نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی| سال پنجم| شماره نوزدهم و بیستم| پاییز و زمستان ۱۳۹۳

شناسائی و واکاوی سازوکار شکل‌گیری الگوی مکانی برف‌های جلگه مرکزی گیلان (برف دلتا) با استفاده از مدل عددی WRF

سمانه نگاه*[۱]، فروغ مومن پور[۲]، پروین غفاریان[۳]، نیما فرید مجتهدی[۴]، ابراهیم اسعدی اسکویی[۵]

۱- دکتری هواشناسی، کارشناس گروه تحقیقات اداره کل هواشناسی گیلان

۲- کارشناسی ارشد هواشناسی، کارشناس پیش‌بینی اداره کل هواشناسی گیلان

۳- دکتری هواشناسی، استادیار پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی

۴- دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی دانشگاه تهران، کارشناس گروه تحقیقات اداره کل هواشناسی گیلان

۵- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، کارشناس گروه تحقیقات اداره کل هواشناسی گیلان

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۸

چکیده

در این پژوهش با پایش (پردازش) تصاویر سنجنده مودیس ماهواره‌های آکوا و ترا، الگوی مکانی ویژه مثلثی و به طور تقریبی منطبق بر دلتای رودخانه سفیدرود برای برف‌های متوسط جلگه مرکزی گیلان در کرانه جنوب غربی دریای کاسپین شناسائی گردید و شرایط همدیدی-دینامیکی سامانه‌های منجر به شکل‌گیری این الگو، با استفاده از اجرای مدل عددی WRF با تفکیک ۳ و ۹ کیلومتر مورد واکاوی قرار گرفت. منشأ این سامانه‌ها پرفشارهایی با مقیاس همدیدی هستند که از سمت غرب اروپا تا روی دریای کاسپین کشیده می‌شوند. چرخش ساعت‌گرد این واچرخندها در وردسپهر زیرین با فرارفت سرد جریانات شمالی به حاشیه جنوب‌غربی دریای کاسپین همراه است و حرکت شرق‌سوی امواج ناپایدار ترازهای میانی و فوقانی وردسپهر موجب تقویت حرکات صعودی لایه‌های زیرین می‌شود. جنوب البرز، به دلیل عبور ناوه‌های ارتفاعی و دمایی و همچنین گردش پادساعتگرد این امواج غربی، تحت تأثیر جریانات شمال‌سو است. طی ساعات اولیه نفوذ زبانه پرفشار روی کاسپین، دمای لایه‌های زیرین وردسپهر در جلگه گیلان به اندازه کافی کاهش نمی‌یابد بنابراین ریزش هوای سرد ناشی از عبور ناوه‌های دمایی و ارتفاعی تراز ۸۵۰ و بالاتر از آن، از سمت فلات ایران(دشت قزوین) و ارتفاعات البرز که دارای ارتفاع بیشتر از جلگه گیلان ودمای سطحی کمتری نسبت به دلتای سفیدرود هستند، سبب غلبه جریانات سرد جنوبی فلات ایران و بارش برف در محل ورودی دره سفیدرود به جلگه گیلان می شود برش قائم میدان باد و دما نیز بیانگر آن است که علاوه بر چینش افقی این دو کمیت در محل دره منجیل (عرض جغرافیایی ۳۶٫۷) منتهی به دره شاهرود و دشت قزوین ، چینش قائم باد در حدود تراز ۸۵۰ میلی‌باری روی جلگه گیلان مشاهده می‌گرددکه مبین مرز ناپایداری میان جریانات شمالی درلایه‌های زیرین وردسپهر و جریانات جنوبی در لایه‌های میانی وردسپهر است. چینش قائم و افقی باد و گرادیان افقی قابل ملاحظه دما، شکل‌گیری جبهه در مقیاس محلی را منطبق برگذرگاه دره منجیل نشان می‌دهد. نکته حائز اهمیت آن است که پس از استقرار پرفشار سرد روی غرب کاسپین و تقویت سرمایش لایه‌های سطحی روی سواحل، تباین دما مابین جلگه گیلان و دشت قزوین کاهش می‌یابد. واقع شدن منطقه در شاخه غربی ناوه ارتفاعی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی که با جریانات شمالی روی البرز همراهی می‌کند، موجب می‌شود بادهای شمالی از سمت عرض‌های بالا تا جنوب البرز و تا عمق ۷۰۰ هکتوپاسکالی وردسپهر گسترش یابد و مرز ناپایداری و چینش قائم باد در عمق وردسپهر، از بین لایه ۷۰۰ و ۸۰۰ به بین لایه ۶۰۰ و ۷۰۰ تغییر کند.

