



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۷۱
پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۱۳۳-۱۲۱

* محمد رضایی^۱
علی صادقی^۲
علی پورقیومی^۳

تحلیل همدیدی-ماهواره‌ای مخاطره برف سنگین در استان کرمان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۲۴

چکیده

بارش‌های برف سنگین و فراگیر در عرض‌های جغرافیایی پایین به‌عنوان یک مخاطره آب‌وهوایی غیرمنتظره به حساب می‌آیند. هدف این پژوهش شناسایی رخداد برف‌های سنگین و فراگیر استان کرمان و تحلیل چگونگی رخداد آن با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و بازتحلیل شده می‌باشد. آمار روزهای برفی ایستگاه‌های سینوپتیک بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که استان کرمان در ژانویه ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ دو رخداد برف سنگین و فراگیر را تجربه نموده است. ابتدا برای محاسبه مدت ماندگاری و مساحت پوشش برف از داده‌های پوشش برف سنجنده مادیس استفاده شد. نتایج نشان داد که روزهای ۱۶ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۰۸ و ۷ تا ۱۰ ژانویه ۲۰۱۴ بازه زمانی حداکثر پوشش برف در سطح استان کرمان بوده است. در گام بعد شرایط همدید مرتبط با دو رخداد فوق مورد مقایسه قرار گرفت. نقشه‌های فشار تراز دریا، ضخامت جو و دمای سطح، الگوی یکسانی را در دو رخداد مذکور داشته‌اند. نفوذ پرفشار قدرتمند سیبری و به دنبال آن قرار گرفتن خط هم‌فشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال، هم‌دمای صفر درجه و هم ضخامت ۵۵۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی منطقه مورد مطالعه در هر دو رخداد برف ملاحظه می‌شود؛ اما همبستگی بالای مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با ترازهای زیرین، مقادیر مثبت تاوایی و شرایط رطوبت نسبی در ژانویه ۲۰۱۴ نسبت به ژانویه ۲۰۰۸ بهتر بوده و همین عوامل موجب گردیده که ارتفاع و گستره‌ی فضای برف در ژانویه

E- mail: Mohammad.rezaey@modares.ac.ir

* ۱- مدرس دانشگاه فرهنگیان البرز. (نویسنده مسئول).

۲- گروه جغرافیا، دانشگاه فرهنگیان، تهران.

۳- مدرس دانشگاه فرهنگیان البرز.

۲۰۱۴ بارزتر باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند الگوی مناسبی برای پیش‌بینی بارش‌های برف سنگین در این منطقه باشد.

کلید واژه‌ها: مخاطره برف سنگین، اقلیم‌شناسی ماهواره‌ای، تحلیل همدید، استان کرمان.

مقدمه

بارش‌های برف سنگین اثرات زیان باری بر روی فعالیت‌های بیرونی انسان، منازل مسکونی، شبکه حمل‌ونقل و گیاهان و جانوران می‌گذارد (Esteban et al., 2005). گرچه در بسیاری نواحی برف جزء ویژگی دائمی آن محسوب می‌شود (همانند قطب‌ها یا نواحی بسیار مرتفع کوهستانی) و در برخی نواحی (همانند عرض‌های میانی) نیز این پوشش برفی نقشی مهم در نگهداشت آب و آلودگی سطحی بازی می‌کند اما در برخی نقاط همانند عرض‌های پایین، بخصوص کویری و بیابانی گرم، بارش برف رخدادی غیرمعمول تلقی می‌شود و می‌تواند بر بسیاری از جنبه‌های ساکنان این نواحی تاثیرهای مثبت و منفی زیادی داشته باشد. بارش‌های برف سنگین، موجب بروز خطرات ترافیکی، مشکلات ارتباطی، ایجاد خطر برای ساختمان‌ها و حتی مختل کردن زندگی اجتماعی می‌شود (Bednorz, 2013). به‌طور کلی ریزش برف به دمای محیط بستگی دارد. در مناطق پست عرض‌های پایین (از مدار ۲۰ درجه به طرف استوا در نیمکره شمالی و ۳۰-۲۵ درجه در نیمکره جنوبی)، ریزش برف بندرت صورت می‌گیرد و به‌طور کلی در یک محل معین، سهم برف نسبت به کل بارش با افزایش یا کاهش ارتفاع بیش‌تر می‌شود بطوریکه در بالاتر از یک ارتفاع معین، بارش تنها به‌صورت برف دیده می‌شود (Kaviani and Alijani, 2000: 262).

در ارتباط با دلایل رخداد بارش برف در مقیاس همدید مطالعات متعددی انجام پذیرفته است. Birkeland and Mock (1996) الگوهای اتمسفری تراز ۵۰۰-هکتوپاسکال در جریان بارش‌های برف بالاتر از ۳۲-سانتی‌متر در مونتانا امریکا بررسی نمودند. در پژوهشی دیگر Birkeland and Mock (2000) اقلیم‌شناسی برف را در رشته‌کوه‌های غربی امریکا بررسی کردند. آن‌ها در این دو پژوهش نشان دادند که تغییرات فضایی برف و بهمن ارتباط بسیار نزدیکی با ناهنجاری تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دارد. Spreitzhofer (1999) به طبقه‌بندی الگوهای همدید منجر به توفان‌های برف شدید در استرالیا پرداخت. وی نشان داد دو الگوی اصلی که یک جریان شمال‌غربی و دیگری سیستم کم‌فشار بر روی مدیترانه غربی منجر به شرایط توفان برف در استرالیا می‌شود. Birkeland et al., (2001) با بهره‌گیری از تحلیل مولفه‌های مبنا و خوشه‌بندی، نقشه‌های ترکیب ناهنجاری تراز ۵۰۰-هکتوپاسکال را هنگام بهمن‌های شدید برای ۴-ناحیه در غرب ایالات متحده طبقه‌بندی نمودند. (Esteban et al (2005) با قرار دادن آستانه ۳۰ سانتی‌متر برف در ۲۴ ساعت، شرایط همدید روزهای برفی سنگین در آندورا (کشوری کوچک واقع در پیرنه) را بررسی نمودند. آن‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مولفه‌های مبنا هفت الگوی اصلی برای سطح زمین، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ضخامت جو مشخص نمودند که در اغلب آن‌ها جریان باد از اقیانوس

