودباد در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲



شکل ۱۲: نقشه واگرایی سطح زمین روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲

با توجه به شکل ۱۲ مقادیر منفی واگرایی در سطح زمین، نشان از همگرایی بسته هوا در این سطح و صعود آن است که هسته بیشینه فعالیت در جنوب غرب ایران بوده که در امتداد نوار غربی کشور کشیده شده است. از طرفی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال واگرایی شدیدی رخ داده که سراسر غرب و جنوب غرب را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۱۳). می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که صعود هوا با واگرایی شدید در ترازهای فوقانی در تشدید بارش‌های سنگین برف نقش به سزایی را ایفا می‌کنند.

الگوی رودبادها

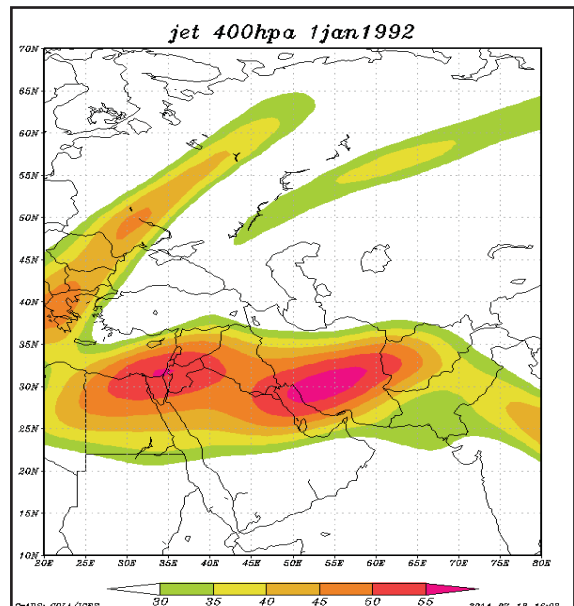
در زمان رخداد بارش سنگین برف در منطقه، الگوی رودباد جنب حاره در تراز ۴۰۰ هکتوپاسکال بر روی اکثر نواحی ایران کشیده شده است. این رودباد دارای دو هسته بیشینه سرعت، یکی در شرق دریای مدیترانه و دیگری در نیمه جنوبی کشور به ترتیب با سرعتی معادل ۵۰ و بیش از ۵۵ متر بر ثانیه است. حاکمیت این رودباد بر روی ایران باعث کنترل هوای سطح زمین و تشدید و تقویت

نتیجه‌گیری

بررسی آماری و سینوپتیکی بارش‌های برف سنگین و فراگیر در استان همدان نشان داد ژانویه، فوریه و دسامبر دارای بیشترین فراوانی رخداد بارش سنگین برف می‌باشند. این بارش‌ها در ارتباط با الگوهای گردشی ویژه‌ای روی داده که شناسایی این الگوها با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی ممکن و چهار الگو شناسایی شد، که فرود عمیق با هسته سردچال پدیده غالب می‌باشند. با بررسی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل و ضخامت، تاثیر هوای سرد عرض‌های بالاتر در بوقوع پیوستن بارش برف مشهودتر می‌شود. وقوع سردچال در پی ریزش هوای سرد به عرض‌های پایین‌تر باعث شده تا از ضخامت جو در قسمت محور ناوه کاسته شده و در شرق این محور با افزایش تاوایی سبب تغییر جهت بادهای از حالت مداری به نصف النهاری گشته و شرایط صعود سریع توده هوا را فراهم آورده است. با بررسی نقشه‌های مربوط به شاخص ناپایداری (امگا) می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که برای بوقوع پیوستن چنین شرایطی باید ناپایداری در تمام سطوح وجود داشته باشد که نقشه‌های امگا و تاوایی گویای این فرآیند هستند. در زمان وقوع بارش‌های سنگین برف، یک سلول کمفشار بر روی قسمت‌های شمالی ایران مستقر بوده که دارای دو سلول کوچک‌تر با منحنی‌های بسته، یکی در غرب و دیگری در شرق منطقه مورد مطالعه است. این افت فشار سبب صعود توده هوا از سطح زمین شده و با صعود خود به لایه‌های بالاتر، این فرآیند تشدید و سبب تبدیل سریع قطرات آب به برف و ریزش آن بطور فراگیر در منطقه شده است.