واژگان کلیدی: مدل WRF، برف دلتا، جبهه محلی دره سفیدرود، جلگه گیلان.

*.Email: samaneh_negah@yahoo.com

مقدمه

مناطق برفی و یخی زمین، مجموعا یخ‌کره شناخته می‌شوند که شامل پوشش برف-یخ دریا، یخ آب‌های شیرین (دریاچه‌ها و رودخانه‌های یخ‌زده)، توده‌های عظیم یخ روی خشکی(صفحات یخ، یخچال‌ها) و زمین‌های یخ زده (پرمافراست) می‌شوند(ریس،۱،۲۰۰۸). پوشش برف در همه مقیاس‌های مکانی دارای اهمیت است و یک کمیت مهم برای آب‌وهوا می‌باشد. به ویژه نقشی که در کنترل آلبیدو و فرایندهای آب‌شناسی و زیستی بازی می‌کند(تاپینر،۲۰۰۱،۱). پوشش برف همچنین نقش مهمی در مطالعه اثرهای تغییر آب‌وهوا دارد(گنگ‌وهمکاران ۲۰۰۳). پوشش برف بر اقتصاد مردم پائین‌دست مناطق کوهستانی چه از لحاظ کشاورزی، تامین مصارف سکونت‌گاه‌های انسانی و شرب تاثیر دارد. مطالعات در زمینه‌ی وسعت و شکل پوشش برف، جنبه‌های گوناگونی را در بر می‌گیرد، مطالعات در زمینه وسعت مکانی پوشش برف در منابع علمی، غالبا درباره شناسائی پتانسیل برف ذخیره شده در مناطق بالادست آبخیزها، اثرهای تغییر آب‌وهوا و گرمایش جهانی، بر مساحت پوشش برف و تغییرات آن در طی زمان و غیره است. تاکنون مطالعه‌ای در زمینه‌ی شکل ویژه الگوی مکانی برف، حداقل در ایران انجام نشده است. این مسئله نه تنها از لحاظ جنبه‌های علمی-آموزشی دارای اهمیت است. بلکه از لحاظ ایجاد نگرشی فضائی از مناطق درگیر پهنه‌های برف و تهیه نقشه خطر مناطق برف‌گیر در منطقه اهمیت دارد، که می‌تواند مناطق درگیر با بحران در بارش‌های برف را مشخص نماید. همچنین می‌تواند در مدیریت جامع بحران در مناطق مختلف کمک شایانی به تصمیم‌گیران در این عرصه نماید. مطالعات در زمینه‌ی پوشش برف، بیشتر منحصر به شناسائی روند تغییرهای پهنه‌ی پوشش برف در طی زمان و در ارتباط با گرمایش جهانی و همچنین ارتباط آن با اثرهای سامانه‌های پیوند از دور است. فتاحی(۱۳۸۹)، به بررسی روند تغییرهای پوشش برف شمال‌غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌های NOAA پرداخت. نتایج مطالعه نشان داد، در تغییرهای سطحِ پوششِ برفِ منطقه، روند معنی‌داری وجود ندارد. براون (۲۰۰۰، ۲۳۳۹) وسعت پوشش برف در یک دوره ۸۲ ساله در نیمکره شمالی برای ۶ ماهه فصل سرد سال مورد بررسی قرار داد. نتایج مطالعه نشان از روندهای متفاوت افزایشی و کاهشی، در وسعت پوشش و آب معادل برف در عرض‌های میانه نیمکره شمالی است. استیوارت (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ی خود این مسئله را مورد بررسی قرار داد که آیا کلاهک‌های برفی کوهستان و ذوب برف، واکنش آب‌شناختی سازوگار به تغییرهای آب‌وهوایی در چند دهه‌ی گذشته داشته‌اند. شواهد نشان می‌دهد که افزایش دما و بارش در طی زمان، کلاهک‌های برفی را هم زمان با مقیاس جهانی متاثر ساخته است. هرچند طبیعت این تغییر، در میان دیگر عوامل قویاً به موقعیت جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع وابسته است. داهه‌وهمکاران(۲۰۰۶،۱۸۲۰) در مطالعه‌ی خود به بررسی توزیع و تغییرهای پوشش برف غرب کشور چین و ارتباط آن با تغییرهای آب‌وهوایی پرداختند. نتایج مطالعه‌ی ایشان نشان داد که مناطق غربی چین کاهش دائمی را در وسعت پوشش برف را در طی دوره گرمایش بزرگ از دهه ۱۹۸۰ تا دهه ۱۹۹۰ تجربه ننموده‌اند.

منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه، جلگه‌ی مرکزی گیلان در کرانه‌ی جنوب‌غربی دریای کاسپین است(شکل.۱). جلگه‌ی مرکزی گیلان ماحصل فعالیت رسوب‌گذاری رودخانه‌ی سفیدرود در کرانه جنوب‌غربی دریای کاسپین است، بنابراین منطبق بر دلتای این رودخانه می‌باشد(شکل.۲). دلتای سپیدرود با مختصات "۱۶ ´۰۰ °۳۷ تا"۰۰´۲۷°۳۷ عرض شمالی و "۰۰´ ۲۸ °۴۹ تا "۰۰´ ۱۶ °۵۰ طول شرقی، بزرگ‌ترین دلتای تشکیل شده در سواحل جنوبی دریای کاسپین است. مساحت دلتا که در بخش غربی واحد زمین‌ریخت‌شناسیِ جلگه‌ی ساحلی کاسپین واقع شده است،۱۳۵۰ کیلومتر مربع است و در امتداد شرقی-غربی از شرق تالاب انزلی تا شمال چمخاله‌ی لنگرود و جنوبی-شمالی از جنوب امامزاده‌هاشم رشت تا شمال بندرکیاشهر کشیده شده است. بیشترین پهنای

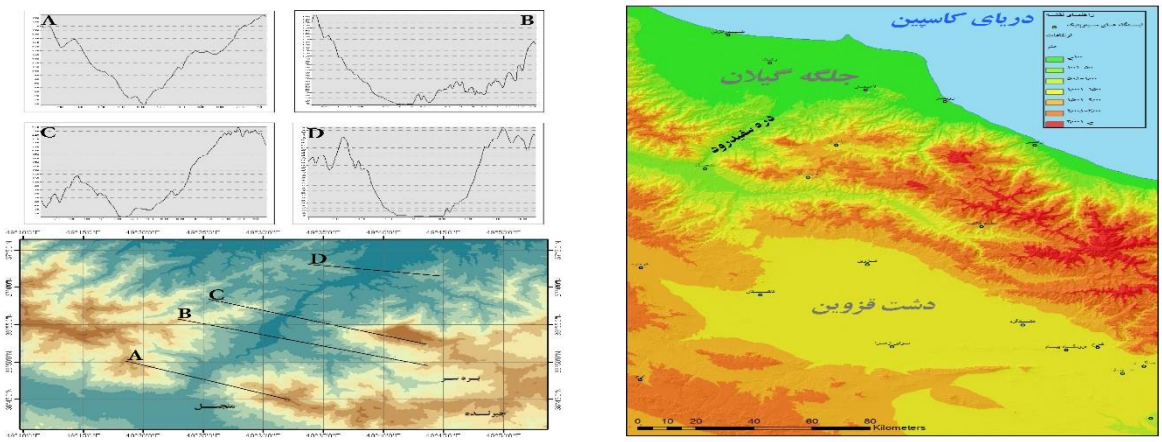
دلتا از رشت تا چمخاله، ۵۸ کیلومتر و طول آن از جنوب امامزاده‌هاشم تا دلتای فعال کنونی در شمال بندر کیاشهر ۵۸ کیلومتر و طول خط ساحلی دلتایی حدود ۸۲ کیلومتر است(جداری‌عیوضی و همکاران، ۱۳۸۴،۲). شیب زمین‌های جلگه بسیار کم و از سمت جنوب به شمال است. شکل‌گیری دره سفیدرود، به دلیل عملکرد گسل لاهیجان (گسل سفیدرود) است که شرایط را برای به تغییر سطح اساس این رودخانه، به دریای کاسپین فراهم نموده است. بدین ترتیب دلتای رودخانه‌ی سفیدرود در طی اواخر دوره‌ی پلئیستوسن شکل گرفته است و روند شکل‌زائی و توسعه آن هنوز هم ادامه دارد (محمودی،۱۳۷۴،۸۸ و