

مطالعه موردی سامانه‌های همدیدی مؤثر در بارش برف سنگین در شهر تهران در فوریه ۲۰۰۳

حسین اردکانی^۱، سیده پریا آقائی ارم ساداتی^{۲*} و فروزان ارکیان^۳

۱- سازمان هواشناسی کشور، تهران

۲ و ۳- گروه هواشناسی، دانشکده علوم فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۳۰

چکیده

از جمله پدیده‌های جوی که سبب خسارت‌های فراوان در بخش‌های مختلف محیط طبیعی و محیط زیست انسان می‌شود رخداد بارش برف سنگین و پیامدهای بعد آن می‌باشد. به منظور شناسایی ویژگی‌های همدیدی الگوهای هواشناسی تأثیرگذار در شرایط برف سنگین در شهر تهران، در این پژوهش داده‌های بارش برف طی دوره (۲۰۰۹-۲۰۰۰ میلادی) از بایگانی ایستگاه هواشناسی مهرآباد، استخراج شد. از مجموع ۱۵۰ روز برفی ثبت شده، نقشه‌های همدیدی برای روز نوزدهم فوریه سال ۲۰۰۳ با استفاده از داده‌های GFS با دقت $1/0 \times 1/0$ درجه و نرم‌افزار GrADS تهیه گردید. نقشه‌های فرارفت دمایی نیز به کمک داده‌های CFSR تهیه شد. بررسی نقشه‌های همدیدی در ترازهای مختلف جوی نشان داد که طی دوره‌ی بارش برف سنگین در ۱۹ فوریه ۲۰۰۳، شکل‌گیری مرکز کم‌فشار بر روی مدیترانه و از طرف دیگر حضور مرکز پرفشار در عرض‌های بالاتر و شمال اروپا و امتداد زبانه‌های آن بر روی دریای خزر و منطقه مورد مطالعه مشهود بوده و تقابل این دو سامانه سبب گرادیان شدید فشار بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. همزمان در تراز بالایی مرکز کم ارتفاع و یا ناوه ارتفاعی حضور دارد که انتقال این ناوه به سمت منطقه مورد مطالعه سبب بارش برف سنگین می‌شود. بررسی مقادیر تاوایی مطلق و حرکت قائم بیانگر فرارفت مقدار قابل توجه تاوایی مطلق و منفی بودن سرعت حرکت قائم (در مختصات فشاری) است که نشان دهنده ناپایداری و صعود هوا می‌باشد و در نهایت این شرایط سبب رخداد بارش برف سنگین می‌شود. همچنین بررسی مقادیر فرارفت دمایی در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال بیانگر فرارفت گرم در منطقه است.

واژگان کلیدی: برف سنگین، فرارفت دمایی، تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، تهران

مقدمه

طیف وسیعی از بلایای طبیعی که محیط زیست را مورد تهاجم خود قرار داده، به بلایای ناشی از پدیده‌های حدی جوی اختصاص دارد که از جمله آنها رخداد بارش برف سنگین و پیامدهای بعد آن می‌باشد. پژوهشگران برای برف سنگین نمایه‌ها و تعریف‌های گوناگونی را پیشنهاد کرده‌اند. ریزش شدید برف توأم با وزش بادهای توفانی را توفان برف گویند. به بارش برفی که مقدار آن طی ۱۲ ساعت دست کم ۱۰ سانتی‌متر باشد و یا در هر ۲۴ ساعت دست کم ۱۵ سانتی‌متر برف ریزش کند و دید افقی را تا ۵ کیلومتر کاهش دهد، برف سنگین گویند (محمدی، ۱۳۸۴).

بنابر تعریف دیگر، شدت برفی برابر با دست کم ۳۰ سانتی‌متر در دوره زمانی ۲۴ ساعته، برف سنگین نامیده می‌شود (Esteban et al., 2005). به هر حال برف سنگین از توانش تخریبی بالایی برخوردار است و در صورت تداوم می‌تواند به معضلاتی تبدیل شود، از این رو شناخت الگوهای همدیدی و ویژگی کمیت‌های فیزیکی و دینامیکی منجر به بارش برف سنگین، برای صدور پیش بینی و نیز شناخت و هشدار به موقع که تا حد زیادی می‌تواند مخاطرات و خسارات ناشی از برف سنگین را کاهش بدهد، بسیار حائز اهمیت است. در نقاط مختلف دنیا تحقیقات گسترده‌ای پیرامون برف صورت گرفته برای مثال (Uccellini & Kocin, 1987) واکنش جریان قائم متقاطع دو سیستم رگه جت/ناوه را به عنوان یک عامل رایج در فرایند چرخندزایی برای بارش برف سنگین در ساحل شرقی ایالات متحده معرفی کردند که به تغییرات رطوبت، فرارفت دمایی و حرکت صعودی لازم برای تولید برف سنگین در این منطقه کمک می‌کند.

Elliott (۱۹۸۸)، برای پیش بینی برف سنگین ناشی از چرخندها (این شرایط شامل برف‌های همراه با جبهه سرد نمی‌باشد) روشی ارائه کرده است که بر اساس آن در صورت بارش برف سنگین در یک منطقه،

نقشه تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی باید فرارفت هوای گرم را به منطقه نشان دهد. به عبارت دیگر در این منطقه، حرکات صعودی رخ می‌دهد و هرچه اختلاف دمایی بین منطقه گرم و سرد بیشتر باشد این حرکات صعودی شدیدتر خواهند بود. از طرفی به همراه تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی، فرارفت دمایی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی نیز دارای اهمیت است و باید مورد بررسی قرار گیرد.

