



Analyzing the Synoptic Systems in the Northern Provinces of Iran during Heavy Snow Events (A Case Study Is January 31 to February 3, 2014)

A. Kashki<sup>1</sup>, H. Haji Mohammadi<sup>2\*</sup>

Abstract

Snow depth data from the Iranian Meteorological Organization was used for the period of January 31 to February 3 2014 in order to study the precipitation of heavy snow in the northern parts of Iran. 1.5 to 2 meters, in some parts more than 3 meters, of snow in 4 days were reported. To analyze the circulation patterns causing this precipitation, air temperature data, Geopotential height, sea level pressure, and sea surface temperature, vertical velocity (Omega), and the orientation and zonal components of the wind were taken from the website of National Center for Environmental Prediction and National Center for Atmospheric Research (NCEP / NCAR) with a resolution of 2.5 by 2.5 degree and the synoptic maps were prepared. The results showed that in the event of heavy snow, the Eastward surface pressure in East Europe and the establishment of a barrier system at 500 hPa in the region along with a very deep trough on the Caspian Sea with NE-SW Brewer caused positive vorticity and the resulting instability initiated the snow fall. On the other hand, the sea surface temperature anomalies in the southern part has exceeded 2 ° Centigrade and caused the transfer of moisture to the entering cold air mass as well as the extreme temperature gradient which triggered the formation of a Front in the Caspian area. The polar vortex in January and February were therefore located exactly on the region, escalating the condition.

**Keywords:** Heavy snowfall, Synoptic Pattern, Deep trough, SST, Polar Vortex, North Iran.

Received: August 17, 2016

Accepted: February 13, 2017

بررسی سیستم‌های سینوپتیک جو در زمان رخداد برف سنگین در استان‌های شمالی ایران  
مطالعه موردی: بارش ۳۱ ژانویه تا ۳ فوریه ۲۰۱۴

عبدالرضا کاشکی<sup>۱</sup> و حسن حاجی محمدی<sup>۲\*</sup>

چکیده

به منظور بررسی بارش‌های فوق سنگین برف در بازه زمانی ۱ ژانویه تا ۳ فوریه در شمال کشور از گزارش سازمان هواشناسی مبنی بر ارتفاع برف در روزهای مورد نظر استفاده شد. به گفته سازمان در ۴ روز برفی معادل ۱/۵ تا ۲ متر و در برخی نواحی به بیش از ۳ متر نازل شده است. در ادامه برای تحلیل الگوهای گردشی بوجود آورنده بارندگی مذکور از داده‌های دمای هوا، ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار تراز دریا، مولفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد، سرعت قائم (امگا) و دمای سطح آب با تفکیک ۲،۵×۲،۵ درجه از تارنمای مربوط به مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/علوم جوی آمریکا (NCEP/NCAR) اخذ و نقشه‌های همدید تهیه شد. نتایج نشان داد در زمان رخداد برف سنگین، تشکیل و حرکت شرق سوی پرفشار سطحی واقع در نواحی شرق اروپا و استقرار یک سیستم مانع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه یاد شده و تشکیل ناوه بسیار عمیق با محور شمال شرق- جنوب غرب بر روی دریای خزر سبب شده تا منطقه در زیر تاوایی مثبت قرار گرفته و ناپایداری حاصل سبب نزول برف گردد. از طرفی ناهنجاری دمای سطح آب در نواحی جنوبی دریاچه به بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد رسیده که هم سبب انتقال رطوبت به توده هوای سرد وارد شده به منطقه و هم باعث بوجود آمدن گردآبان شدید دما گشته که موجبات تشکیل جبهه در منطقه خزری را فراهم کرده است. وضعیت تاوه قطبی نیز به گونه‌ای است که پربند مربوط به آن در ماه ژانویه و فوریه دقیقاً بر روی منطقه قرار گرفته و شرایط را تشدید کرده است.

**کلمات کلیدی:** برف سنگین، الگوهای سینوپتیک، ناوه عمیق، دمای سطح آب، تاوه قطبی، شمال ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۵/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۱/۲۵

1-Assistant Professor of Climatology, Department of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

2- Msc. Student of Climatology, Department of Geography and Environmental Sciences, Fedrdowsi University of Mashad, Iran.  
Email: Ha.hajimohammadi@stu.um.ac.ir

\*- Corresponding Author

۱- استادیار آب و هواشناسی دانشگاه حکیم سبزواری

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک دانشگاه فردوسی مشهد

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پاییز ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

ریزش و هوای مجاورشان از عوامل تعیین کننده نوع بارش شناخته شده است؛ به طوری که هر دو این فرآیندها سبب پایین آمدن تراز یخبندان و تبدیل باران به برف می شوند. (Huntington 2004) 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 نمود. (Petkova 2004) 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 نمودند. لاترنسر (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 (Robert and et al 2004) در مطالعه بارش و شیت‌های یخ در شرق قطب جنوب در ارتباط با فراوانی رخداد بلاکینگ عرض‌های میانی به نقش بلاکینگ اشاره کرده‌اند رابطه بین پوشش برف و الگوی بلاکینگ در نیمکره شمالی برای سال بررسی شده است. نتایج، شواهد قوی از ارتباط بین پوشش برف فصلی و رخداد بلاکینگ را ارائه داده‌اند. (Biker 2004) رابطه بارش برف و توپوگرافی جنوب آپالاش و ارتباط آن با شارش جنوب غربی در جنوب این رشته کوه و به شناسایی الگوهای بارش برف سنگین پرداختند. (Derbednors 2004) کاهش معنی‌داری در عمق پوشش برف اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه در شرق اروپا طی قرن بیستم نشان دادند. (Esteban and et al. 2005) با استفاده از روش خوشه‌بندی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی الگوهای گردش جوی سطح دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال را بر روی اروپای جنوب غربی تعیین و ارتباط آنها را با بارش برف سنگین مورد بررسی قرار دادند. (Barriopedro and et al. 2006) به بررسی ارتباط بلاکینگ‌ها با پوشش برف در نیمکره شمالی پرداختند. (Burakouaski 2008) علاوه بر مشخص نمودن وجود روند افزایشی در دمای میانگین، بیشینه و کمینه در ماه‌های زمستانی در شمال شرق آمریکا، کاهش در تعداد روزهای برفی در طول دوره مطالعه در شمال شرق آمریکا را مشخص نمودند. (Changnon and et al. 2009) کولاک‌های برفی سال ۲۰۰۴ در دره رودخانه اوهایو مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که آنچه باعث کولاک برف ۲۳ دسامبر ۲۰۰۴ شد تعامل یا برهم کنش جبهه سرد شمالی با یک توده هوای گرم و مرطوب در امتداد دره رودخانه اوهایو جای که مرحله نخستین زایش بارش زمستانی است می باشد که چند ساعت بعد یک مرکز کم فشار از شرق تگزاس به سمت شمال شرق و جنوب دره رودخانه اوهایو

بارش برف به عنوان یکی از منابع اصلی بیلان آب، جریان‌های سطحی بهاری، سفره‌های آب زیرزمینی، رودخانه‌ها و چشمه‌ها، موهبتی الهی محسوب می شود. از سویی دیگر، این فرایند در بعضی سال‌ها مشکلات متعدد و شرایط نامطلوبی را در مناطق برف‌گیر ایجاد می کند. کاهش دید افقی به هنگام بارش برف انباشتگی برف، کولاک برف، یخبندان و لغزندگی سطح جاده‌ها، از عوامل بازدارنده ترافیکی درون شهری و جاده ای هستند که برطرف کردن آنها به واکنش‌های سریع و عملیات اصلاحی نیاز دارد. بارش برف سنگین بر روی سطوح شیب دار و انباشتگی لایه‌های مختلف آن می تواند به رخداد بهممن منجر شود. در مقایسه با مواد جامد دیگر، لایه‌های برف توانایی منحصر به فردی در تغییر چگالی دارند. چگالی یک لایه انباشته شده برف که در ابتدا  $100 \text{ kg/m}^3$  بوده است، در طول فصل زمستان می تواند تا  $400 \text{ kg/m}^3$  تغییر کند. چنانچه دما به بالای صفر درجه برسد، ذوب برف در توده آغاز می شود و در نتیجه ریسک حرکت توده و یا ایجاد بهممن افزایش می یابد. ریزش برف در زمانی که گیاهان آمادگی مقابله با آن را نداشته باشند، نیز می تواند خسارات زیادی را به بخش کشاورزی وارد کند. برای مثال، چنانچه برف قبل از سبز شدن گیاه گندم و آمادگی آن در مقابل سرما ریزش کند، خسارات زیادی بر عملکرد آن وارد خواهد شد.