جداری‌عیوضی،۱۳۸۴،۳). دلتای سفیدرود از نظر سنی متعلق به پلئیستوسن است (آنلز و همکاران، ۱۹۷۵). دره‌ی زمین‌ساختی سفیدرود (منجیل) یکی از عناصر مهم جغرافیایی و آب‌وهوای گیلان است و نقش موثری در جریان‌های هوا در میان فلات ایران و جلگه‌ی پست جنوب کاسپین دارد (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۴). این جلگه یکی از متراکم‌ترین مناطق زیستی جمعیتی ایران محسوب می‌شود. به طوری که تراکم جمعیت در این منطقه بعد از تهران مقام دوم را در ایران به خود اختصاص داده است(عظیمی،۱۳۸۸). علاوه بر این یکی از متراکم‌ترین مراکز جاده‌ای کشور محسوب می‌گردد. به طوی که محل اتصال و عبور جاده‌های ارتباطی کشور و همچنین محور ارتباطی استان‌های شمال‌شرقی و شمالی کشور با مناطق شمال‌غربی محسوب می‌شود.

مواد و روش‌ها

به دلیل کمبود ایستگاه‌های زمینی و به ویژه عدم وجود داده‌های ارتفاع برف با پوشش مکانی مناسب، داده‌های ماهواره‌ای جایگزین مناسبی برای دریافت و پردازش اطلاعات بسیاری از فراسنج‌ها و پدیده‌های هواشناسی از جمله برف هستند. در بسیاری از مطالعات در زمینه‌ی شناسائی پوشش برف و مساحت آن و تغییرهای آن، از داده‌های ماهواره‌های AVHRR و MODIS استفاده شده است(زوهال اکیورک،۲۰۰۲). در این مطالعه به منظور پایش مکانی سطح پوشش برف، از داده‌های سنجنده مودیس با فرمت رستری و برای یک دوره ۹ ساله با فواصل زمانی روزانه با دقت مکانی ۲۵۰ متر استفاده گردید. تصاویر از لینک ذیل ذخیره گردید.