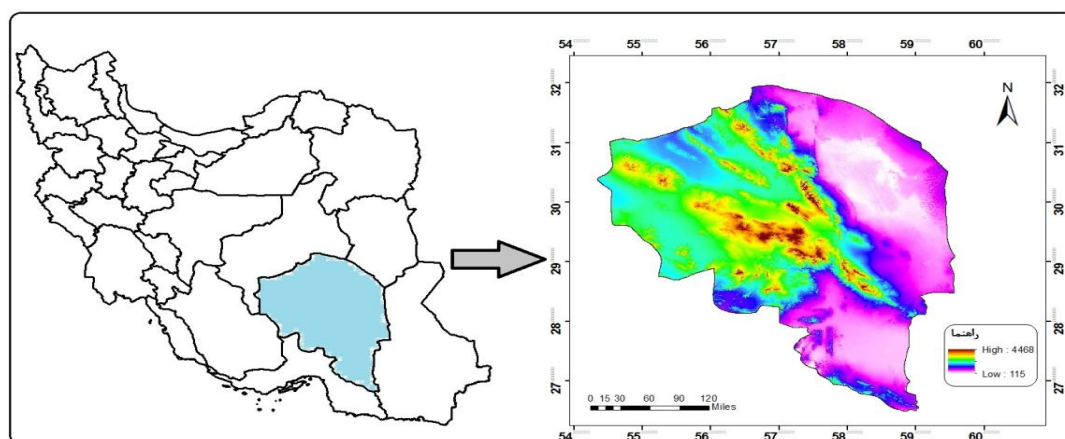
اطلس وجود داشته است. اثر الگوهای گردشی بزرگ مقیاس همچون نوسان اطلس شمالی نیز بر روی ماندگاری پوشش برف نیز موضوع برخی از مطالعات بوده است. (Falarz (2007) نشان داد که در ماندگاری پوشش برف در لهستان، الگوهای بزرگ مقیاس تاثیر بیش‌تری نسبت به جریاناتی که بر روی خود لهستان بوده است، داشته‌اند و بازه زمانی پوشش برف در لهستان با نوسان اطلس شمالی ارتباط مثبت داشته است. (Amini Nia et al (2010) با استفاده از روش‌های تحلیل خوشه‌ای و مولفه‌های مبنا به بررسی شرایط همدید برف سنگین در شمال‌غرب ایران پرداختند. آن‌ها با قرار دادن آستانه ۱۵ سانتی‌متر برف در ۲۴ ساعت، ۶۶ مورد را در فصل سرد سال جدا نمودند و نتیجه گرفتند که ۶ الگو فشار تراز دریا که اکثر آن‌ها ترکیبی از جریان هوای سرد از سمت شرق و شمال‌شرق حضور داشته، در این پدیده دخالت داشته‌اند. همچنین به دلیل وجود کم‌فشار در عراق تزریق رطوبت از جنوب شکل گرفته است. (Rezaei et al (2012) در تحلیل همدید برف در دشت گیلان نشان دادند که شرایط مذکور به دلیل ورود کم‌فشار قطبی که توسط بادهای غربی وارد منطقه می‌شود، رخ داده است و بیش‌تر رطوبت این سیستم‌ها از دریای مازندران و سپس دریای سیاه و مدیترانه بوده است. (Bednorz (2013) اثرات اقتصادی و علل همدید بارش برف را در زمین‌های پست لهستان و آلمان بررسی نمود. وی نشان داد که هنگام بارش‌های برف سنگین یک ناهنجاری منفی در فشار سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در اروپای مرکزی دیده می‌شود؛ اما ماندگاری پوشش در غالب مناطق در ارتباط با ناهنجاری مثبت فشار تراز دریا می‌باشد.

در سطح داخلی مطالعات متعددی در ارتباط با عوامل همدید بروز یخبندان و سرماهای شدید انجام شده است. (Alijani and Hoshyar (2008) در مطالعه خود پی بردند که سرمای شدید و بارش برف سنگین در شمال‌غرب به دلیل قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در قسمت عقب ناوهای عمیق و همچنین وجود یک پرفشار در سطح زمین است. (Azizi et al (2006) علت سرمای شدید ۲۰۰۸ را حاکمیت سامانه بندالی، فرا رفت بادهای سرد شمالی و گسترش زبانه پرفشار سیبری دانسته‌اند. (Safari and Salahi (2010) نشان دادند که بسیاری از ریزش‌های برف سنگین در شهرستان کرمانشاه، با زبانه‌های پرفشار و قرارگیری این شهرستان در زیر جلو فراز موج بادهای غربی در ارتباط است. (Fatahi and Vazifehdoost (2011) دما و گستره سطح برف را با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس برای حوضه‌های استان گلستان بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که تصاویر سنجنده مادیس قابلیت بسیار بالایی برای پایش سطوح برفی دارا هستند. (Pedram et al (2011) ریزش برف و ارتباط آن با دما را در کردستان بررسی کرده‌اند و نتیجه گرفتند که به سبب گذر دما از فاز مثبت به فاز منفی، فراوانی بارش برف در دماهای ۰/۵- درجه سانتی‌گراد بیش از گستره‌های دیگر است و بارش برف در دماهای بیش از ۳ درجه سانتی‌گراد در سطح ایستگاه‌های این استان به‌ندرت رخ می‌دهد. (Fahimi Nejad et al (2012) فرارفت هوای سرد از روی دریای مازندران را به‌عنوان مهم‌ترین عامل ناپایداری هوای سطح زمین در هنگام بارش برف سنگین گیلان (۲۰۰۵) معرفی نمودند. از آنجایی که مناطق واقع در عرض‌های جغرافیایی پایین به دلیل شرایط اقلیمی خاص خود کم‌تر شاهد رخداد بارش‌های برف سنگین می‌باشند وقوع آن منجر به شرایط پیش‌بینی نشده‌ای می‌شود که می‌تواند خسارات زیادی وارد سازد. بدون تردید در

مقیاس همدید شرایط خاصی منجر به وقوع این پدیده در مناطق خشک می‌شود. طی سال‌های اخیر استفاده از داده‌های سنجش از دور در مطالعات آب و هواشناسی رشد چشم‌گیری داشته است اما در تحقیقات همدید که غالباً با نگرش محیطی به گردشی است گرفته به‌ندرت از داده‌های مذکور استفاده شده است. هدف از مطالعه‌ی حاضر استخراج مساحت و مدت زمان ماندگاری پوشش برف و شناخت عوامل همدید برف‌های سنگین استان کرمان و به‌کارگیری داده‌های سنجش از دور در روش محیطی به گردشی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

استان کرمان به‌عنوان پهناورترین استان کشور شرایط آب‌وهوایی گرم و خشکی دارد. وجود بیابان لوت و بلندی‌های هزار در کنار یکدیگر تنوع آب‌وهوایی بی‌نظیری را در این پهنه به‌وجود آورده است. شکل (۱) ناهمواری‌ها و موقعیت جغرافیایی استان کرمان را در ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱: ناهمواری‌ها و موقعیت جغرافیایی استان کرمان در ایران

Figure 1: Topography and geographical location of Kerman province in Iran

در پژوهش حاضر از داده‌های سنجش از دور (دمای سطح زمین و پوشش برف سنجنده مادیس) و بازکاوی شده استفاده شده است. داده‌های دمای سطح زمین از محصولات سطح ۳ سنجنده مادیس (ترا)، در مقیاس جهانی با قدرت تفکیک ۵ صدم درجه جغرافیایی و با نام اختصاری MOD11C3 که مقادیر دما در نوع داده‌ای ۱۶ بیتی و در دامنه‌ای بین ۷۵۰۰ تا ۶۵۵۳۵ قرار داده شده است که برای تبدیل به درجه کلونین بایستی پیکسل را در عدد ۰/۰۲ ضرب نمود. داده‌های روزانه پوشش برف نیز به‌صورت جهانی در پیکسل‌های ۵۰۰ متری با نام اختصاری MOD10A1 حاوی پوشش برف، آلودگی برف، تکه‌های برف و برآورد کیفیت در فرمت سلسله مراتبی^۴ گردآوری شده است. MOD10A1 در ورقه‌هایی به ابعاد ۱۲۰۰ در ۱۲۰۰ کیلومتر با قدرت تفکیک ۵۰۰-متر می‌باشند. داده‌های پوشش برف مادیس از الگوریتم شاخص اختلاف نرمال شده پوشش برف و دیگر آزمون‌های جانبی به‌دست می‌آید.