الگوهای گردشی جو نقش مهمی در پیدایش پدیده‌های محیطی در عرض‌های میانه دارند. از این رو شناسایی الگوهای گردشی جوی کنترل کننده آب و هوای مناطق مختلف ضروری است. با بررسی و شناسایی الگوهای گردشی جو می توان تغییرات، فراوانی، شدت و توزیع مکانی متغیرهای آب‌وهوایی مانند بارش(برف) را بررسی و دلایل فیزیکی آنها بیان نمود. به همین علت مطالعات بسیاری در زمینه بررسی بارش برف و شرایط بوجود آورنده‌ی آن انجام شده که از جمله آنها می توان به تحقیق (Boyden 1964) اشاره کرد که با مقایسه شش عامل پیش‌بینی کننده 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. (Booth 1970) نشان داد که نقطه شبنم می تواند به عنوان پارامتر پیش‌بینی کننده ریزش برف به کار رود. محققان ژاپنی در بررسی خود برای رخداد ریزش برف در دماهای بیش از صفر درجه، رابطه‌ای خطی بین نم نسبی و دما را به دست آورده‌اند. در مطالعه‌ای دیگری که در کشور سوئد برای تعیین فاز بارش (جامد یا مایع) انجام شده است تبادل دو گرمای نهان ذوب و تبخیر و تصعید بین ذرات در حال

هدف تعیین رژیم بارش برف در شمال غرب کشور، مقدار و فراوانی بارش برف در این منطقه را با استفاده از نرم افزار هایفا<sup>۱</sup> محاسبه کرده است. (Fahiminejad (2012) در تحقیقی به بررسی توفان برف سال ۱۳۸۳ در شمال کشور بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که حضور بلاکینگ‌ها در ریزش برف سنگین در منطقه سهم عمده‌ی را ایفا می‌کنند. (Dargahian (2013) در تحقیقی با عنوان بررسی اثر بلاکینگ بر رخداد برف‌های سنگین و مداوم ایران به این نتیجه رسیدند که تشکیل بلاکینگ‌های با استمرار بیش از ۴ روز در رخداد برف‌های سنگین و مداوم ایران نقش دارند. در همین راستا و برای شناسایی سامانه‌های همدید منجر به وقوع برف سنگین، اقدام به بررسی وضعیت هوا در روزهای ۳۱ ژانویه تا ۳ فوریه سال ۲۰۱۴ در ناحیه خزری شد. در شکل ۱ موقعیت منطقه و ایستگاه‌های هواشناسی واقع در آن به نمایش در آمده است.

## ۲- روش تحقیق

به منظور بررسی شرایط جوی منجر به بارش‌های فوق سنگین برف در استانهای شمالی کشور ابتدا اقدام به دریافت آمار ارتفاع برف در روزهای مورد نظر از سازمان هواشناسی کل کشور شد. از آنجا که داده‌های ارتفاع برف از دقت کافی برخوردار نبود با استناد به گزارش سازمان هواشناسی کل کشور مقادیر برف تخمین زده شد.

حرکت کرده و باعث کولاک بعدی می‌شود. در ایران نیز مطالعات بسیاری در باره پدیده برف در قالب پایان نامه‌های 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، همستگی ریزش برف با پارامترهای مختلف جوی نشان داده شده است. در مطالعه دیگری که با هدف بررسی توزیع مکانی بارش برف در حوزه‌های دز و کارون (Islam Firouzbakht (1994) 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. (Rashtchi (1994) به منظور شناخت توانایی‌های بالفعل شبکه ایستگاه‌های برف‌سنجی کشور، توزیع مکانی این ایستگاه‌ها، طول دوره آماری آنها، حداکثر ارتفاع برف ریزش شده، وضعیت متوسط نمونه برداریها و ... را مشخص کرده است. (Hedayati Dezfuli (1995) با محاسبه پارامترهای فیزیکی، روشی را برای پیش بینی برف‌های سامانه‌ای بسیار سنگین، ارائه کرد. پدram در سال ۱۳۷۵ فراوانی و احتمال ریزش برف را در گستره‌های دمایی مختلف برای ۱۵ ایستگاه هم‌دید کشور تعیین کرد و به منظور پیش‌بینی ریزش برف، رابطه‌ای تجربی میان دمای نقطه شبنم و کمبود اشباع برای هر ایستگاه به دست آورد. (Adeli (2005

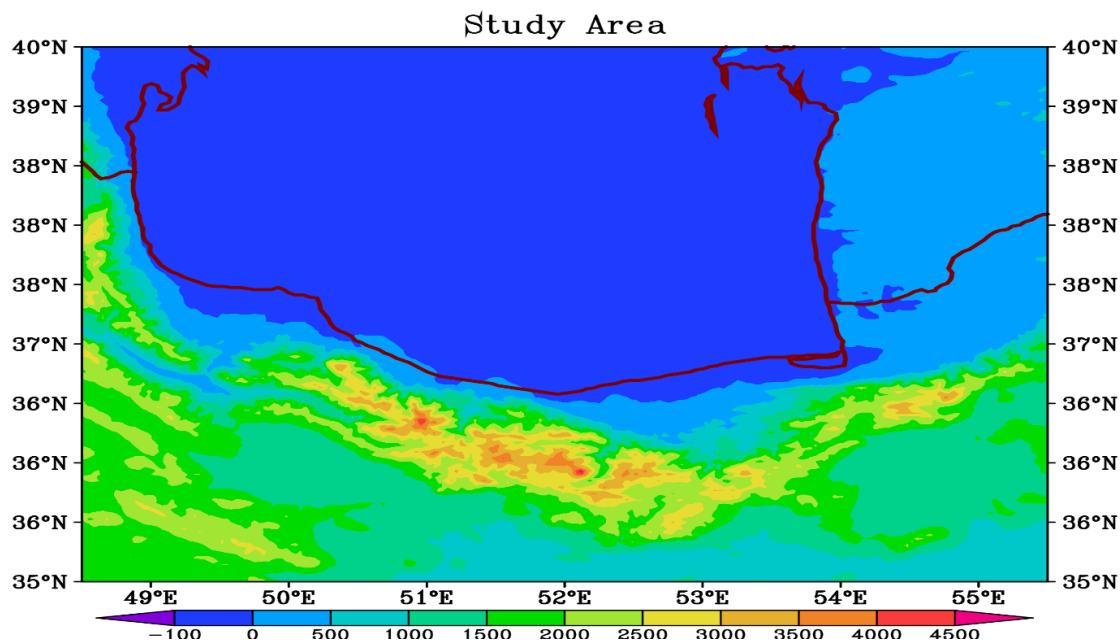


Fig. 1- The geographical location of the study area

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

تحقیقات منابع آب ایران، سال سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶  
Volume 13, No. 2, Summer 2017 (IR-WRR)

تا حدودی کاهش دما در کشور می‌گردد. پربندهای معرف تاوه قطبی در جدول ۲ آمده است.