Mote و همکاران (۱۹۹۶)، با بررسی هیجده توفان برف در جنوب شرقی ایالات متحده، فرارفت گرم را مهم‌ترین عامل در حرکات صعودی این توفان‌ها مشخص کردند. Gaffin و همکاران (۲۰۰۳)، با بررسی برف سنگین ناگهانی و دور از انتظار در ۲۶ مارس ۱۹۹۹ در جنوب کوه‌های آپالاش، چندین سازوکار صعود هوا را از جمله جبهه‌زایی، کوه، موج‌های میان مقیاس را در مقدار بارش و شدت این برف دخیل دانستند.

Elguindi و Leathers (۲۰۰۵)، اثر پوشش برف در ساختار و شدت چرخندهای عرض‌های میانی را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که در موارد مورد مطالعه پوشش برف و در نتیجه کاهش انرژی پتانسیلی در دسترس، چرخندها را ضعیف می‌کند. از طرفی بیشترین کاهش دما و رطوبت در جو پایینی در قطاع گرم رخ می‌دهد که در کاهش گرادپان دمایی و رطوبتی و کاهش همگرایی در سطح زمین مؤثر است. قائمی و نوحی (۱۳۵۵)، به منظور پیش بینی برف، دیدبانی‌های یک دوره‌ی ۱۰ ساله را در ۲۱ ایستگاه همدیدی مورد مطالعه قراردادده و رابطه‌ی تجربی بین دمای نقطه شبنم و اختلاف آن با دمای خشک را به منظور پیش بینی ریزش برف ارائه دادند.

هدایتی (۱۳۷۴)، در پژوهشی یک شبیه سازی برای بارش برف سنگین در ایران در ژانویه سال ۱۹۹۳ ارائه داده است و بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ساعات ریزش برف در تهران ضخامت لایه ۱۰۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکال در حدود ۵۴۵-۵۴۳ دکازئوپتانسیل متر و

شرقی) شامل زمان وقوع و تداوم آن هر سه ساعت یک بار در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ میلادی، از بایگانی آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور استخراج شد. سپس به منظور بررسی شرایط همدیدی و الگوهای حاکم بر رخداد بارش برف سنگین در منطقه مورد نظر، از بین موارد گزارش شده با کد ۷۵ که بیانگر پدیده‌ی برف مداوم با بارش شدید در زمان دیدبانی می‌باشد، یک مورد بر اساس شدت بارش (۱۹ فوریه ۲۰۰۳) انتخاب گردید و به کمک داده‌های GFS با دقت $1/0 \times 1/0$ درجه شامل فشار در میانگین تراز دریا، دما، ارتفاع ژئوپتانسیلی در ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰، ۳۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال، سرعت قائم در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و تاوایی مطلق در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (به منظور بررسی صعود و نزول هوا) نقشه‌های همدیدی با استفاده از نرم‌افزار GrADS رسم شد. برای بالا بردن دقت کار، نقشه‌های فرارفت دمایی نیز به طور جداگانه به کمک داده‌های CFSR با دقت $0/5 \times 0/5$ درجه رسم و مورد بررسی قرار گرفت. در پایان پس از بررسی و تفسیر نقشه‌های همدیدی و کمیت‌های محاسبه شده‌ی مربوطه و نیز بررسی نقشه‌های فرارفت دمایی، نتیجه‌گیری نهایی ارائه شد.

نتایج

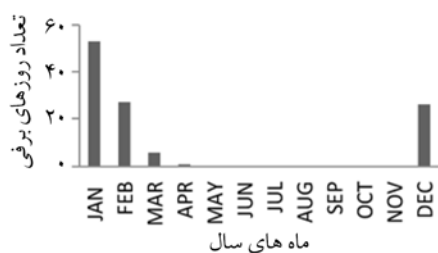
پردازش داده‌های بارش برف طی دوره مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۰۹) نشان داد که در مجموع ۱۵۰ روز برفی در این ایستگاه ثبت شده است و تجربه بیشترین تعداد روزهای برفی در سال ۲۰۰۸ و کمترین تعداد روزهای برفی در سال ۲۰۰۰ می‌باشد (شکل ۱)، از طرفی حداکثر فراوانی روزهای بارش برف در این ایستگاه به ترتیب در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر به وقوع پیوسته است (شکل ۲).

رو به کاهش بوده است. علاوه بر آن مراکز فشار زیاد باعث می‌شوند تا سامانه‌های مدیترانه‌ای به خصوص سامانه‌های شرق دریای مدیترانه به خوبی بسط و توسعه یابند. پدram (۱۳۷۵) در مطالعات خود نشان داد که در تهران هنگام ریزش برف رطوبت نسبی، نسبت به بارش باران بیشتر است و کاهش دمای خشک از ۲ درجه سلسیوس به ۱ درجه سلسیوس بزرگ‌ترین تغییر درصد وقوع بارندگی از باران به برف را به همراه دارد. از طرفی با دمای بیشتر از ۴ درجه‌ی سلسیوس و یا با دمای شبنم بیشتر از ۲ درجه سلسیوس ریزش برف غیر محتمل است. عادل (۱۳۸۴) در رساله خود بیان می‌دارد که در ماه‌های ژانویه و دسامبر مقدار و فراوانی بارش برف سالانه در شمال غرب ایران به بیشترین مقدار خود می‌رسد. نتایج این پژوهش بیان می‌دارد که پرفشار سبیری، بادهای غربی و توده هوای قاره‌ای قطبی از عوامل مؤثر در بارش برف در شمال غرب ایران است.