http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?subset=Europe_3_05

جهت تشخیص سطوح پوشیده شده از برف از شاخص سطح برف (NDSI) کمک گرفته شد. به علت انعکاس پائین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص می‌تواند در تشخیص پوشش برف از سایر پدیده‌ها بسیار مفید باشد(فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۵۴). با استفاده از نرم‌افزار ساج و الگوریتم شناسائی برف، پهنه‌های مکانی برف باریده شده در محدوده‌ی جلگه‌ی گیلان مورد شناسائی قرار گرفت و نتایج مطالعه به صورت نقشه‌ای رقومی استخراج گردید و با فراخوانی این لایه‌ها بر روی نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه، الگوی فضائی پهنه برف تهیه گردید. در واکاوی و تحلیل چگونگی رخداد این پدیده از دیدگاه ترکیبی استفاده گردید. یعنی علاوه بر تحلیل همدیدی سازوکار الگوی همدیدی-دینامیکی رخداد اینگونه برف‌ها در ترازهای مختلف جوی و شناسائی نحوه رخداد، دیدگاه جغرافیایی و تحلیل فضائی دره سفیدرود و عناصر جغرافیای گیلان مورد بررسی قرار گرفت. جهت اثبات فرضیه‌ی ارائه شده در این پژوهش و مطالعه آن در مقیاس مناسب، از مدل عددی WRF استفاده گردید.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و واحدهای پستی‌وبلندی و نیمرخ دره سفیدرود از حوالی دره منجیل تا خروجی آن در جنوب شهر سنگر، شاهد روند پهن شدگی دره از منجیل به سمت شمال شرقی در نیمرخ‌های A، B، C و D هستیم.

پیکربندی مدل

در این تحقیق از نسخه‌ی ۳/۴ مدلWRF استفاده شده است تعداد آشیانه‌ی انتخابی" سه " و نسبت تفکیک افقی آشیانه‌ها ۱ به ۳ است. این مدل با تفکیک افقی ۲۷ کیلومتر برای آشیانه-ی اول، ۹ کیلومتر برای آشیانه‌ی دوم و ۳ کیلومتر برای آشیانه-ی سوم تنظیم شده است. تفکیک افقی داده‌های زمینی برای آشیانه‌ی اول هر ۱۰ دقیقه (نوزده کیلومتر)، آشیانه‌ی دوم هر ۲ دقیقه (چهار کیلومتر) و آشیانه‌ی سوم هر ۳۰ ثانیه (۰/۹ کیلومتر) تکرار می‌شود. از نگاشت لامبرت برای مدل و داده-های FNL به عنوان ورودی مدل استفاده شده است. طرح واره‌های فیزیکی مورد استفاده برای فراسنجی فرآیندهای فیزیکی، همرفت، لایه مرزی و تابش به صورت زیر انتخاب شده‌اند:

- طرحواره خردفیزیک ابر: Lin et al. Scheme
- طرحواره همرفت:Kain_Fritsch
- طرحواره لایه مرزی:Mellor-Yamada-Janjic
- طرحواره تابش موج بلند: RRTM[۲]
- طرحواره تابش موج کوتاه: Goddard

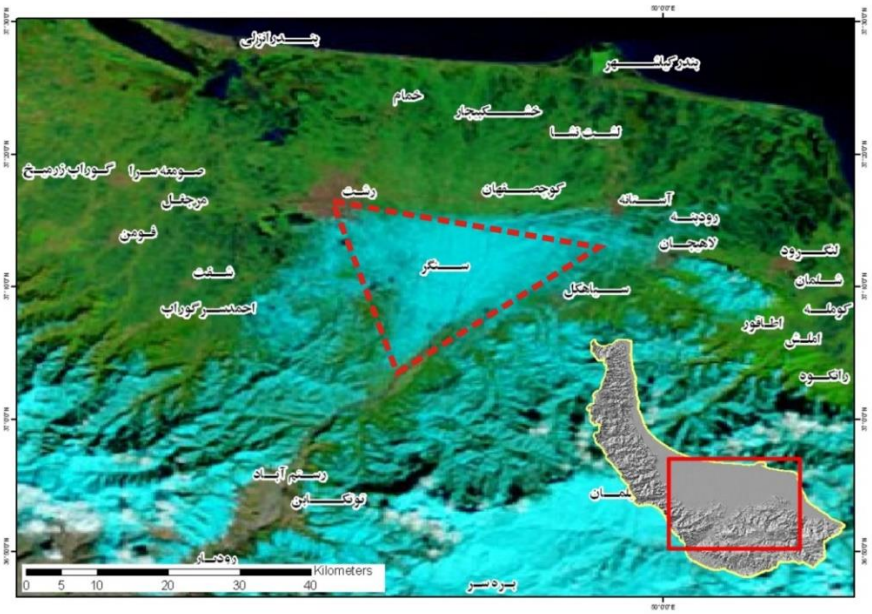
نتایج بحث

الف.الگوی مکانی برف‌های جلگه گیلان(برف دلتا)