داده‌های فوق از وبسایت مادیس اخذ شدند و به منظور تصحیح هندسی، موزاییک، برش برای محدوده مورد مطالعه و برآورد ویژگی‌های آماری از نرم‌افزارهای ENVI Arc Gis10.2 استفاده گردید. جهت بررسی دلایل همدیدی از داده‌های بازکاوی شده مرکز پیش‌بینی‌های محیطی^۵ با قدرت تفکیک ۲/۵ درجه استفاده گردید. بازکاوی عبارت است از به‌کارگیری یک شیوه واکاوی پیشرفته اما ثابت برای تولید داده‌های یکنواخت شبکه‌ای یا طیفی. یکنواختی به این معناست که تفکیک مکانی و زمانی داده‌ها یکسان است. (Masoudian, 2012). داده‌ها بازکاوی شده به‌کار گرفته شده در این تحقیق عبارت بودند از فشار تراز دریا، دمای سطح یا نزدیک به سطح زمین، ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای ترازهای فوقانی، رطوبت ویژه ترازهای فوقانی، باد مداری و نصف‌النهار و رطوبت نسبی در ترازهای مختلف استفاده شده است. به‌منظور تهیه نقشه‌ها از نرم‌افزارهای گرس، سرفر و جی ای اس استفاده شد. داده‌های ارتفاع برف و مقادیر دمای حداقل ایستگاه کرمان از وبسایت اطلاعات تخصصی شرایط هواشناسی جهان^۶ اخذ گردید. لازم به ذکر است که اساس انتخاب ژانویه ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ به این صورت بود که در این ماه‌ها تعداد بیش‌تری از ایستگاه‌ها گزارش بارش برف ثبت گردیده که خود می‌تواند گواهی بر فراگیر بودن بارش برف در این ماه‌های مذکور باشد.

یافته‌ها و بحث

- پوشش برف ژانویه ۲۰۰۸ و ژانویه ۲۰۱۴

دمای حداکثر، حداقل و میانگین (جدول ۱) نشان می‌دهد که ایران در ژانویه ۲۰۰۸ به مراتب سرمای شدیدتر و فراگیرتری را نسبت به ژانویه ۲۰۱۴ تجربه نموده است. مقایسه دمای سطح زمین در ژانویه ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که ژانویه ۲۰۰۸ متوسط دمای ایران ۴/۸۱ درجه سانتی‌گراد و در ژانویه ۲۰۱۴ ۱۲/۰۷ درجه سانتی‌گراد بوده است. طی ژانویه ۲۰۰۸ که مقارن با موج سرمای شدید سال ۱۳۸۶ در ایران بوده، نیمه شمالی ایران سرمای شدیدی را تجربه کرده است، در حالی که در ژانویه ۲۰۱۴ مناطق سرد منطبق بر بلندی‌های زاگرس و البرز بوده است. نکته قابل ذکر این است که علی‌رغم سرمای شدید سال ۲۰۰۸ و بارش برف سنگین در ایران، در ژانویه ۲۰۱۴ بارش برف فراگیر و موج سرمای شدیدتری در استان کرمان رخ داده است.

جدول ۱- ویژگی‌های دمای روز در سطح زمین ایران در ژانویه ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴

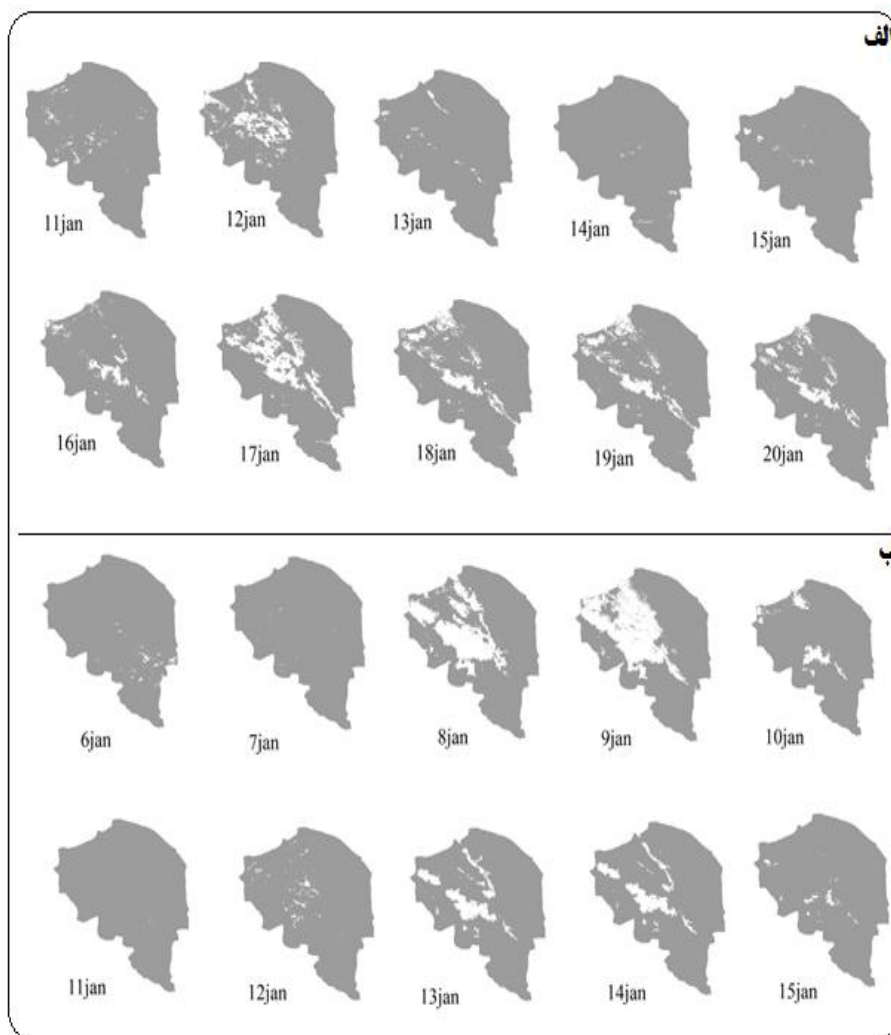
Table 1- Characteristics of daytime surface temperature of Iran in January 2008 and 2014