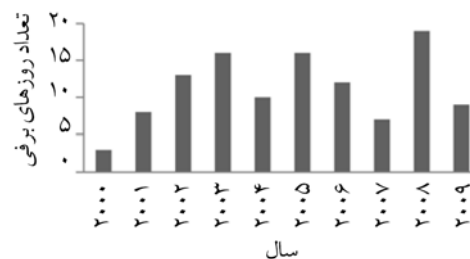
تهران به دلیل شرایط عارضه نگاری خاص، موقعیت جغرافیایی و قرار گرفتن در مسیر بادهای غربی، معمولاً در فصل سرد سال با ورود سامانه‌های بارشی قوی، برف‌های سنگین را تجربه می‌کند، از این رو در مطالعه‌ی حاضر، هدف شناسایی ویژگی‌های همدیدی الگوهای هواشناسی تأثیرگذار، امواج رویت شده در شرایط برف سنگین و بررسی فرارفت دمایی در ترازهای جوی به خصوص در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکالی طی دوره بارش در تهران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش جهت بررسی وقوع بارش برف سنگین در تهران، داده‌های دیدبانی شده در ایستگاه مهرباد (عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه



شکل ۲- نمودار تعداد روزهای برفی ایستگاه مهرآباد با تفکیک ماهانه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹



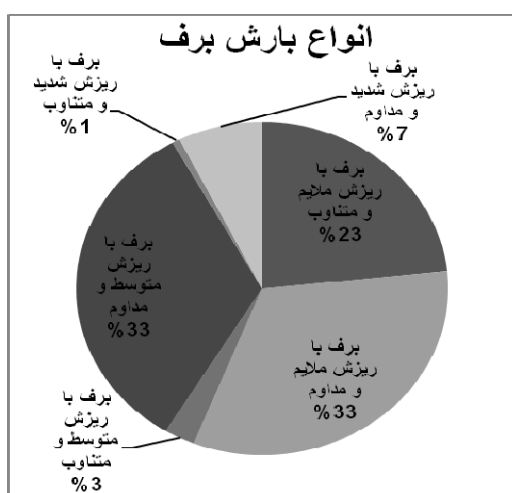
شکل ۱- نمودار تعداد روزهای برفی ایستگاه مهرآباد با تفکیک سالانه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹

می‌شود، می‌باشد.

جدول یک بیانگر انواع بارش‌های متناوب و مداوم برف که با ۶ کد مجزا در ایستگاه هواشناسی تفکیک

جدول ۱- انواع بارش متناوب و مداوم برف براساس کد هوای حاضر

نوع بارش	کد هوای حاضر
برف با ریزش ملایم و متناوب در زمان دیدبانی	۷۰
برف با ریزش ملایم و مداوم در زمان دیدبانی	۷۱
برف با ریزش متوسط و متناوب در زمان دیدبانی	۷۲
برف با ریزش متوسط و مداوم در زمان دیدبانی	۷۳
برف با ریزش شدید و متناوب در زمان دیدبانی	۷۴
برف با ریزش شدید و مداوم در زمان دیدبانی	۷۵



شکل ۳- درصد فراوانی وقوع انواع بارش برف در ایستگاه مهرآباد در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹

با توجه به این تفکیک، درصد فراوانی انواع بارش در ایستگاه مهرآباد در بازه زمانی مورد مطالعه در (شکل ۳) نشان داده شده است.

همان طور که بر روی نمودار قابل مشاهده است، برف مداوم با ریزش متوسط و ملایم، با ۳۳ درصد بیشترین سهم و برف متناوب با ریزش شدید، با ۱ درصد کمترین سهم بارش‌های برفی را در این ایستگاه دارا می‌باشند.

سهم دیگر بارش‌ها نیز در این شکل مشهود است. بارش‌های مداوم و شدید در بازه زمانی مورد مطالعه، جمعاً ۱۱ مورد بوده که در (جدول ۲) آمده است.

جدول ۲- موارد بارش برف مداوم با ریزش شدید در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹

تاریخ	ساعت گزارش (UTC)	مجموع بارش روزانه برحسب mm
۲۰۰۱/۱/۲۴	۰۳	۱۲/۲۰
۲۰۰۲/۱۲/۱۹	۰۰	۸/۰۰
۲۰۰۳/۲/۱۹	۰۰	۹/۰۰
۲۰۰۳/۲/۱۹	۰۶	۹/۰۰
۲۰۰۵/۲/۷	۰۳	۱۰/۵۰
۲۰۰۵/۲/۹	۱۲	۳/۰۰
۲۰۰۶/۱۲/۲۸	۱۲	۸/۰۰
۲۰۰۸/۱/۶	۰۳	۱۵/۰۰
۲۰۰۸/۲/۱	۰۰	۱/۲۰
۲۰۰۸/۲/۱۲	۰۰	۶/۰۰
۲۰۰۹/۲/۷	۰۶	۸/۲۰

نتایج تحلیل نقشه‌های همدیدی فوریه سال ۲۰۰۳

در روز نوزدهم فوریه ۲۰۰۳، در مدت بارش ۶ ساعته بارش برفی معادل ۹ سانتی‌متر در ایستگاه به ثبت رسیده است. به دلیل شدت بارش در روز مذکور در تحقیق حاضر به واکاوی نقشه‌های همدیدی این مورد پرداخته شده است.

نقشه‌ی میانگین تراز دریا در ساعت UTC ۱۲۰۰، روز هجدهم فوریه، ۱۲ ساعت قبل از شروع بارش برف در ایستگاه یک پرفشار را در شرق ترکیه و شمال غرب ایران با فشار ۱۰۱۲ هکتوپاسکال را نشان می‌دهد. مرکز کم فشار دریای مدیترانه ضمن حرکت اندکی به سمت شرق، تقویت شده است. در نتیجه گرادیان دمایی و فرارفت گرم بسیار شدید در منطقه روی جبهه‌ی گرم در سوریه، یک موج جبهه‌ای شکل گرفته است و در تهران که تحت نفوذ این موج می‌باشد در ساعات آینده بارش برف شدید و مداوم انتظار می‌رود (شکل ۴).