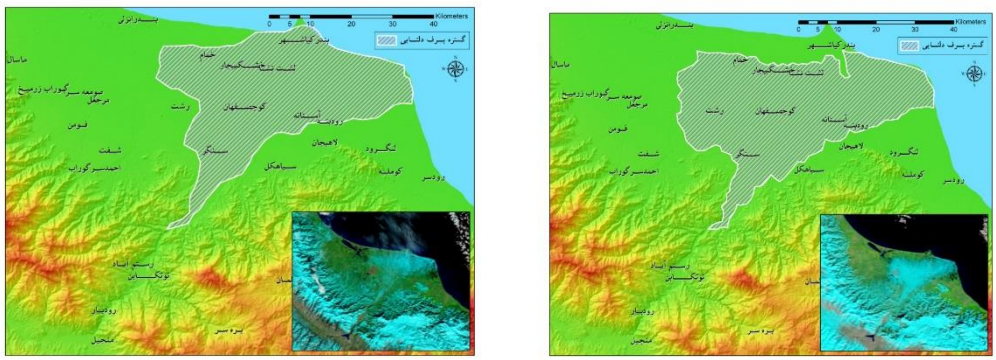
سابقه‌ی تاریخی بارش برف در گیلان و آمارهای منتج از دیدبانی، هرچند با محدودیت‌های زمانی و مکانی، نشان از بارش محدود برف در مناطق شرقی و غربی جلگه نسبت به مرکز گیلان دارد.در نتیجه طبق یافته‌های میدانی، شاهد وسعت محدود و عمق کم‌تر برف در این مناطق نسبت به جلگه‌ی مرکزی گیلان می‌باشیم. تصاویر ماهواره‌ای امکان مطالعه‌ی مکانی جامع را با دقت مکانی بالا فراهم می‌نماید. با مطالعه روزانه‌ی تصاویر سنجنده مودیس ماهواره‌های آکوا و ترا، طی فصل سرد (اکتبر تا مارس) در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲، پهنه‌های برف سطح زمین در جلگه‌ی گیلان شناسائی شد. به جزء برف سنگین گیلان در فوریه ۲۰۰۵ و ژانویه ۲۰۰۸، که بخش بزرگی از جلگه‌ی گیلان و کرانه‌های ساحلی شرق و غرب را تحت پوشش قرار داد، شش پهنه‌ی مکانی برف ملایم در جلگه گیلان شناسائی شد. سپس با پردازش تصاویر ماهواره‌ای در نرم افزار ارداس[۳]، الگوی مکانی برف شناسائی و در سامانه اطلاعات جغرافیایی[۴] خروجی به صورت نقشه تولید شد. ویژگی شکل هندسی تمامی این