ماه‌ها	دمای حداقل	دمای حداکثر	میانگین دما	انحراف معیار
ژانویه ۲۰۰۸	-۱۸/۵	۲۵/۵	۴/۸۱	۹/۵
ژانویه ۲۰۱۴	-۱۳/۱	۲۸/۵	۱۲/۰۷	۸/۱۲

5- National Centers for Environmental Prediction

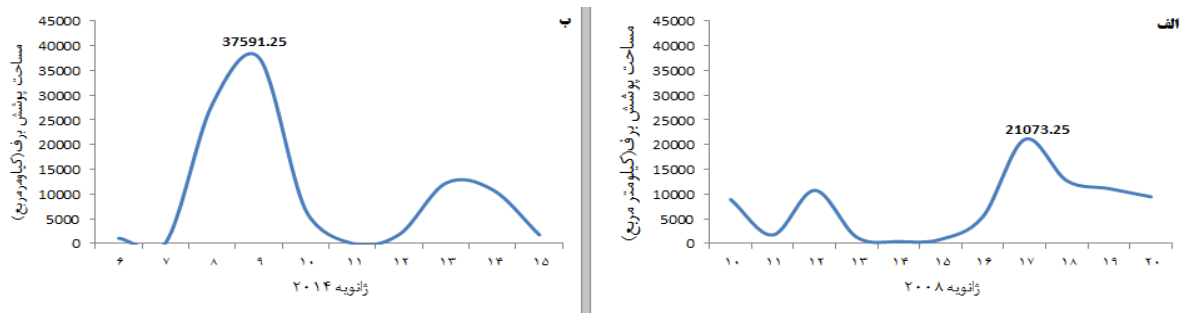
6- <http://www.ogimet.com>

شکل (۲) پوشش برف را در بازه زمانی ۱۱ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۰۸ (الف) و ۶ تا ۱۵ ژانویه ۲۰۱۴ (ب) برای محدوده استان کرمان نشان می‌دهد (پیکسل‌های سفید، برف را نشان می‌دهد). مساحت پوشش برف حاکی از آن است که پوشش برف ژانویه ۲۰۱۴ نسبت به ژانویه ۲۰۰۸ به مراتب فراگیرتر بوده، به گونه‌ای که حداکثر مساحت تحت پوشش برف ۲۱۰۷۳۰۲۵ و ۳۷۵۹۱۰۲ کیلومترمربع به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ بوده است (شکل ۳). روزهای ۱۶ و ۱۷ ژانویه ۲۰۰۸ و ۸ و ۹ ژانویه ۲۰۱۴ اوج گستره پوشش برف در سطح استان کرمان بوده است. منحنی تغییرات پوشش برف نشان دهنده دو نکته مهم می‌باشد. نخست این که، بارش گسترده برف در این بازه زمانی رخ داده است و دوم این که شرایط دمایی در این بازه زمانی به گونه‌ای بوده است که برف بر روی زمین ماندگار بوده است؛ بنابراین اساس تهیه نقشه‌های سینوپتیک در این مطالعه، با استفاده از این دوره زمانی (آغاز و پایان پوشش برف بر روی زمین) می‌باشد.



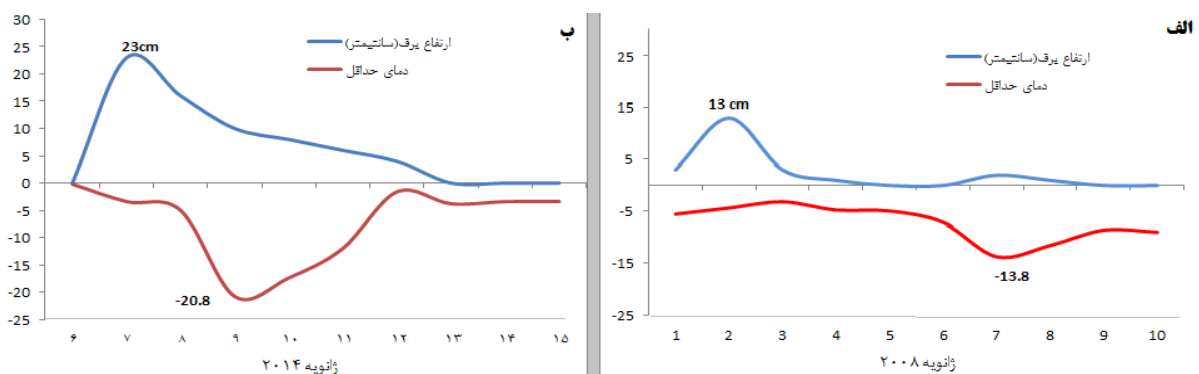
شکل ۲: تغییرات پوشش برف در استان کرمان: الف) ۶ تا ۱۵ ژانویه ۲۰۰۸، ب) ۱۱ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۱۴

Figure 2: Changes in snow cover in Kerman province: a) 6 to 15 January 2008, b) 11 to 20 January 2014



شکل ۳. روند تغییرات مساحت تحت پوشش برف (کیلومتر مربع): الف) ۱۰ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۰۸، ب) ۶ تا ۱۵ ژانویه ۲۰۱۰
 Figure 3: Trend of changes in the area covered by snow (KM²): A) 10 to 20 January 2008, b) 6 to 15 January 2010

حداکثر ارتفاع برف در ایستگاه کرمان در ژانویه ۲۰۰۸ و ژانویه ۲۰۱۴ به ترتیب به ۱۳ و ۲۳ سانتی‌متر رسیده است. همان‌گونه که از شکل (۴) مشخص می‌شود، چند روز پس از حداکثر ارتفاع برف دما به حداقل رسیده است. حداقل دمای ایستگاه کرمان در ژانویه ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ به ترتیب به مقادیر شگفت‌انگیز $-۱۳/۸$ و $-۲۰/۸$ درجه سانتی‌گراد رسیده است. بدون تردید اختلاف در دمای حداقل، ارتفاع و گستره فضایی برف را می‌توان در بررسی ویژگی‌های فشار در مقیاس همدید جستجو نمود.