نقشه‌ی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی یک مرکز کم ارتفاع بسیار فعال را در شمال و مرکز مدیترانه نشان می‌دهد. توزیع میدان دما و ارتفاع ژئوپتانسیلی باعث شکل گیری سامانه‌ی دو جبهه‌ای، مطابق آنچه در نقشه

مشخص است، روی این سامانه‌ی کم ارتفاع گشته است. در سوریه و غرب عراق گرادیان دمایی بسیار بسیار شدید و فرارفت هوای گرم دیده می‌شود که موجبات شکل گیری یک موج روی جبهه‌ی گرم در سطح زمین را فراهم کرده است. اما غرب کشور و به دنبال آن تهران در این نقشه تحت نفوذ زبانه‌ی پرارتفاعی است که از عرض‌های پایینی به سمت منطقه امتداد یافته و در این ساعت هیچ بارشی در ایستگاه مهرآباد گزارش نشده است (شکل شماره ۵).

نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی، هماهنگ با سطوح پایینی، یک مرکز کم ارتفاع در غرب ترکیه را نشان می‌دهد که در حال نزدیک شدن به عراق و غرب ایران است اما همچنان غرب کشور و تهران در امتداد یک زبانه‌ی پرارتفاع از عرض‌های پایینی می‌باشد. در جنوب شرق ترکیه، شمال سوریه و عراق و در ادامه در غرب ایران فرارفت دمایی بسیار شدید بوده در امتداد شرق از مقدار آن کاسته شده است. بنابراین فرارفت شدید دمایی و حضور تعداد زیادی سیملوله در این مناطق کژفشاری شدید جو را آشکار ساخته است (شکل شماره ۶) و بررسی توزیع میدان سرعت حرکات قائم در این تراز، چندین سلول از حرکات صعودی را در این

در نقشه‌ی میانگین تراز دریا در ساعت UTC ۰۰ روز نوزدهم فوریه ۲۰۰۳ که بارش برف در منطقه آغاز شده، سامانه‌ی کم فشار بسیار وسیع و فعال، از شمال شرق مدیترانه تا سوریه، عراق و در ادامه در شمال غرب و غرب کشور حاکم است. این سامانه طی ۱۲ ساعت گذشته ضمن گسترش به سمت شرق حرکت کرده است، بنابراین مرکز کم فشار مدیترانه و در نتیجه موج شکل گرفته در روی جبهه‌ی گرم آن به کشور نزدیک‌تر شده است. بنابراین در این ساعت تهران جلوی زبانه‌ی کم فشار و جبهه‌ی گرم بسیار فعالی قرار گرفته است که موجبات بارش برف شدید و مداوم را در منطقه فراهم نموده است. زبانه‌ی دیگری از این سامانه‌ی کم فشاری در جنوب دریای خزر دیده می‌شود. در این ساعت نیمه‌ی غربی کشور از شمال تا جنوب و نواحی مرکزی و شمال شرق تحت نفوذ سامانه‌ی کم فشار بسیار فعال قرار گرفته است (شکل ۱۲).

نقشه‌ی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، همانگ با نقشه میانگین تراز دریا سه مرکز کم ارتفاع را در شمال غرب مدیترانه، جنوب ترکیه و شمال غرب ایران نشان می‌دهد و هماهنگ با میانگین تراز دریا، تهران در این ساعت جلوی جبهه گرم قرار گرفته است (شکل ۱۳).

در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود که کم ارتفاع بسته‌ی ترکیه در این ساعت باز شده است و این منطقه ناهای ارتفاعی دیده می‌شود و تهران جلوی ناهای با کجی منفی قرار گرفته است (شکل ۱۴). توزیع میدان سرعت قائم در این تراز، تعداد زیادی سلول همراه با حرکات صعودی را در نواحی شرق مدیترانه، جنوب سوریه و عراق نشان می‌دهد اما در ایران هسته‌ی حرکات صعودی با بزرگی $0/8$ پاسکال بر ثانیه (۸ سانتی متر بر ثانیه) در گیلان قرار دارد که در امتداد آن سرعت حرکات قائم رو به بالا در تهران $0/2$ پاسکال بر ثانیه (۲ سانتی متر بر ثانیه) می‌باشد. بررسی فرارفت دمایی در این ساعت، فرارفت ناچیز و رو به صفر گرم را در تهران نشان می‌دهد (شکل ۱۵).

نواحی نشان می‌دهد اما غرب ایران و تهران به دلیل قرار گرفتن در امتداد زبانه‌ی پرارتفاع در این ساعت هیچ گونه حرکت صعودی را تجربه نکرده است (شکل ۷).

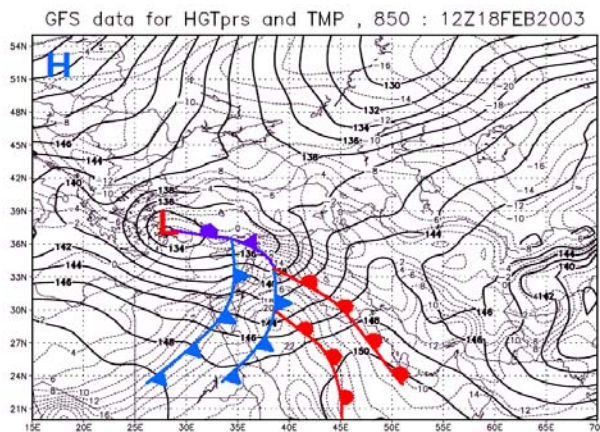
نقشه‌ی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی، حاکی از حرکت شرق سوی زبانه‌ی پرارتفاع ناشی از عرض‌های پایینی و در نتیجه قرار گرفتن محور آن در غرب ایران می‌باشد. بنابراین همچنان تهران، مطابق ترازهای زیرین، در زبانه‌ی پرارتفاع مستقر است و بزرگی تاوایی مطلق در آن ناچیز می‌باشد. از طرفی در شرق و شمال دریای مدیترانه و در امتداد آن سوریه که طبق تراز زیرین تحت فرارفت گرم بسیار شدید و جو بسیار کثرفشار می‌باشد (شکل ۸)، بزرگی تاوایی مطلق در این مناطق به مقدار قابل ملاحظه‌ای رسیده است به طوری که دو هسته‌ی میدان تاوایی مطلق با مراکز 21×10^{-5} بر ثانیه در شمال و شمال شرق مدیترانه دیده می‌شود. توزیع میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی در این تراز، حاکی از فرارفت تاوایی مطلق مثبت با مقادیر چشم گیر به سمت عراق و غرب کشور است (شکل ۹).