1. Rapid Radiative Transfer Model
2. EDRAS
3.GIS

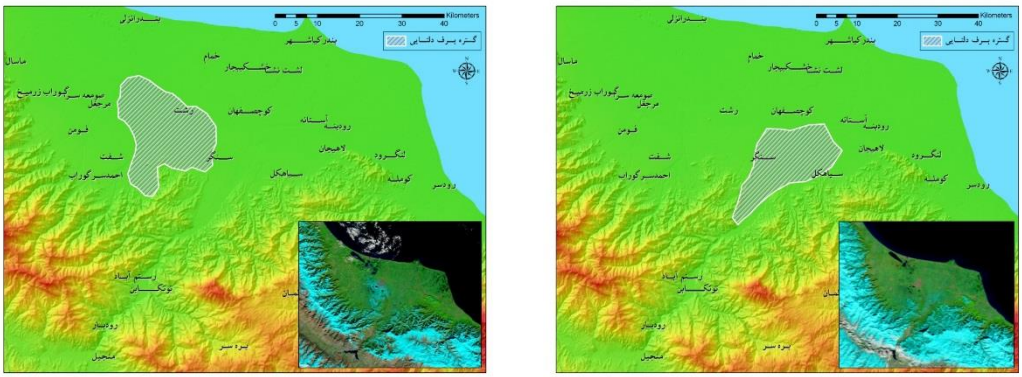
پهنه‌های برف، وجود یک الگوی مشخص مکانی در جلگه‌ی مرکزی گیلان است. بدین معنی که، تمامی برف‌های مورد مطالعه در این پژوهش، دارای الگوی مشخص مکانی مثلثی می‌باشند که قاعده این مثلث فرضی در دو محل قرار می‌گیرد. الف.خطی فرضی از حوالی غرب جلگه‌ی گیلان در شهر خمام تا شرق در سواحل شمال‌شرقی شهر لاهیجان است. ب.برخی دیگر از برف‌ها، قاعده‌ی این مثلث از غرب بر رشت و از شرق بر لاهیجان منتهی می‌گردد. راس این مثلث هم به طور مشخص در تمامی موارد به سمت دره‌ی سفیدرود کشیده شده است. به دلیل همین شکل خاص، که دقیقا منطبق بر دلتای رسوبی رودخانه سفیدرود است، این الگوی مکانیِ برفِ جلگه‌ی مرکزی گیلان، «**برف دلتا**» نام گذاری شد. شناسائی **برف دلتا**، از اولین یافته‌های این مطالعه است، بنابراین با توجه به طول دوره‌ی آماری، تصاویر مطالعه شده در اکثر قریب به اتفاق برف‌های با ارتفاع متوسط در جلگه‌ی گیلان، یک الگوی مکانی مشخص شکل می‌گیرد(شکل‌های، ۲، ۳، ۴ و۵).



شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس ماهواره آکوا، برف دلتا در تاریخ ۲۰۱۱،۲،۵



شکل ۳- سمت راست، الگوی مکانی برف گیلان در تاریخ ۲۰۰۶،۱۲،۳۰. سمت چپ،الگوی مکانی برف در تاریخ ۲۰۰۹،۱،۳



شکل ۴- سمت راست، الگوی مکانی برف در تاریخ ۲۰۱۲,۱,۴ سمت چپ، الگوی مکانی برف در تاریخ ۲۰۱۲,۳,۱۸

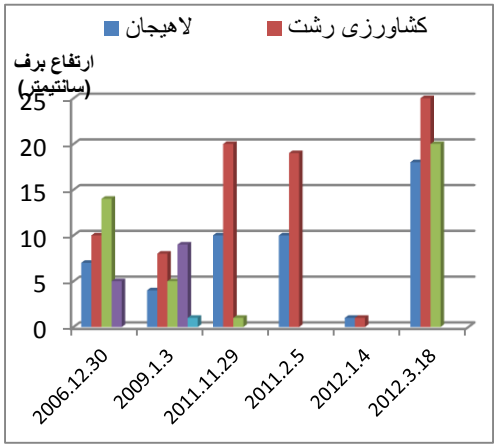
شکل ۵- سمت راست الگوی مکانی برف در تاریخ ۲۰۱۱,۲,۵.سمت چپ. الگوی مکانی برف در تاریخ ۲۰۱۱,۱۱,۲۹