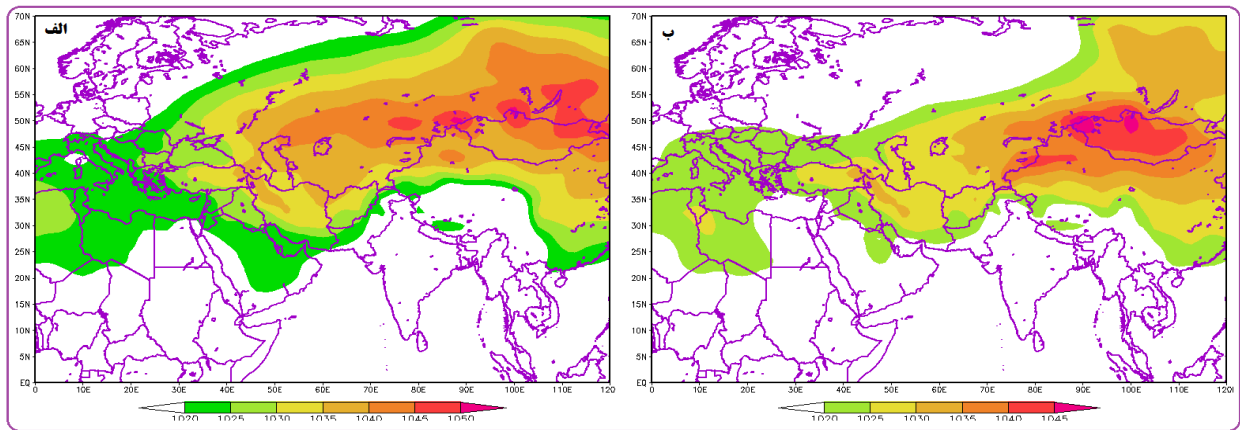


شکل ۴: تغییرات ارتفاع برف و دمای حداقل ایستگاه کرمان: الف) ۱۱ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۰۸، ب) ۶ تا ۱۵ ژانویه ۲۰۱۴
 Figure 4: Changes in snow height and minimum temperature of Kerman weather station: a) 11 to 20 January 2008, b) 6 to 15 January 2010

شرایط همدید برف‌های سنگین

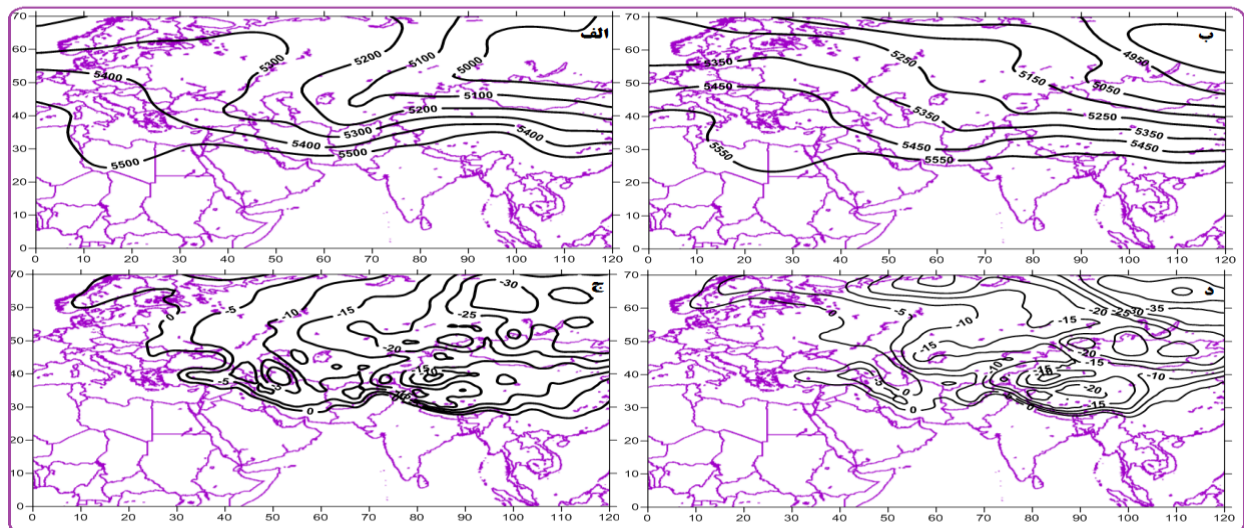
میانگین فشار تراز دریا در بازه زمانی بیش‌ترین پوشش برف (۱۶ تا ۲۰ ژانویه)، در شکل ۵ الف، حاکی از مرکز پرفشار چندهسته‌ای قدرتمندی است که در عرض‌های جغرافیایی ۵۰ درجه شمالی با فشار مرکزی ۱۰۵۰ هکتوپاسکال در شرق کشور روسیه واقع شده است. به دنبال این پرفشار، زبانه‌ی هم‌فشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال استان کرمان را در بر گرفته است. میانگین فشار روزهای ۷ تا ۱۰ ژانویه ۲۰۱۴ (همزمان با بیشینه پوشش برف در استان کرمان) نیز نشانگر وجود پرفشار سیبری با فشار مرکزی ۱۰۴۵ هکتوپاسکال در شرق روسیه است و به مانند الگوی

قبل زبانه ۱۰۲۵ هکتوپاسکال منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. ضریب همبستگی مقادیر فشار تراز دریا بین دو نقشه مذکور ۰/۸۶ می‌باشد که بیانگر شباهت الگوی فشار سطح دریا در بازه‌ی زمانی حداکثر پوشش برف در استان کرمان می‌باشد. متوسط ضخامت جو در بازه‌ی زمانی ۱۶ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۰۸ و ۷ تا ۱۰ ژانویه ۲۰۱۴، نیز نشانگر آن است که در انطباق با پرفشار قوی سطح زمین در منطقه سبیری، کمینه ضخامت جو که نشان‌دهنده‌ی وجود توده هوای سرد است، بر روی این منطقه واقع شده است و منحنی هم ضخامت ۵۵۰۰ متر جنوب کشور ایران را در بر گرفته است. نقشه‌ی دمای سطح یا نزدیک به سطح زمین (در تراز ۹۹۵ هکتوپاسکال) نیز در انطباق با فشار سطح و ضخامت جو می‌باشد. در بازه‌ی زمانی وجود بیشینه پوشش برف بر روی منطقه مورد مطالعه خط همدمای صفر درجه استان کرمان را در بر گرفته است.



شکل ۵: فشار تراز دریا. الف) ۱۶ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۰۸، ب) ۷ تا ۱۰ ژانویه ۲۰۱۴