در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال، در شرق مدیترانه، سوریه و عراق فرارفت هوای گرم بسیار شدید بوده و کثرفشاری شدید جو مشهود است (شکل ۱۰). در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، توزیع میدان دما یک منطقه‌ی هوای سرد با دمای -58 درجه سلسیوس را در شمال غرب ایران و جنوب غرب دریای خزر نشان می‌دهد، بنابراین در عراق و سوریه و شمال غرب کشور فرارفت گرم حاکم است اما تهران در این ساعت فرارفت هوای سرد را تجربه می‌کند و بارش برف هنوز در ایستگاه مهرآباد آغاز نشده است (شکل شماره ۱۱). ضخامت لایه‌ی $500-1000$ هکتوپاسکالی در این ساعت، روی تهران به 540 دکاژئوپتانسیل متر رسیده است و نسبت به ۱۲ ساعت گذشته افزایش چشم‌گیر 10 دکاژئوپتانسیل متری داشته که با فرارفت هوای گرم در ترازهای پایینی از جمله تراز 700 و 850 هکتوپاسکالی توجیه می‌شود.

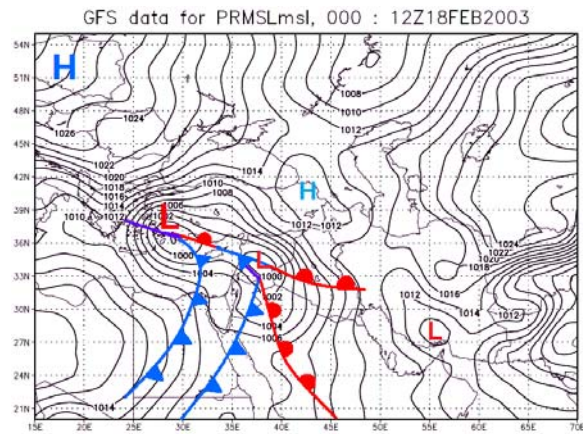
کشور جریان‌ات شدید غربی، گرادیان دمایی و فرارفت شدید هوای گرم و در نتیجه ناپایداری کژفشاری در این منطق به تصویر کشیده است. امواج کوتاه نسبت به ترازهای زیرین ضعیف‌تر بوده و به سختی به چشم می‌آیند (شکل ۱۸). نقشه‌ی تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال فرارفت شدید هوای گرم را در غرب و شمال غرب کشور و نواحی مرکزی ایران نشان می‌دهد که با گزارش برف شدید و مداوم در منطقه همراه بوده است. از طرفی در عراق بیشینه فرارفت گرم با بزرگی 10×10^{-4} درجه سلسیوس بر ثانیه دیده می‌شود که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این منطقه تاوایی مطلق مقدراری بیشینه داشت (شکل شماره ۱۹). ضخامت لایه‌ی ۱۰۰۰-۵۰۰ هکتوپاسکالی در این ساعت روی تهران برابر ۵۴۵ دکازئوپتانسیل متر است که افزایش آن طی ۱۲ ساعت گذشته با فرارفت شدید هوای گرم به سمت منطقه هماهنگ است.

نقشه‌ی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، در نواحی غرب و شمال غرب ایران جریان‌های شدید مداری و شاخص مداری بالا را نشان می‌دهد.

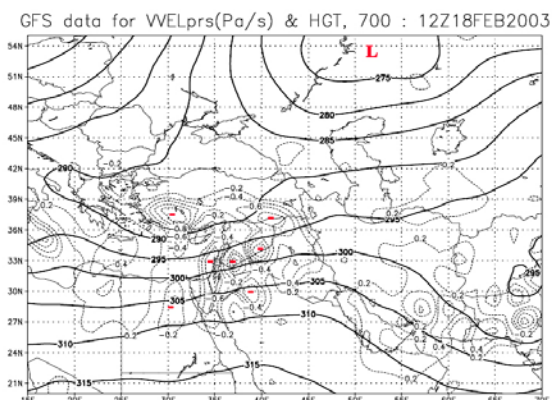
در این مناطق امواج کژفشاری شدید با طول موج‌های کوتاه حضور دارند که مطابق شکل یکی از این امواج کوتاه هماهنگ با ترازهای زیرین، از شمال غرب به سمت غرب و تقریباً نواحی مرکزی کشور امتداد یافته است و تهران را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فرارفت دمایی در امتداد این ناوه‌ی کج بسیار شدید بوده و شرایط لازم را بر شکل‌گیری امواج چرخندی در سطح زمین فراهم کرده است (شکل شماره ۱۶). تاوایی مطلق در عراق و سوریه، به بزرگی 10×10^{-5} بر ثانیه رسیده است و در حال فرارفت به سمت نواحی شمال غربی و غرب کشور و در ادامه تهران می‌باشد (شکل شماره ۱۷). نقشه‌ی تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال، مشابه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در غرب و شمال غرب



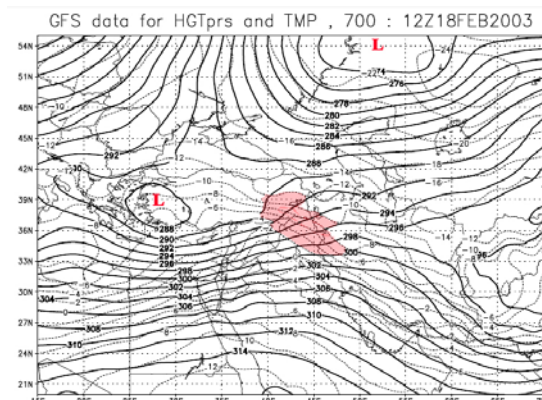
شکل ۵- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان دما بر حسب درجه سلسیوس در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۲۰۰ UTC تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۸