منابع

- حیدری، ح؛ (۱۳۸۴). ناحیه‌بندی بارش در شمال غرب و غرب ایران بر مبنای تحلیل مولفه‌های اصلی مقادیر کوواریانس، مجله پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تهران، دوره ۳۷، شماره ۵۲، ص ۱۸۸. <http://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=۳۷۳۳۴>
- کاویانی، م ر؛ غیور ح؛ بهرامی، م؛ (۱۳۸۲). برآورد سطح پوشش و مقدار ریزش برف در ارتفاعات شمال تهران مطالعه موردی: حوضه رودخانه تجریش (دربند و گلابدره). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۵، ص ۱۸۲.
- <http://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=۲۹۱۴۹>
- اسلامی، م، فیروز بخت، ع. (۱۳۷۳). بررسی توزیع مکانی بارش برف در



شکل ۱۵: وضعیت شیو فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱ ژانویه ۱۹۹۲

الگوی شیو افقی ارتفاع ژئوپتانسیل

شیو افقی ارتفاع ژئوپتانسیل عبارت است از آهنگ تغییرات مکانی ارتفاع ژئوپتانسیل که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\nabla Z = \frac{\partial Z}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial Z}{\partial y} \hat{j} \quad \text{رابطه ۴:}$$

∇Z کمیت نرده‌ای ارتفاع ژئوپتانسیل را به کمیت برداری شیو ارتفاع ژئوپتانسیل تبدیل می‌کند که بر حسب متر بر متر سنجیده می‌شود. در جمله اول معادله بالا ∂Z تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل در راستای X و ∂x اختلاف متریک طولی و در جمله دوم ∂Z تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل در راستای Y و ∂y اختلاف متریک عرضی میان دو نقطه است. جهت بررسی وضعیت شیو ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، ضریب مورد نظر در محیط نرم افزار GrADS بر روی داده‌های HGT اعمال گردید. نتایج حاصل از این کار در شکل ۱۵ آورده شده است. با توجه به این شکل شیو فشار به سمت مرکز سردچال واقع در غرب ترکیه است. این تغییرات نشان از ناپایداری جو در منطقه مورد نظر است. شیو شدید ارتفاع ژئوپتانسیل، افت ژئوپتانسیل را در بر داشته که در نهایت صعود سریع و بارندگی‌های سنگینی را در بر داشته که سبب نزول برف به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در استان همدان شده است.



- Waterloo, Canada.
- Latenser. M, P. Etchevers, (2005), "A Snow Climatology For The French Alps For The Period 1958-2003 " Geophysical Research, Vol 7.
- Perkova. N, Koleva.E, Alexandrova.v, (2004), "Winter Climate Variability At Danube Plain, North Bulgaria ", Meteorologische Zeitschrift, Vol 13.
- Eva Bednorz, Tomasz Kossowski (2004), "Long-term Changes in Snow Cover Depth in Eastern Europe ", Climate Research, Vol 27.
- Bednorz (2002), "Snow Cover in Western Poland and Macro scale Circulation Condition", International Journal of Climatology, Vol 22.
- حوزه‌های دز و کارون. اولین سمینار هیدرولوژی برف و یخ، ارومیه.
- رشتچی، ژ. (۱۳۷۳). معرفی شبکه ایستگاه‌های برف‌سنجی کشور، مجموعه مقالات اولین سمینار برف و یخ، ارومیه.
- Booth, B. J., 1970, Dew Point Temperature as a Snow Predictor, Met. Mag., London, 87, PP. 363-367.
- Boyden, C. J., 1964, A Comparison of Snow Predictors, Met. Mag., London, 93, PP. 353-365.
- Elizabeth A. Burakowski (2008), "Trends in Wintertime Climate in the Northeastern United states ". Journal of Geophysical Research; Vol 113.
- Thomas.G. Huntington (2005), "The Denity of Falling Snow in New England 1949-2001 ", 62 Eastern Snow Conference,