برای شناسایی بهتر توده هوایی که در رخداد بارش سنگین برف نقش داشته‌اند، از تابع جبهه‌زایی استفاده شد. هر فرآیندی که منجر به افزایش بزرگی  $\nabla T$  شود، فرآیند جبهه‌زا و چنین عملی را جبهه‌زایی می‌نامند. تابع جبهه‌زایی را می‌توان با رابطه زیر بیان کرد.

$$\mathfrak{J} = \frac{d|\nabla_p \theta|}{dt} \quad (1)$$

این عبارت مبین آهنگ لاگرانژی تغییر بزرگی  $\nabla_p \theta$  (شیو دمای بالقوه روی سطح همفشار) است. می‌توان معادله ۱ را در فضای یک بعدی در نظر گرفت و شناخت بیشتری از ماهیت جبهه‌زایی بدست آورد. بنابراین به کمک رابطه زیر به بررسی فرآیندهایی پرداخته شد که بزرگی تباین دما در راستای محور X را تغییر می‌دهند.

$$\mathfrak{J}_x = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad (2)$$

اگر

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \omega \frac{\partial}{\partial p} \quad (3)$$

آنگاه

$$\mathfrak{J}_x = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{d\theta}{dx} \right) - \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial p} \quad (4)$$

طبق معادلات یاد شده چهار فرآیند فیزیکی که در غالب چهار جمله سمت راست معادله ۴ آمده‌اند در افزایش  $\partial \theta / \partial x$  نقش دارند. اولین فرآیند اثر شیوهای گداری جبهه بر گرمایش با دررو است که با  $\partial / \partial x (d\theta/dt)$  نمایش داده شده است. اگر صعود هوا در جناح گرم منجر به آزادسازی گرمای نهان شود، آنگاه شیو گداری دمای بالقوه بزرگ می‌شود و  $\partial / \partial x (d\theta/dt) > 0$  خواهد شد. در نتیجه اگر آزادسازی گرمای نهان از چنین پراکنشی برخوردار باشد منجر به جبهه‌زایی می‌شود. جهت بررسی تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای همراه با بارش سنگین برف در منطقه مورد مطالعه، داده‌های مربوط به میانگین ۳۰ ساله هر روز (۲۰۱۰-۱۹۸۰) از تارنمای مربوط به مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP/NCAR) اخذ گردید.

بدین منظور از آمار ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در منطقه استفاده شد. بطور متوسط هر ۳۰ سانتی متر برف معادل ۲۵ میلی‌متر آب حاصل از ذوب آن می‌شود. از طرفی ایستگاه‌های واقع در منطقه نسبت به ایستگاه‌های برف سنجی از دقت بالاتری برخوردار بوده لذا با اخذ آمار مربوط به وضعیت هوا (WW) و مقادیر بارندگی در این ۴ روز مقادیر بارش استخراج گردید. در ادامه به منظور بررسی و تحلیل الگوهای همدیدی روزهای با بارش سنگین برف با مراجعه به تارنمای مرکز ملی پیش‌بینی محیطی / علوم جو (NCEP/NCAR) داده‌های روزانه فشار سطح زمین (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل (Hgt)، مؤلفه‌های مداری (Uwnd) و نصف‌النهاری باد (Vwnd)، دمای هوا (Air)، سرعت قائم (امگا) و دمای سطح آب (SST) در تلاقی ۲,۵×۲,۵ درجه دریافت و با استفاده از نرم افزار GrADS نقشه‌های مربوطه ترسیم و تحلیل شد.

تاوه قطبی<sup>۲</sup> شکل دینامیکی غالب گردش زمستانی در پوش سپهر و وردسپهر محسوب می‌گردد. مهمترین مشخصه تاوه، وجود بادهای شدید در لبه بیرونی و پایین بودن دما در نواحی داخلی تاوه است. موقعیت مرکز تاوه قطبی و شدت آن در فصل زمستان در نیمکره شمالی باعث ریزش هوای سرد مناطق قطبی به عرض‌های پایین‌تر گشته و هر قدر شدت آن بیشتر باشد، باعث انتقال و جابه‌جایی بیشتر محور پرفشار جنب حاره به عرض‌های پایین‌تر می‌گردد. هر چقدر مراکز پرفشار جنب حاره به عرض‌های پایین‌تر انتقال یابد، فضای ایران جهت عبور سامانه‌های کم‌فشار فراهم می‌گردد و نفوذ توده هوای ناپایدار به عرض‌های پایین‌تر از جمله کشورمان فراهم می‌شود. یکی از نشانه‌های تأثیر تاوه قطبی در نیمکره شمالی، وجود پرفشار سیبری از نوع حرارتی است که از شرق آسیا تا شرق اروپا گسترش می‌یابد. هر قدر تضاد حرارتی این مناطق قطبی و عرض‌های پایین‌تر بیشتر باشد، قدرت و شدت این پرفشار بیشتر شده و اگر گسترش آن بر روی اروپا به طرز مناسبی صورت گیرد، تمام سیستم‌هایی که از روی اروپای مرکزی عبور می‌کنند به ناچار متوجه بخش جنوبی پرفشار سیبری شده که اکثر این سامانه‌ها از نواحی ساحلی دریای مدیترانه وارد خاورمیانه و ایران می‌گردند. وجود پرفشار موجب ازدیاد متواتر و مدت توقف این سامانه‌ها بر روی ایران می‌شوند. این فرکانس و مدت توقف سامانه‌ها موجب ازدیاد بارش و

Table 1- Elevation contour represents the polar vortex at 500 hPa (Geopotential meters) جدول ۱- پربند معرف ارتفاعی تاوه قطبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ژئوپتانسیل متر) (Kashki, 2013)

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Contour represents Vortex	5460	5460	5520	5580	5640	5700	5700	5760	5640	5580	5520	5460

در ادامه با کسر روز مورد نظر از میانگین بلندمدت آن، ناهنجاری مربوط به هر یک از ۴ روز بدست آمد.

برای بدست آوردن ناهنجاری دمای سطح آب نیز از شیوه ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل استفاده شد. با این تفاوت که پارامتر مورد نظر دمای سطح آب بود.

نتایج حاصل از تحلیل فراوانی تابع جبهه‌زایی در دوره مورد مطالعه نشان داد که در روز اول بارش، هسته جبهه بوجود آمده بر روی غرب و جنوب غرب خزر بوده که در روز دوم نیز این فرآیند ادامه داشته است. با نزدیک شدن به روز ۲ فوریه، منطقه جبهه‌زایی به قسمت‌های شمالی دریا انتقال یافته و از شدت آن نسبت به دو روز قبل کاسته شده و در روز چهارم (۳ فوریه) با تغییر مکان، جبهه در جنوب غرب دریا تشکیل شده با این تفاوت که از قدرت چندانی برخوردار نیست. با توجه به شدت و ضعف جبهه و تغییرات مکانی آن می‌توان به تغییرات دمای سطح آب نیز اشاره کرد که هماهنگی نسبی با یکدیگر داشته‌اند. با بررسی نقشه‌های تهیه شده مشخص شد که این جبهه از نوع سرد بوده و با ورود هوای سرد عرض‌های بالاتر و آمیخته شدن آن با هوای گرم منطقه، موجبات صعود بسته هوا فراهم شده است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در پیشانی منطقه جبهه‌زایی هسته قوی جریانات بالاسو ایجاد شده که نشان از شدت جبهه و صعود سریع بسته هوا است. انطباق این جریان بالاسو بر جانب شرقی جبهه سبب شده تا با تأمین رطوبت مورد نیاز از دریای خزر و رشد ابرهای جوشی-پوششی توفان برف سنگین و فراگیری بر منطقه مستولی گردد.

در نهایت با استفاده شاخص تاوایی پتانسیل مقادیر شاخص یاد شده را بر روی سطوح همدرگاشت<sup>۳</sup> برای روزهای همراه با بارش سنگین برف محاسبه گردید که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$PV = -g(\xi_{\theta} + f) \left[ \frac{\partial \theta}{\partial p} \right] \quad (5)$$

که در آن PV: تاوایی پتانسیل، g: شتاب گرانش زمین که تقریباً معادل ۹.۸ است،  $\xi_{\theta}$ : تاوایی نسبی در دستگاه همدرگاشت، f: پارامتر کوریولیس و  $\frac{\partial \theta}{\partial p}$ : تغییرات دمای پتانسیل به تغییرات فشار است. تاوایی پتانسیل به صورت واحد تاوایی پتانسیل (PVU<sup>۴</sup>) بیان می‌گردد که یک واحد پتانسیل برابر است با  $10^{-6} \text{m}^2 \text{S}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$  متر مربع در ثانیه بر کلون بر کیلوگرم. رابطه ۵ آشکار می‌سازد که PV را از آن رو تاوایی پتانسیل نامیده‌اند که بیانگر امکان پیدایش تاوایی نسبی بر اثر تغییر عرض جغرافیایی به دلیل تغییر پارامتر کوریولیس و بر اثر تغییر بی دررو فاصله میان خطوط همدرگاشت به دلیل تغییر دمای پتانسیل به تغییرات فشار است (Masoodian, 2009).