شکل ۴- میدان فشار میانگین تراز دریا بر حسب هکتوپاسکال در ساعت ۱۲۰۰ UTC تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۸

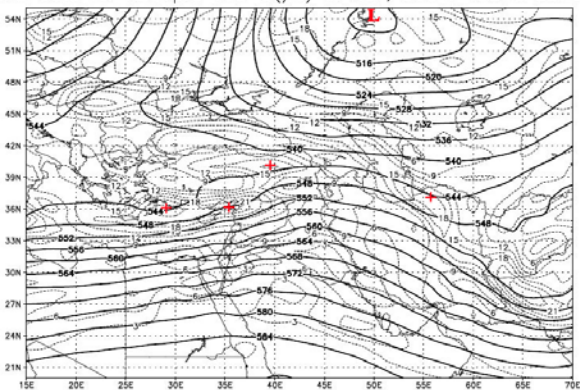


شکل ۷- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان سرعت حرکات قائم بر حسب پاسکال بر ثانیه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC ۱۲۰۰ تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۸



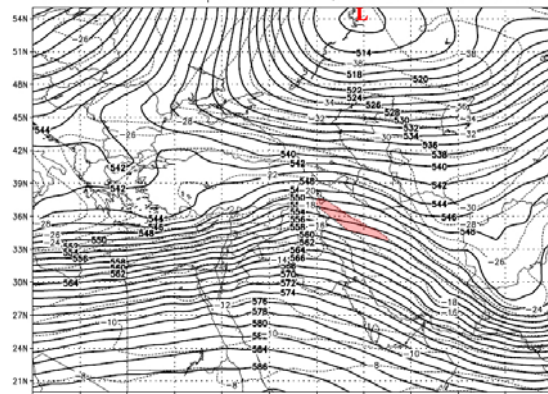
شکل ۶- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان دما بر حسب درجه سلسیوس در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC ۱۲۰۰ تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۸

GFS data for ABSVprs*10e-5(s) & HGT, 500 : 12Z18FEB2003



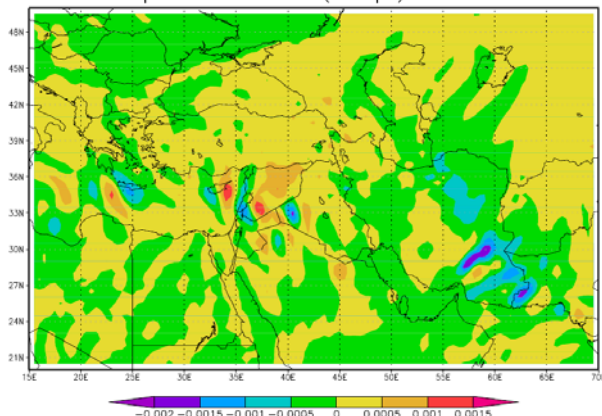
شکل ۹- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان تاوایی مطلق ($\times 10^{-5}$) بر حسب بر ثانیه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC ۱۲۰۰ تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۸

GFS data for HGTprs and TMP, 500 : 12Z18FEB2003



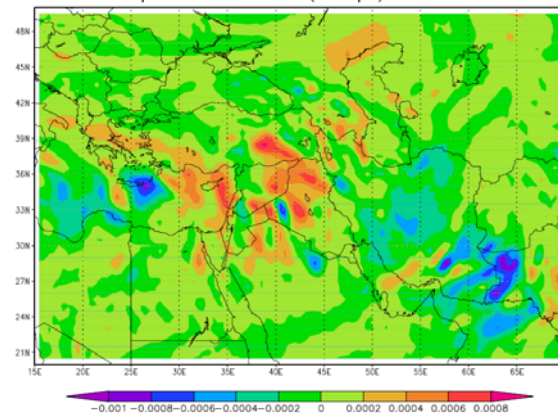
شکل ۸- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان دما بر حسب درجه سلسیوس در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC ۱۲۰۰ تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۸

temperature advection (200hpa)2003021812



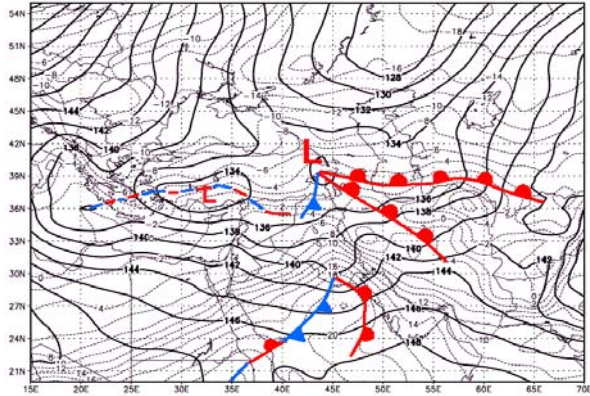
شکل ۱۱- میدان فرارفت دما (10^{-4}) بر حسب درجه سلسیوس بر ثانیه در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC ۱۲۰۰ تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۸

temperature advection (300hpa)2003021812



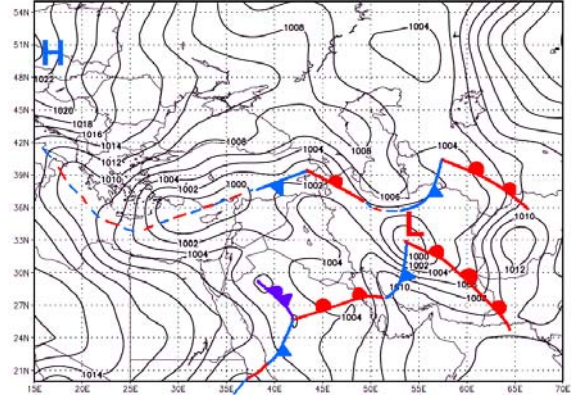
شکل ۱۰- میدان فرارفت دما (10^{-4}) بر حسب درجه سلسیوس بر ثانیه در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC ۱۲۰۰ تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۸