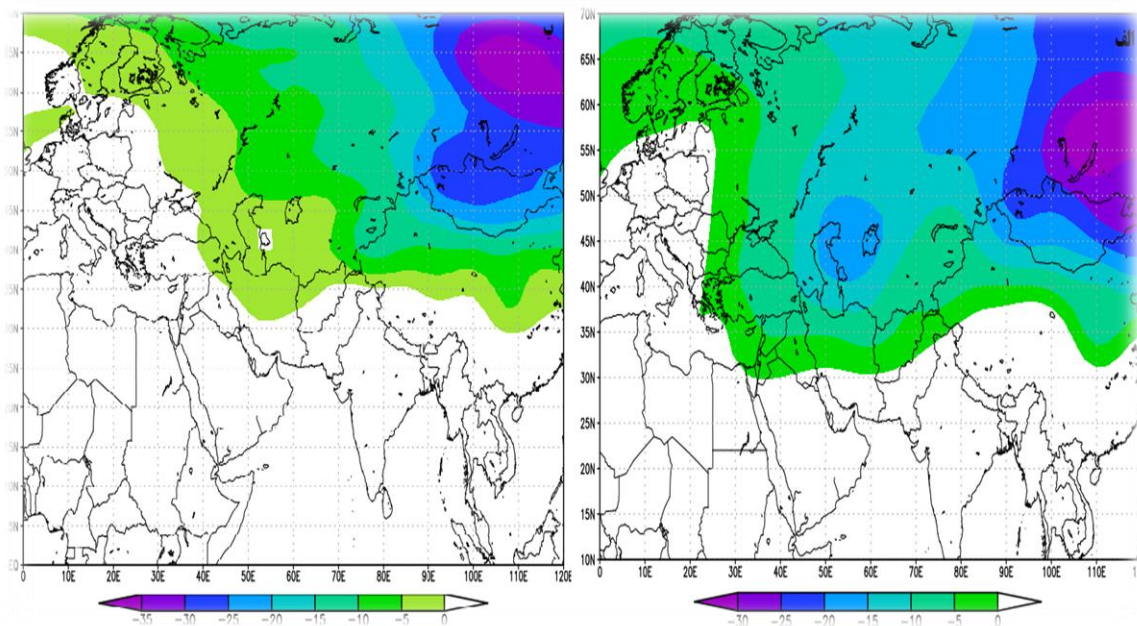
Figure 5: Sea level pressure. a) 16 to 20 January 2008, b) 7 to 10 January 2014



شکل ۶: ضخامت جو. الف) ۱۶ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۰۸، ب) ۷ تا ۱۰ ژانویه ۲۰۱۴. دمای سطح یا نزدیک به سطح زمین، ج) ۱۶ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۰۸، د) ۷ تا ۱۰ ژانویه ۲۰۱۴

Figure 6: The atmosphere thickness. a) 16 to 20 January 2008, b) 7 to 10 January 2014. Surface temperature or close to the ground. c) 16 to 20 January 2008, d) 7 to 10 January 2014

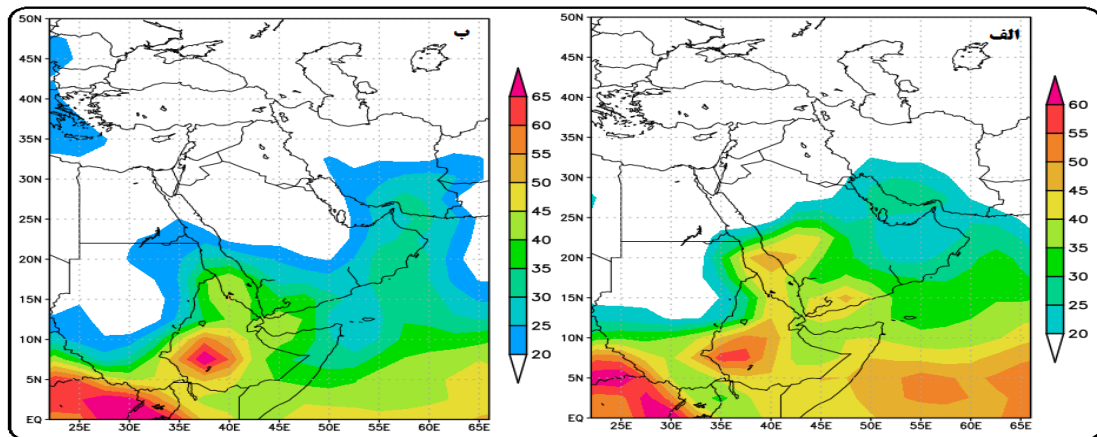
ارتباط بین فشار تراز دریا و دمای سطح زمین در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ (برای روزهای پوشش برف)، نشان داد که در الگوی سال ۲۰۰۸ ضریب همبستگی بین فشار تراز دریا و دمای سطح زمین به $-0/61$ و در سال ۲۰۱۴ به میزان $-0/7$ بوده است. بر این اساس در سال ۲۰۰۸، ۳۷ درصد و در سال ۲۰۱۴، ۴۹ درصد از تغییرات دمای سطح زمین را می‌توان با تغییرات فشار تراز دریا تبیین کرد. تحلیل ارتباط دمای سطح زمین با ضخامت جو نیز به ترتیب برای ژانویه ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ (برای روزهای با پوشش برف)، ضرایب همبستگی $0/95$ و $0/954$ را نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۸، ۹۱ درصد و در سال ۲۰۱۴، ۹۰ درصد تغییرات دما، در ارتباط با تغییرات ضخامت جو بوده است. در هنگام ریزش برف در ایستگاه کرمان، در روزهای ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸ (شکل ۷-الف) و ۷ ژانویه ۲۰۱۴ (شکل ۷-ب)، خط همدمای صفر درجه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به منطقه مورد مطالعه نزدیک بوده است؛ اما در سال ۲۰۱۴، یک سوم شمالی ایران دمای پایین‌تری را دارا بوده است. همانند آرایش الگوهای فشار تراز دریا، ضخامت جو و دمای سطح زمین، خط همدمای صفر درجه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز در هنگام اوج بارش برف در ایستگاه کرمان بین سال‌های مذکور از شباهت بالایی برخوردار بوده است.



شکل ۷: خط مرز همدمای صفر درجه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال. الف) ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸، ب) ۷ ژانویه ۲۰۱۴

Figure 7: The isotherm boundary of zero degree line at 850-hPa. a) January 11, 2008, b) January 7, 2014

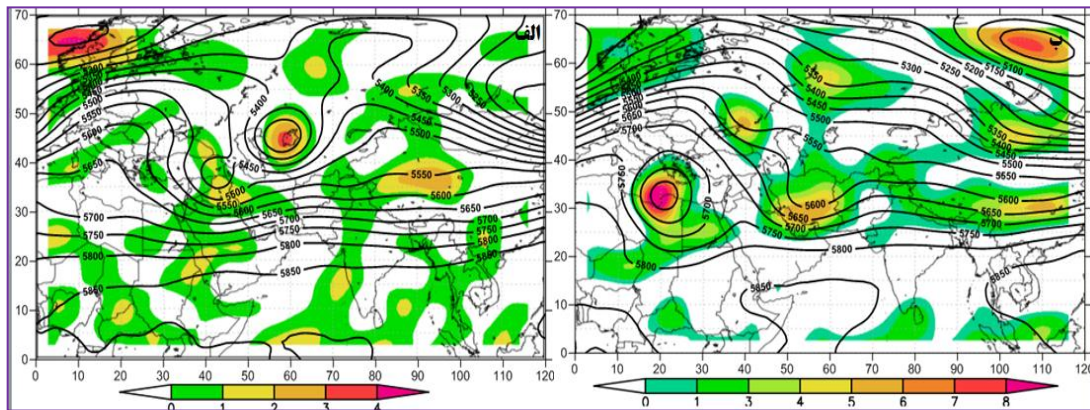
مجموع کل رطوبت ویژه بین ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال در روز اوج فعالیت سامانه بارشی در ایستگاه کرمان، در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴، حاکی از آن است که کانون و تمرکز بیشینه نم ویژه جو به میزان ۶۰ گرم بر کیلوگرم بر روی کشور اتیوپی واقع شده است. براین اساس شرایط رطوبتی برای بارش در منطقه مورد مطالعه مهیا بوده است اما وضعیت رطوبت ویژه در منطقه مورد مطالعه در روز ۷ ژانویه ۲۰۱۴ نسبت به ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱ اندکی بهتر بوده است (شکل ۸).