لازم به توضیح است که در برخی موارد به جای هکتوپاسکال از مخفف آن ه. پ استفاده شده است.

### ۳-۲- وضعیت الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

استقرار یک سامانه بندالی امگا شکل بر روی شرق اروپا سبب شده تا جریانات غربی از حالت مداری خود خارج شده و بصورت نصف‌النهاری گردد. ریزش هوای سرد در قسمت شرقی این سامانه باعث شده تا با افت ژئوپتانسیل همراه باشد. با کاهش ارتفاع و به همراه آن ریزش هوای سرد عرض‌های قطبی بر روی مناطق مذکور، اغتشاشات اتمسفری شدیدی را بوجود آورده که با تاوایی مثبت شدید همراه بوده، از طرفی ریزش هوای بسیار سرد عرض‌های بالا و برخورد آن با هوای گرم و مرطوب سواحل جنوبی دریای خزر، قطرات آب موجود در جو به سرعت از حالت مایع به بلورهای یخ و برف تبدیل گشته که در نهایت با بارندگی‌های سنگین برف در منطقه همراه شده است. در طی ۴ روز که همراه با بارش سنگین برف در منطقه بوده، سامانه بندالی امگا شکل مذکور در شرق اروپا حضور داشته که می‌توان آنرا عامل اصلی این بارندگی سنگین و

### ۳- نتایج و تحلیل نتایج

#### ۳-۱- وضعیت الگوهای فشار سطح زمین و وضعیت جبهه‌زایی

جهت بررسی الگوی فشار در سطح زمین اقدام به ترسیم نقشه فشار تراز دریا برای روزهای ۱ ژانویه تا ۳ فوریه ۲۰۱۴ شد (شکل ۲). با توجه به نقشه‌های تهیه شده برای سطح زمین استقرار یک سلول پرفشار در شرق اروپا با فشار مرکزی ۱۰۵۲ هکتوپاسکال که با حرکت شرق سوی خود، به سمت منطقه مورد مطالعه سبب شده تا هوای سرد شمال اروپا را وارد منطقه سازد. با نزدیک شدن این سامانه به منطقه، در جنوب غربی سواحل دریای خزر شیب تغییرات فشار بسیار افزایش یافته که نتیجه آن ناپایداری در منطقه است که مقادیر منفی شاخص امگا معرف این موضوع می‌باشند. گرادیان فشار در منطقه نسبتاً کوچک بین نواحی ساحلی و داخل کشور در زمان

که از خصوصیات این سامانه می‌توان به چرخندگی مثبت قوی در داخل این سامانه و در نهایت صعود سریع هوا اشاره کرد.

### ۳-۳- وضعیت ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوه قطبی

با توجه به نقشه‌ی تهیه شده مشخص شد که به جز روز اول در سه روز بعدی ناهنجاری به بیش از ۱۰۰- ژئوپتانسیل متر در سواحل جنوبی دریای خزر رسیده که نشان از افت این پارامتر جوی و ناپایداری شدید در زمان رخداد بارش‌های فوق سنگین برف در شمال کشور است.

فراگیر دانست. از طرفی قرارگیری هسته چرخندگی مثبت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی منطقه سب ناپایداری در سطوح پایین‌تر گشته است. به دلیل قوت یافتن این بندال امگایی شکل به عمق ناوه قرار گرفته در قسمت‌های شرقی آن نیز افزوده شده است. در طی روزهای همراه با توفان برف مشاهده می‌شود که ناوه تشکیل شده بر روی منطقه از حالت شمال به جنوب خود خارج شده و یک حالت موربی به خود گرفته است. طی این فرایند جریان چرخندی حاکم در دل این سامانه به شدت تقویت شده و عروج هر چه سریعتر بسته هوا را به همراه داشته است (شکل ۳). از پدیده‌های دیگر مشاهده شده در دل این سامانه می‌توان به بریده کمفشاری<sup>۵</sup> که از روز دوم شروع به شکل‌گیری است اشاره نمود. با عمیق‌تر شدن ناوه در شرق دریای خزر هسته سردچالی با پربند بسته ۵۴۰۰ ژئوپتانسیل متر تشکیل شده