GFS data for HGTprs and TMP , 850 : 00Z19FEB2003



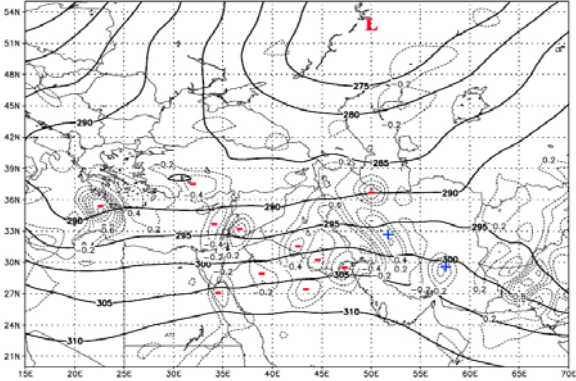
شکل ۱۳- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان دما بر حسب درجه سلسیوس در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ UTC تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۹

GFS data for PRMSLmsl, 000 : 12Z19FEB2003



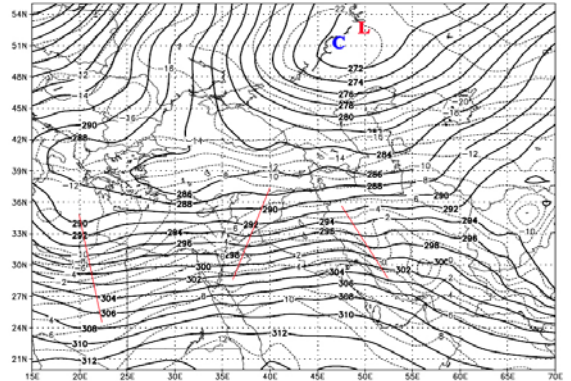
شکل ۱۲- میدان فشار میانگین تراز دریا بر حسب هکتوپاسکال در ساعت UTC00 تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۹

GFS data for WELprs(Pa/s) & HGT, 700 : 00Z19FEB2003



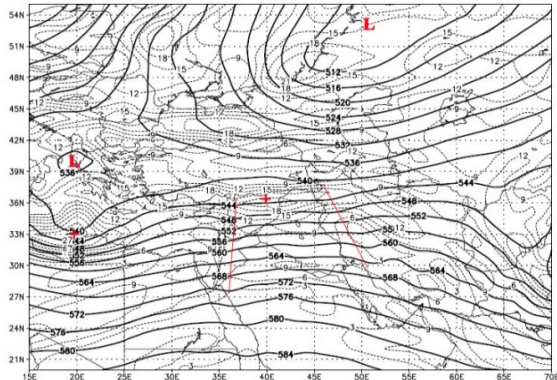
شکل ۱۵- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان سرعت حرکات قائم بر حسب پاسکال بر ثانیه در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ UTC تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۹

GFS data for HGTprs and TMP , 700 : 00Z19FEB2003



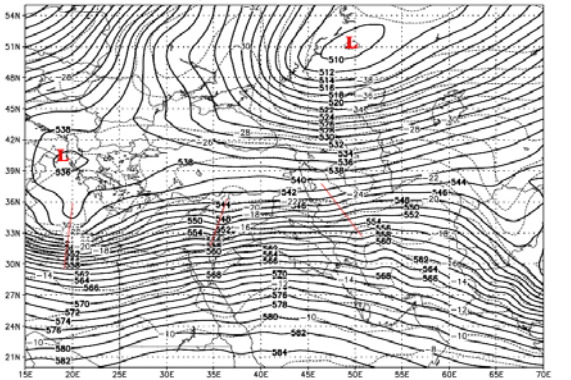
شکل ۱۴- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان دما بر حسب درجه سلسیوس در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ UTC تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۹

GFS data for ABSVprs*10e-5(s) & HGT, 500 : 00Z19FEB2003

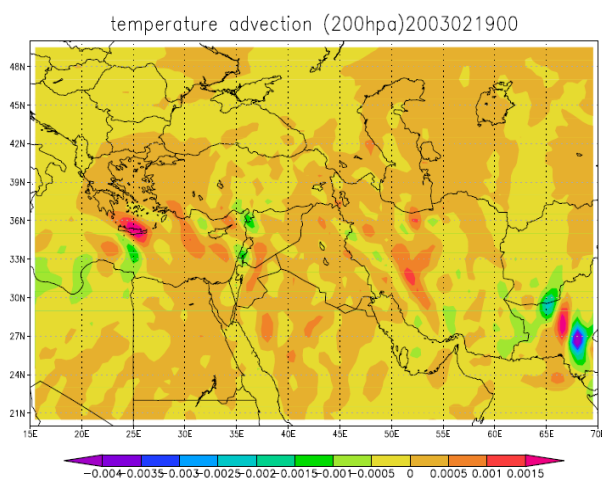


شکل ۱۷- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان تاوایی مطلق ($\times 10^{-5}$) بر حسب بر ثانیه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC00 تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۹

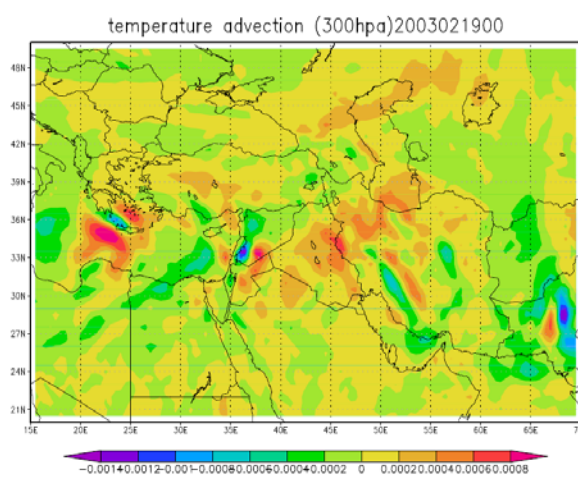
GFS data for HGTprs and TMP , 500 : 00Z19FEB2003