شکل ۸: مجموع رطوبت ویژه کل جو بین ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال (گرم بر کیلوگرم). الف) ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸، ب) ۷ ژانویه ۲۰۱۴
Figure 8: Total atmospheric specific humidity between 1000 and 500-hPa (g / kg). a) January 11, 2008, b) January 7, 2014

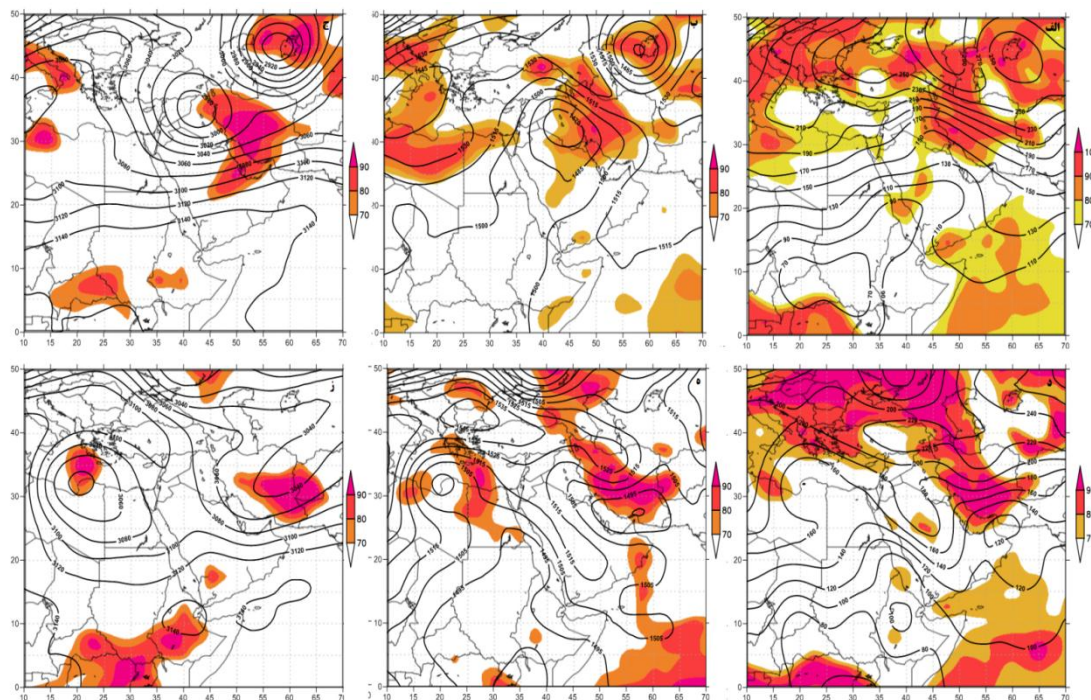
شکل (۹، الف) الگوی تراز ۵۰۰ و مقادیر تاوایی را در روز ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸ نشان می‌دهد. در این الگو مرکز کم ارتفاعی با خط هم ارتفاع ۵۳۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریاچه بایکال واقع شده است. این کم ارتفاع که از آن با عنوان سردچال جوی یاد می‌شود، موجب اجبار حرکت بادهای غربی به سمت عرض‌های پایین شده است. در واقع این سامانه به سبب گسترش پشته جنب‌حاره‌ای بر روی اروپا و به دنبال آن ریزش هوای سرد عرض‌های بالا در وضعیتی بندالی تشکیل شده است. در ارتباط با این کم ارتفاع ناوهای با روند شمال‌شرقی جنوب‌غربی تا غرب دریای مدیترانه پیشروی داشته است. در این هنگام منطقه مورد مطالعه در قسمت شرقی این ناوه قرار گرفته است. به عبارتی دیگر منطقه واگرایی بالایی این ناوه بر روی منطقه استان کرمان واقع شده است؛ اما ناوه مذکور از عمق مناسبی برخوردار نبوده است. در این هنگام میزان تاوایی بر روی استان کرمان یک بوده است. شکل (۹، ب) شرایط ذکر شده را برای روز ۷ ژانویه ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. در این روز سامانه‌ی کم ارتفاع ۵۶۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی دریای مدیترانه شکل گرفته است که موجب ایجاد مانع در برابر بادهای غربی شده است و بر روی کشورمان نیز منجر به شکل‌گیری ناوهای گردیده است که دارای عمق به مراتب بهتری نسبت به روز ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸ بوده است. به‌گونه‌ای که محور ناوه که دارای تاوایی بیش‌تری می‌باشد بر روی منطقه مورد مطالعه واقع شده است. همین عامل موجب شده است که فرارفت سرد در عقب ناوه بهتر صورت گیرد. مقادیر تاوایی در این روز به عدد ۷ رسیده است که نشان می‌دهد شرایط دینامیکی این سامانه به مراتب از سامانه روز ۱۱ ژانویه بهتر بوده است. علاوه بر تاوایی بهتر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و شرایط بهتر ناپایداری در روز ۷ ژانویه ۲۰۱۴ نسبت به ۱۱ ژانویه ۲۰۱۱، شرایط رطوبت نسبی و ارتباط توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با ترازهای زیرین در روز ۷ ژانویه ۲۰۱۴ شرایط بهتر را داشته است. مقادیر ضریب همبستگی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با ترازهای ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در روزهای ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸ و ۷ ژانویه ۲۰۱۴، در جدول (۲) ملاحظه می‌شود. در روز ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸، توپوگرافی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با تراز ۷۰۰ دارای ارتباط بسیار زیاد می‌باشد، اما با تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال این ارتباط کم‌تر شده و در

ترازهای پایین‌تر این عدد به مقادیر منفی رسیده است؛ اما در روز ۷ ژانویه ۲۰۱۴ این ارتباط تا تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بسیار بالا بوده است و در تراز ۱۰۰۰ به کم‌ترین مقدار خود به میزان ۰/۹۵ رسیده است. مقادیر رطوبت نسبی بالاتر از ۷۰ درصد نیز نشان‌دهنده آن است که در تمامی ترازها تمرکز و میزان رطوبت نسبی بر روی استان کرمان در روز ۷ ژانویه ۲۰۱۴ بهتر از ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸ بوده است (شکل ۱۰).