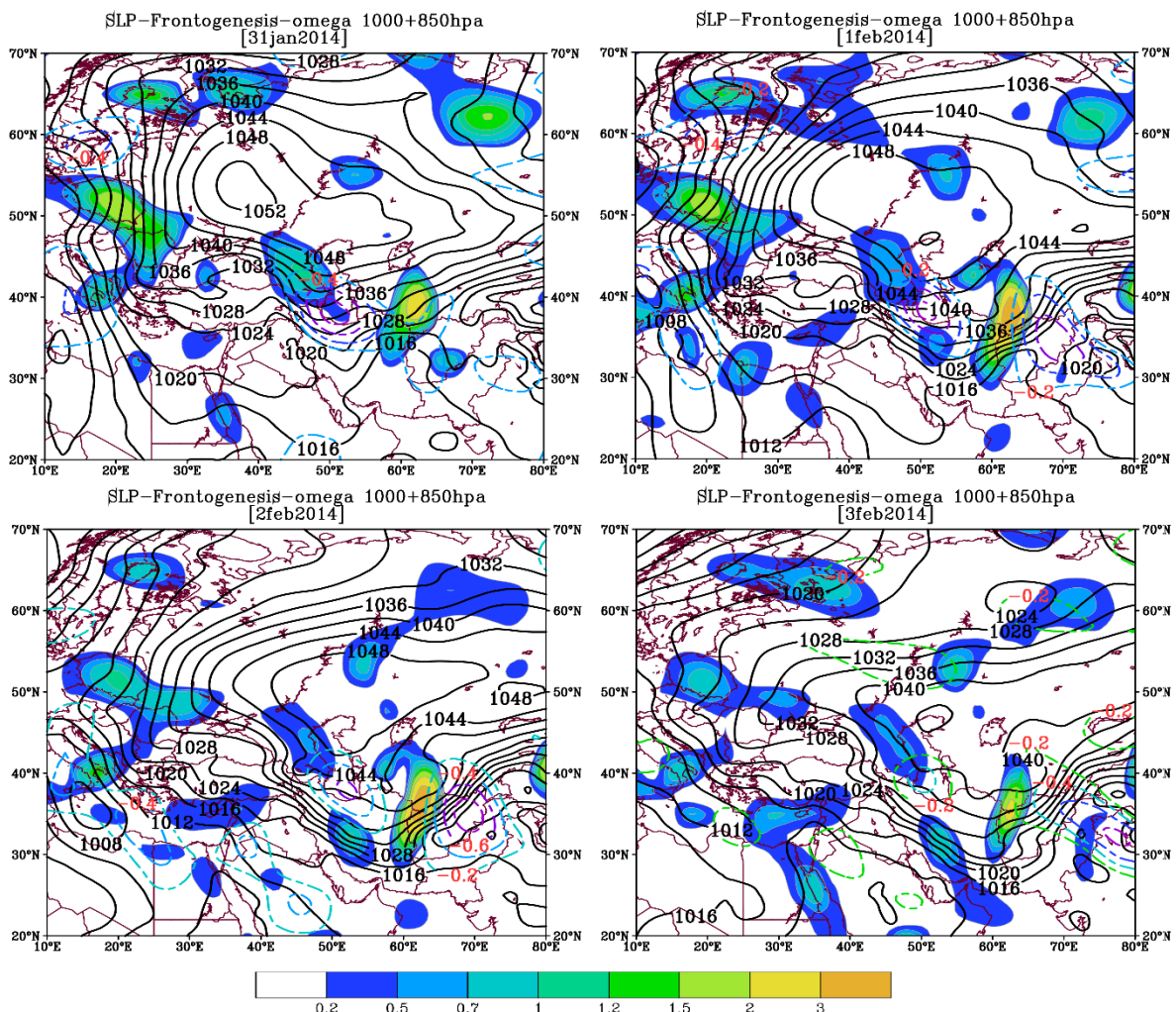
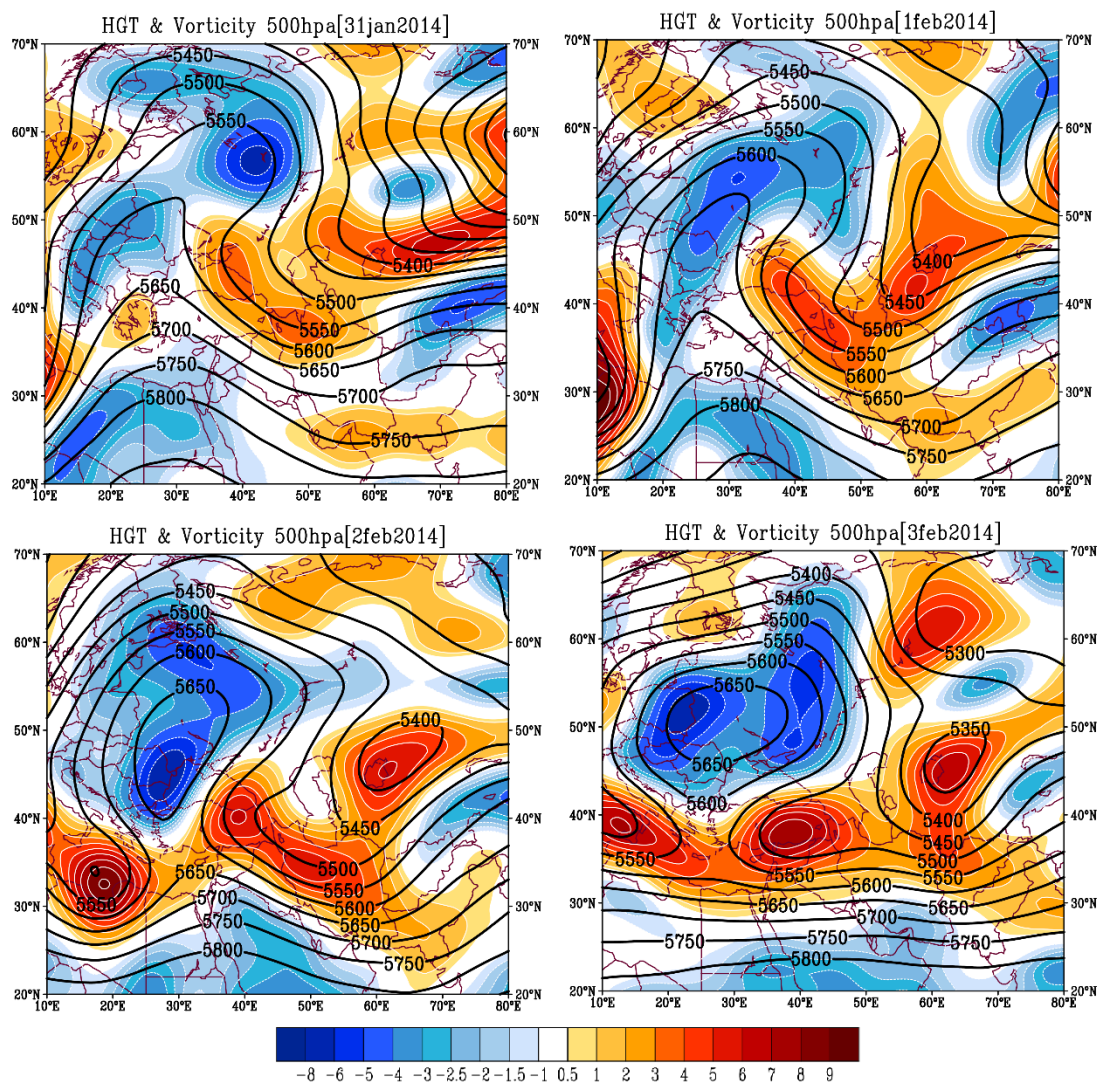


Fig. 2- Condition of pressure patterns, frontogenesis and vertical velocity in January 31 to February 3

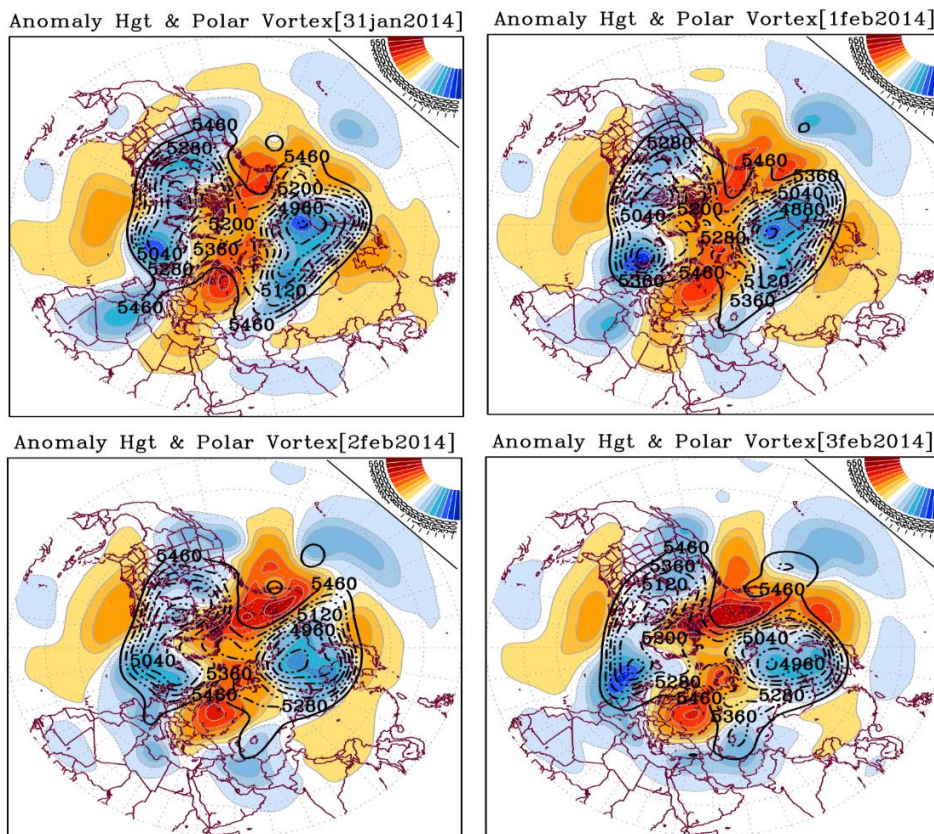
شکل ۲- وضعیت الگوهای فشار، جبهه‌زایی و سرعت قائم از ۳۱ ژانویه تا ۳ فوریه



**Fig. 3- Pattern of the geopotential height and Vorticity at 500 hPa from January 31 to February 3**  
 شکل ۳- وضعیت الگوی ارتفاع ژئوپتانسیل و تاوایی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از ۳۱ ژانویه تا ۳ فوریه

سمت قطب توسعه یافته، بر روی شرق اروپا و غرب ایران یک ناوه که حاصل از تاوه قطبی می‌باشد، دیده می‌شود که این پشته باعث ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی بر روی شرق مدیترانه و غرب ایران (درون ناوه) شده و سرمای لازم را جهت ریزش برف مهیا کرده است (شکل ۴). در نقشه تهیه شده مشاهده می‌شود که در روز سوم و چهارم بارندگی، پربند معرف تاوه دقیقاً بر روی نوار شمالی کشور مستقر گشته و با استقرار این الگو و ریزش هوای سرد مناطق قطبی سبب شدت گرفتن بارندگی‌ها در شمال ایران شده است. این ریزش هوای سرد را می‌توان ناشی از تشکیل سیستم مانعی دانست که در هر چهار روز برفی در شرق اروپا حضور دارد.