شکل ۱۶- میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی بر حسب دکازئوپتانسیل متر و میدان دما بر حسب درجه سلسیوس در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ UTC تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۹



شکل ۱۹- میدان فرارفت دما (10^{-4}) بر حسب درجه سلسیوس بر ثانیه در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ UTC تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۹



شکل ۱۸- میدان فرارفت دما (10^{-4}) بر حسب درجه سلسیوس بر ثانیه در تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰ UTC تاریخ ۲۰۰۳/۲/۱۹

آن بر روی دریای خزر بوده است. تقابل این دو سامانه سبب گرادیان شدید فشار بر روی منطقه مورد مطالعه شده است. در میانگین تراز دریا جبهه سرد و ساکن همراه با ریزش هوای سرد از عرض‌های بالاتر باعث ریزش برف شدید رگباری در منطقه شد. طی این بارش فرارفت دمایی در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال به صورت منفی بوده است، اما پس از عبور این سامانه به دلیل گرادیان شدید دمایی و فرارفت شدید هوای گرم روی جبهه‌ی گرم مستقر در کم فشار مدیترانه، در منطقه سوریه یک موج شکل گرفت که با حرکت به سمت منطقه باعث بارش برف شدید و مداوم در تهران گردید. با توجه به نقشه‌های ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکالی، سامانه‌های کم فشاری سطح زمین که شرایط برف سنگین در تهران را فراهم می‌آورند با ناهه‌های کج منفی که با سرعت از منطقه می‌گذرند و به سمت شرق می‌روند همراهند و از محورهای فضایی که بین مراکز کم فشار سطح زمین و این مراکز کم ارتفاع و موقعیت ناهه در این ترازها استنباط می‌شود که در حالت کژفشاری جو، مراکز کم فشار سطح زمین با خط ناهه و مراکز کم ارتفاع سطوح فوقانی محوری

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌های آماری در مقیاس سالانه و ماهانه در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ میلادی در ایستگاه مهرآباد نشان داد بیشترین تعداد روزهای برفی در سال ۲۰۰۸ میلادی و کمترین آن در سال ۲۰۰۰ رخ داده و سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ میلادی نیز به طور نسبی تعداد روزهای برفی زیادی را تجربه نمودند. در مقیاس ماهانه حداکثر فراوانی روزهای بارش برف در این ایستگاه در ماه ژانویه می‌باشد و ماه‌های فوریه و دسامبر نیز از فراوانی قابل توجهی از روزهای همراه با بارش برف برخوردار هستند. همچنین بررسی بارش برف بر اساس نوع آن نیز طی دوره مورد مطالعه برای این ایستگاه، نشان داد که بارش برف متوسط و ملایم با ریزش مداوم با ۳۳ درصد بیشترین سهم و برف شدید با ریزش متناوب با ۱ درصد کمترین سهم بارش‌های برفی را در این ایستگاه دارا می‌باشند. بررسی نقشه‌های همدیدی طی دوره‌ی بارش برف سنگین در فوریه ۲۰۰۳، در ترازهای مختلف جوی، حاکی از شکل‌گیری مرکز کم‌فشار بر روی مدیترانه و از طرف دیگر مرکز پرفشار روی اروپا و امتداد زبانه‌های

استفاده از پارامترهای فیزیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد،
موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران. ایران.

Elguindi, N. H. & Leathers, D. 2005. The effects of snow cover on Multitude Cyclones in the Plains. *Journal of hydrometeor*, 6: 263-279.

Elliott, G. 1988. *Weather Forecasting Rules, Techniques and Procedures*. American Press. USA.

Esteban, P., Jones, P.D., Martin-Vide, J. & Mases, M. 2005. Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees. *International Journal of Climatology*, 25:319-329.

Gaffin, D., Stephen, M., Parker, S. & Kirkwood, P. D. 2003. An unexpectedly heavy and complex snowfall event across the southern Appalachian Region. *Weather Forecasting*, 18: 224-235.

Mote, T. L., Gamble, D. W., Underwood, S. J. & Bently, M. L. 1997. Synoptic-Scale features common to heavy snowstorms in the southeast United States. *Weather Forecasting*, 12:5-23.

Uccellini, L., W. & Kocin, P. J. 1987. The interaction of Jet Streak Circulations during heavy snow events along the east coast of the United States. *Weather Forecasting*, 2: 298-308.

کاملاً شمال غربی دارند. از طرفی با وجود اینکه تاوایی مطلق در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه مقدار قابل ملاحظه‌ای نداشت فرارفت تاوایی مثبت به سمت منطقه بسیار شدید بود. منفی بودن سرعت حرکت قائم (در مختصات فشاری) در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و تاوایی مثبت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال طی بارش برف سنگین نشان از ناپایداری و صعود شدید هوا دارد. طی این بارش در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال فرارفت هوای گرم مشاهده شد.

منابع

- پدرام، م. ۱۳۷۵. الگوی سینوپتیکی پیش‌بینی برف در ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- عادلی، ا. ۱۳۸۴. ا. ا. کلیماتولوژی بارش برف در شمال غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- قائم‌ی، ه. و نوحی، ا. ۱۳۵۵. تجزیه و تحلیل آماری ریزش برف. سازمان هواشناسی کشور. ایران.
- محمدی، ح. ۱۳۸۴. مفاهیم و اصطلاحات جوی. انتشارات دانشگاه تهران. ایران.
- هدایتی، ا. ۱۳۷۴. پیش‌بینی ریزش برف‌های متوسط و سنگین با