شکل ۹: نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و مقادیر مثبت تاوایی. الف) ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸، ب) ۷ ژانویه ۲۰۱۴

Figure 9: Combined map of 500-hPa geopotential height and positive vorticity values. a) January 11, 2008, b) January 7, 2014



شکل ۱۰: نقشه ترکیبی رطوبت نسبی بالاتر از ۷۰ درصد و ارتفاع ژئوپتانسیل، الف) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸، ب) تراز ۸۵۰

هکتوپاسکال ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸، ج) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸، د) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال ۷ ژانویه ۲۰۱۴، ه) تراز ۸۵۰

هکتوپاسکال ۷ ژانویه ۲۰۰۸، ز) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ۷ ژانویه ۲۰۰۸

Figure 10: Composite map of relative humidity above 70% and geopotential height a) 1000-hPa January 11, 2008. b) 850-hPa January 11, 2008. c) 700-hPa January 11, 2008. d) 1000-hPa 7, January 2008. g) 700-hPa level January 7, 2008

جدول ۲- مقادیر همبستگی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با ترازهای زیرین در روزهای برفی ایستگاه کرمان

Table 2- The correlation coefficients values of 500-hPa geopotential height with lower levels in snowy days of Kerman station

روزهای برفی	تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال	تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال	تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال
۱۱ ژانویه ۲۰۰۸	۰/۹۴	۰/۴۳	-۰/۰۵	-۰/۳۸
۷ ژانویه ۲۰۱۴	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۵

نتیجه گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر استخراج مساحت و مدت زمان ماندگاری و شناخت عوامل همدید مخاطره برف‌های سنگین استان کرمان بوده است. داده‌های دمای روز هنگام سطح زمین از سنجنده مادیس نشان می‌دهد که ژانویه ۲۰۰۸ کشور ایران به مراتب سرمای فراگیرتری داشته است؛ اما وضعیت مساحت پوشش برف در استان کرمان و مقادیر ارتفاع و دمای حداقل ایستگاه کرمان در ژانویه ۲۰۱۴ شرایط حدی تری داشته است. به منظور تحلیل این شرایط در یک مقیاس همدید، از داده‌های بازکاوی شده مرکز پیش‌بینی‌های محیطی استفاده گردید. ابتدا وضعیت الگوی اتمسفری، شرایط دما و ضخامت جو در بازه‌ی زمانی حداکثر پوشش برف بررسی گردید. مساحت پوشش برف به دست آمده از داده‌های سنجنده مادیس نشان می‌دهد که روزهای ۱۶ تا ۲۰ ژانویه ۲۰۰۸ و ۷ تا ۱۰ ژانویه ۲۰۱۴ مساحت پوشش برف در استان کرمان به حداکثر رسیده است. در این هنگام ضخامت جو و الگوی فشار همبستگی فضایی بالایی با یکدیگر داشته‌اند. در هر دو پدیده پرفشار قدرتمند سیبری و خط هم ضخامت ۵۵۰۰ ژئوپتانسیل متر در جنوب ایران قرار گرفته است؛ اما آنچه که موجب تفاوت در مساحت، مقدار بارش برف و به دنبال آن دمای حداقل در دو رخداد مذکور شده است را می‌توان در عوامل دینامیکی و رطوبتی جو بالا جستجو نمود. در روز ۷ ژانویه ۲۰۱۴ وضعیت تاوایی و رطوبت نسبی بر روی جو استان کرمان بهتر بوده است، علاوه بر آن هماهنگی بسیار خوبی در مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با ترازهای زیرین خود وجود داشته است که این شرایط در ۱۱ ژانویه ۲۰۰۸ وجود نداشته و همه این عوامل موجب بروز برف فراگیر و به دنبال آن دمای ناهنجار در استان کرمان شده است. نتایج این مطالعه حاکی از سودمند بودن داده‌های سنجنش از دور در مطالعات اقلیم‌شناسی همدید می‌باشد.

References

- Alijani, B., Hoshyar, M., (2008), "Identification of synoptic patterns of severe cold in northwestern Iran", *Physical Geography Research*, 65: 16-1. [In Persian].
- Amininia, K., Lashkari, H., Alijani, B., (2010), "Study and analysis of heavy snowfall fluctuations in northwestern Iran", *Journal of Geographic Space*, 29:135-163. [In Persian].
- Amininia, K., Lashkari, H., Alijani, B., (2010), "Analysis and review of heavy snow synoptic conditions in North West of Iran by using PCA and clustering", *Journal of International Environmental Application and Science*, 5 (1): 17-24. [In Persian].
- Azizi, Q., Akbari, T., Davoodi, M., Akbari, M., (2006), "Synoptic analysis of the severe cold wave in January 2007 in Iran", *Physical Geography Research*, 70: 19-1. [In Persian].
- Bednorz, E., (2013), "Heavy snow in Polish–German lowlands–Large-scale synoptic reasons and economic impacts", *Weather and Climate Extremes*, 2: 1-6.
- Birkeland, K. W., Mock, C. J., (1996), "Atmospheric circulation patterns associated with heavy snowfall events, Bridger Bowl, Montana, USA", *Mountain Research and Development*, 3: 281-286.
- Birkeland, K., W., Mock, C. J., Shinker, J. J., (2001), "Avalanche extremes and atmospheric circulation patterns", *Annals of Glaciology*, 32: 135-140.
- Esteban, P., Jones, P. D., Martín-Vide, J., Mases, M., (2005), "Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees", *International Journal of Climatology*, 25 (3): 319-329.
- Fahimi Nejad, E., Hejazizadeh, Z., Alijani, B., Ziaei, P., (2012), "Synoptic and spatial analysis of snowstorm in Guilan province (February 2005)", *Journal of Geography and Regional Development*, 19: 302-281. [In Persian].
- Falarz, M., (2007), "Snow cover variability in Poland in relation to the macro-and mesoscale atmospheric circulation in the twentieth century", *International Journal of Climatology*, 27 (15): 2069-2081.
- Fatahi, I., Vazifedoost, M., (2011), "Estimation of snow surface temperature and snow cover area using MODIS sensor images (Case study of Golestan province basins)", *Journal of Geographical Research*, 26: 17403-17423. [In Persian].
- Kaviani, M. R., Alijani, B., (2000), "*Principal of Climatology*", Tehran.
- Masoudian, S. A., Askareh, H., Mohammadi, B., Halabian, A., (2012), "*Display and processing of atmospheric data*", Esfahan: Esfahan University Press.
- Mock, C. J., Birkeland, K. W., (2000), "Snow avalanche climatology of the western United States mountain ranges", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81 (10): 2367-2392.
- Pedram, M., Ghaemi, H., Dezfuli, A., Mortazavi, A., (2011), "Snowfall and its relationship with temperature in Kurdistan province", *Geographical Research Quarterly*, 100: 70-55. [In Persian].
- Rezaei, P., Janbaz Ghobadi, G., Jafarzadeh, A., (2012), "Snowfall trend in the central plain of Gilan and its consequences", *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 11: 57-72. [In Persian].
- Safari, H., Salahi, B., (2010), "Synoptic and statistical analysis of heavy snowfall in Kermanshah", Fifth National Conference on Geology and Environment, 2010, 17-18 May, Kermansho. [In Persian].