با استقرار منحنی‌های منفی بر روی نواحی شمالی کشور، افزایش ناپایداری و با ایجاد تاوایی مثبت بر روی منطقه باعث صعود سریع هوا و Gradient شدیدی شده است. با توجه به نقشه‌های تهیه شده مشخص شد که مقادیر مثبت و منفی به ترتیب با سامانه بندالی شرق اروپا و ناوه قرار گرفته بر روی نواحی شمالی ایران مطابقت دارد (شکل ۴). با بررسی الگوی تاوه در شمال کانادا و شمال شرق آسیا یک کم ارتفاع بسته دیده می‌شود که زبانه‌ای از این کم ارتفاع به سوی شمال اروپا و سیبری حرکت کرده است. در غرب آمریکای شمالی یک پشته با ارتفاعی معادل ۵۷۰۰ ژئوپتانسیل متر دیده می‌شود که به سمت قطب حرکت کرده است. در مقابل این پشته به



**Fig. 4- Anomalies and geopotential height at 500 hPa polar vortex January 31 to February 3**  
 شکل ۴- وضعیت ناهنجاری ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوه قطبی از ۳۱ ژانویه تا ۳ فوریه

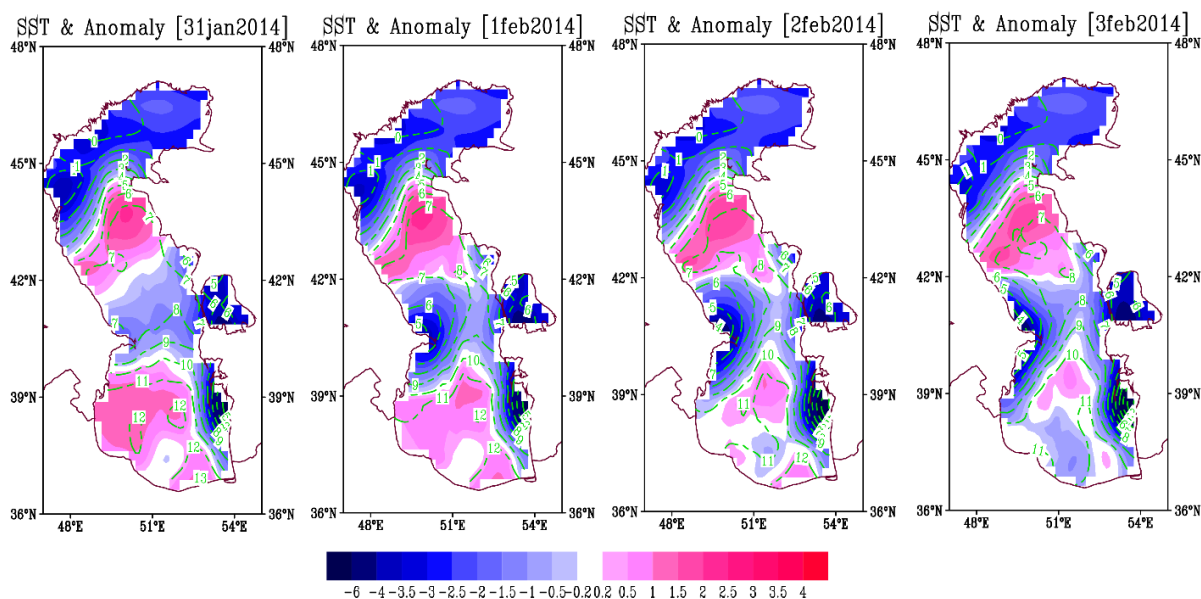
### ۳-۴- وضعیت ناهنجاری دمای سطح دریا

به منظور اثر دمای سطح آب در تامین رطوبت مورد نیاز بارش‌های یاد شده در منطقه اقدام به تهیه نقشه‌های ناهنجاری دمای سطح دریا برای چهار روز بارشی تهیه شد. با بررسی دقیق‌تر مشخص شد که در زمان رخداد برف سنگین در منطقه، دمای آب دریای خزر در مناطق مرکزی و جنوبی افزایش یافته است. با توجه به نقشه‌های مذکور مشاهده شد که در روز ۳۱ ژانویه در نواحی مرکزی و به خصوص در قسمت‌های جنوبی دریاچه ناهنجاری دمای سطح آب به بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در روز بعد نیز شرایط بدین صورت بوده که انتقال رطوبت از سطح دریا به جو را سبب گشته و شرایط را برای تشدید بارندگی‌ها مهیا کرده است. در روز ۲ فوریه ناهنجاری به کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد در روز رسیده ولی ناهنجاری دمای آب در ۳ فوریه به مانند ۳۱ ژانویه افزایشی ۲ الی ۳ درجه‌ای داشته و باعث شده تا رطوبت کافی به جو تزریق گردد. پس می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که افزایش دمای سطح آب بر روی خزر به ترتیب در مناطق جنوبی و مرکزی ۱۱ الی ۱۲ و ۷ الی ۸ درجه سانتی‌گراد سبب شده تا بخار آب مورد نیاز وارد بسته هوا شود.

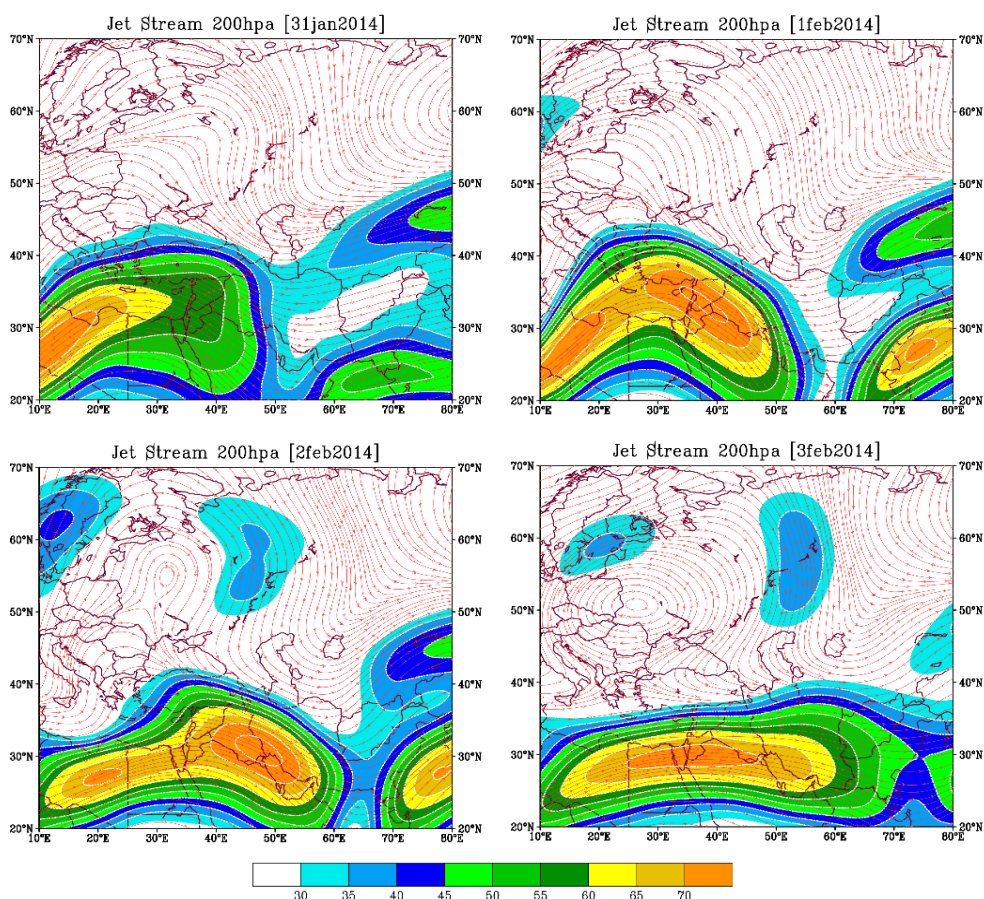
### ۳-۵- وضعیت رودباد

در زمان رخداد بارش سنگین برف، در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال رودباد جنب حاره با متوسط سرعت ۳۵ تا ۴۰ متر بر ثانیه بر روی نوار شمالی البرز کشیده شده است که بیشینه فعالیت آن شمال آفریقا بوده و تا رشته کوه‌های تبت ادامه دارد. استقرار این رودباد باعث شدت یافتن ناپایداری و اغتشاشات جوی شده و سبب شده در نوار شمالی البرز بارش صورت پذیرد. در روزهای بعد با انتقال هسته بیشینه رودباد به رو ایران به ناپایداری‌های منطقه نیر افزوده شده است. البته مشاهده می‌شود هرچه از روزهای ابتدایی بارش به انتها نزدیک می‌شویم از جریان موجی شکل رودباد کاسته شده، به گونه‌ای که در روز چهارم بارش جهت آن کاملاً غرب به شرق شده است. حاکمیت این رودباد بر روی ایران باعث کنترل هوای سطح زمین و تشدید و تقویت ناپایداری و آشوب‌های جوی و تشکیل چرخند بر روی منطقه شده است. حرکت واگرایانه شدید رودباد مذکور که با تاوایی مثبت همراه بوده، صعود شدید هوا را به دنبال داشته و در نتیجه، باعث شدت یافتن بارش‌ها بر روی شمال ایران شده است.





**Fig. 5- Condition of the sea surface temperature and its anomalies for January 31 to February 3**  
 شکل ۵- وضعیت دمای سطح آب و ناهنجاری آن از ۳۱ ژانویه تا ۳ فوریه (مقادیر منحنی‌ها دمای سطح آب و سایه روشن ناهنجاری آن)



**Fig. 6- 200 hPa level jet stream on January 31 to February 3**  
 شکل ۶- وضعیت رودباد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال از ۳۱ ژانویه تا ۳ فوریه

جوی متلاطم را می‌دهد. در روز ۲ فوریه ۲۰۱۴ هسته شمالی دریاچه آرال تقویت گشته و هسته جنوبی آن به داخل مرزهای ایران کشیده شده و در شمال شرق کشور با کمی ضعف نسبت به موقعیت ۲۴ ساخته خود فعالیت می‌کند. از طرفی این هسته با هسته بسیار قوی تشکیل شده در شرق دریای سیاه در جنوب دریای خزر آمیخته شده و شرایط را در منطقه تشدید نموده‌اند. در روز چهارم بارش، هسته شرق دریای سیاه با ضعفی ۲٫۵ واحدی به شمال دریای مدیترانه انتقال یافته و در سمت مقابل هسته شمال شرق کشور نیز به عرض‌های بالاتر مهاجرت کرده و منطقه خزری با افتی ۳/۵ واحدی، به مقدار ۳ واحد PV رسیده است. این بدان دلیل است که با توجه به خطوط جریان در تراز میانی جو، که در روزهای اول بارش به دلیل بن‌دال تشکیل شده در منطقه شکلی سینوسی به خود گرفته بودند، حال از این وضعیت خارج و جریانی کاملاً غربی بر منطقه حاکم گشته است.

### ۳-۶- وضعیت تاوایی پتانسیل بر روی سطوح همدرگاشت ۳۳۰ درجه کلون

در روز اول بارش برف هسته بیشینه تاوایی پتانسیل در مرکز روسیه مستقر شده که دارای دو هسته جداگانه با بیش از ۷٫۵ واحد PV هستند. از طرفی مشاهده می‌شود که مقدار این شاخص در سطوح همدرگاشت ۳۳۰ درجه کلون بر روی منطقه خزری به بیش از ۴ واحد در روز رسیده است. با کشیده شدن قسمت غربی هسته بیشینه تاوایی پتانسیل از مرکز روسیه به روی دریای خزر شرایط برای ناپایداری تقویت گشته است. در روز دوم بارش یعنی ۱ فوریه ۲۰۱۴ دو هسته بیشینه تاوایی پتانسیل واقع در مرکز روسیه، با حرکت غرب سوی خود اولی بر جانب شمالی دریاچه آرال و دیگری در قسمت جنوبی آن مستقر شده‌اند. با این وضعیت و حرکت به سمت عرض‌های پایین در منطقه خزری نیز مقدار این شاخص با افزایشی ۲ واحدی به بیش از ۶ واحد تقویت گشته که نوید هوایی ناپایدار و

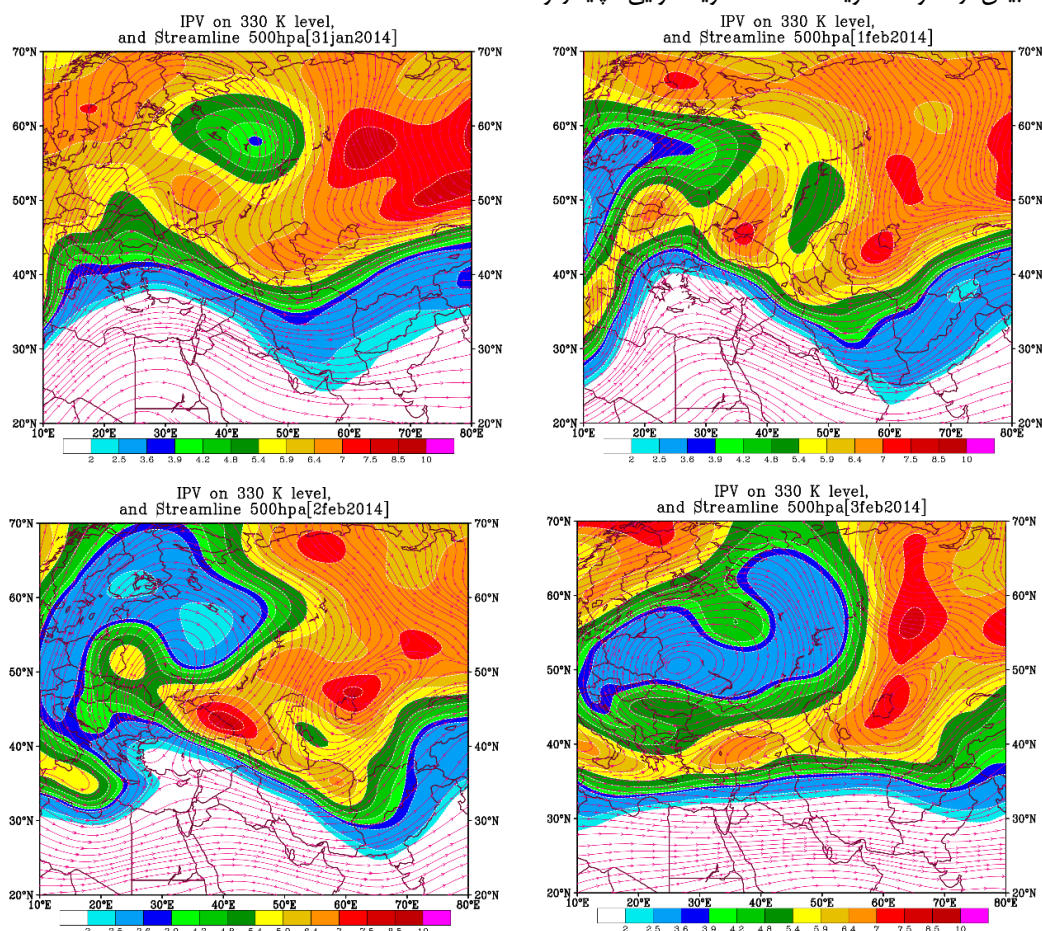


Fig. 7- Potential Vorticity on isentropic surfaces of 330 kelvin degrees and streamline at 500 hPa from January 31 to February 3

شکل ۷- وضعیت تاوایی پتانسیل بر روی سطوح همدرگاشت ۳۳۰ درجه کلون و جریان باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از ۳۱ ژانویه تا ۳ فوریه

#### ۴- خلاصه و جمع بندی

شده‌اند تا دو سلول کم ارتفاع با ناهنجاری منفی ژئوپتانسیل یکی بر جانب نواحی شمال آسیا و دیگری از کانادا تا غرب اروپا ایجاد گردد. این شرایط را (Kashki 2013) در بررسی بارش‌های برف فراگیر ایران بررسی و به نتیجه مشابه رسید. با بررسی وضعیت تاوایی پتانسیل بر روی سطوح همدرگاشت ۳۳۰ درجه کلون نیز مشخص شد که مقدار این پارامتر در روزهای همراه با برف سنگین و فراگیر در منطقه بیش از ۴ واحد بوده که در برخی موارد به بیش از ۶ واحد رسیده که این امر در بهبود درک فرآیند صعود سریع و وجود چرخندزایی قوی در منطقه کمک شایانی می‌کند.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1-Polar Vortex
- 2-HYFA (Hydrology Frequency Analysis)
- 3-Isentropic
- 4-Potential Vorticity Unit
- 5- Cut of Low

#### ۵- مراجع

- Adeli A (2005) Climatology of snowfall in the north west of the country. MS Thesis School of Geography and Planning University of Tabriz (In Persian)
- Booth BJ (1970) Dew point temperature as a snow predictor. Meteorological Magazine London 87:363-367
- Boyden CJ (1964) A comparison of snow predictors. Meteorological Magazine London 93:353-365.
- Barriopedro DR, Garcia AR, Hernandez E (2006) A climatology of northern hemisphere blocking. Journal of Climatology 19:1042-1063
- Banacos PC, Schultz DM (2005) The use of moisture flux convergence in forecasting convective initiation: Historical and operational perspectives. Weather Forecasting 20:351-366
- Dargahian F, Alijani B (2013) The effect of continuous and heavy snow blocking the occurrence of Iran. Quarterly geographical territories 38:1-13(In Persian)
- Esteban P, Jones PD, Martin J, Masses M (2005) Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra Pyrenees. International Journal of Climatology 25:319-329
- Fahiminejad E, Hejazizadeh Z, Alijani B, Ziaieian P (2012) Synoptic analysis and snowstorm space in

در این پژوهش برای شناسایی رابطه بین الگوهای گردشی با بارش‌های فوق سنگین در منطقه شمالی ایران از روش محیطی به گردشی استفاده شد. از آنجا که بارش و به خصوص بارندگی‌های سنگین پدیده حاصل از اندرکنش‌های پیچیده جو است که رخداد آن نیازمند تامین شرایط متعددی مانند رطوبت لازم، وجود ناپایداری و سرمایش ترازهای فوقانی و... نیاز می‌باشد. سیستم‌های همدید که از مناطق دور دست منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند نیز نباید فراموش کرد. بدین منظور برای تبیین و ارتباط بین سامانه‌های بزرگ مقیاس و بارش‌های سنگین نواحی شمالی کشور، بسته به تراز و پارامتر مورد نظر محدوده‌های جداگانه‌ای انتخاب شد. به عنوان مثال برای بررسی رودباد از ۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی و از ۱۰ درجه طول شرقی تا ۸۰ درجه شرق و برای تاوه قطبی سراسر نیمکره شمالی انتخاب گردید. نتایج نشان داد که در زمان رخداد برف سنگین، تشکیل و حرکت پرفشار سطحی واقع در نواحی شرق اروپا به سمت شرق و استقرار یک سیستم مانع در تراز ۵۰۰ ه. پ بر روی منطقه یاد شده و تشکیل ناوه بسیار عمیق با محور شمال شرق- جنوب غرب بر روی دریای خزر سبب شده تا منطقه در زیر تاوایی مثبت قرار گرفته و ناپایداری حاصل سبب نزول برف گردد که در تحقیق (Fahiminejad and et al. 2012) بدان اشاره شده است. برای تأمین بارشی به مانند بارندگی مذکور بایستی منبع رطوبت غنی وجود داشته باشد که دریای خزر این نقش را ایفا می‌کند به طوری که در زمان رخداد پدیده مورد نظر ناهنجاری دمای سطح آب در نواحی جنوبی آن به بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد (بین ۱۳ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد) رسیده که هم سبب انتقال رطوبت به توده هوای سرد مهاجرت کرده به منطقه، شده و هم با بوجود آوردن گردایان شدید دما باعث تشکیل جبهه در منطقه خزری شده است. زایش جبهه سرد در منطقه و قرار گرفتن ناحیه خزری در پیشانی این جبهه سبب گردیده تا صعود سریع هوا به همراه انبساط سریع بلورهای برف تشکیل گردد و توفان برفی فراگیر منطقه را تحت تأثیر خود قرار دهد. وضعیت تاوه قطبی نیز به گونه‌ای است که پربند مربوط به آن در ماه ژانویه و فوریه دقیقاً بر روی منطقه قرار گرفته است. این بدان دلیل است که به دلیل تشکیل سیستم مانع در شرق اروپا به تو رفتگی به سمت شمال در محدوده شمالگان ایجاد گشته که این امر باعث شده پربند معرف تاوه بصورت موجی شکل در آید. در آن سوی ناحیه شمالگان و در شرق اقیانوس آرام نیز پشته قوی به سوی قطب ایجاد گشته که این وضعیت با ناهنجاری مثبت ارتفاع ژئوپتانسیل تا ۳۰۰ ژئوپتانسیل در محدوده یاد شده، روبرو شود. این پشته باعث

- Precipitation over the interior east Antarctic ice sheet related to midlatitude blocking-high activity. *Journal of Climate* 17:1914–1928
- Martin J (2009) Atmospheric dynamics in the mid-latitude. Masoodian a, The first edition Isfahan University 208-211
- Notaro M, Zarrin A (2013) Simulation of heavy lake-effect snowstorms across the great lakes basin by RegCM4 synoptic climatology and variability. *Monthly Weather Review* volume 141
- Rashtchi J (1994) Introducing network polling stations in snow country. The first seminar on the hydrology of snow and ice Oroumieh (In Persian)
- Stanley A, Changnon C (2005) The prechristmas 2004 snowstorm disaster in the Ohio river valley. Illinois state water survey center for atmospheric science Champaign Illinois 12: 1-26
- Pedram M (1996) Synoptic patterns predict snow on Iran. MA thesis University of Tehran 22-24
- Vicenteserrano SM, Lopezmoreno JI (2006) The influence of atmospheric circulation at different spatial scales on winter drought variability through a semi-arid climatic gradient in northeast Spain. *International Journal of Climatology* 26:1427–1453
- Gilan Province. *Journal of Geography and regional development* 19:281-302 (In Persian)
- Ghaemieh H, Nouhi A (1976) Statistical analysis snowfall IRIMO. (In Persian)
- Hedayatidezfuli A, (1995) Medium or heavy snow predicted using physical parameters. MA thesis Tehran University Geophysics Institute (In Persian)
- [Http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.prsure.html](http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.prsure.html)
- Huntington TG, Hodgkins B, keim D, Dudley RW (2004) Changes in the proportion of precipitation occurring as snow in New England (1949 –2000). *Journal of Climatology* 17:2626– 2636
- Islam Firouzbakht A (1994) Investigate the spatial distribution of snowfall in the area of Dez and Karun. The first seminar on the hydrology of snow and ice Oroumieh 14:155 (In Persian)
- Kashki A (2013) The role of the polar vortex in the snowfall of Iran. PhD thesis School of Geography University of Isfahan (In Persian)
- Laternser M, Schneebeli M (2003) Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931-99). *International Journal of Climatology* 23:733–750
- Massom Robert A, Michael J, Pook C, Josefino N, Adams J, Turner T, Lachlan N, Timothy T (2004)