ب.سازوکار شکل‌گیری برف دلتا در جلگه مرکزی گیلان

۱. تحلیل همدیدی: در این بخش به منظور بررسی جامع سازوکار شکل‌گیری این الگو، ۶ مورد از این سامانه‌ها (جدول۱) که طی ۸ سال اخیر، منجر به بارش برف به شکل دلتا و تقریباً منطبق بر دلتای سفیدرود، در جلگه‌ی گیلان شده انتخاب و نقشه‌های روزانه میادین فشار، دما، ارتفاع ژئوپتانسلی، مولفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد و سرعت قائم در دستگاه فشاری، با استفاده ازداده‌های دوباره تحلیل شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا NCEP/NCAR روی شبکه‌ای منظم شامل کشور ایران با تفکیک افقی ۲/۵ درجه به کمک نرم افزارگرافیکی GrADS ترسیم و مورد پردازش قرار گرفت. در این بخش تلاش شده است منشأ وساختار سامانه های منجر به وقوع این پدیده از دیدگاه میان مقیاس مورد مطالعه قرار گیرد. برای پرهیز از طولانی شدن مقاله، نقشه‌های مربوط به سامانه‌ی مارس ۲۰۱۲ و نتایج بدست آمده به صورت مبسوط ارائه شده است.

جدول ۱- زمان رخ‌داد و ارتفاع برف دلتا (به سانتیمتر) در ایستگاه‌های همدیدی منطبق بر دلتای سفیدرود و دره منجیل (جلگه مرکزی گیلان)

ایستگاه	2006/12/30	2009/01/03	2011/11/29	2011/02/05	2012/01/04	2012/03/18
لاهیجان	7	4	10	10	1	18
کشاورزی رشت	10	8	20	19	1	25
فرودگاه رشت	14	5	1			20
کیاشهر	5	9				
بندرانزلی		1				

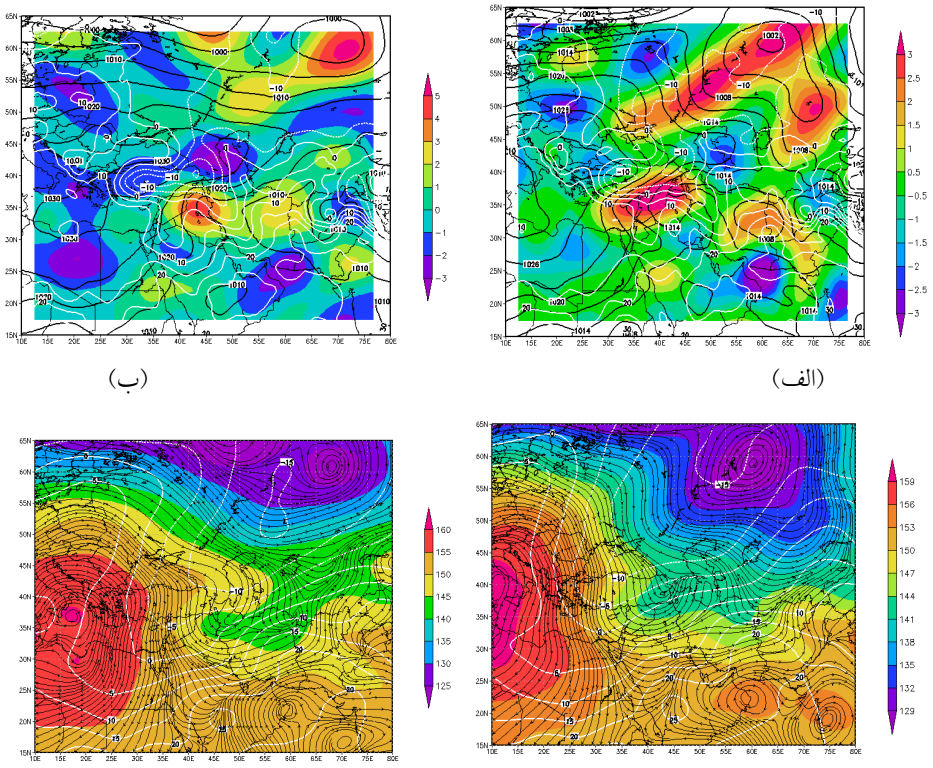


جدول ۲- مقادیر کمیت‌های هواشناسی ایستگاه کشاورزی رشت مربوط به سامانه مارس ۲۰۱۲

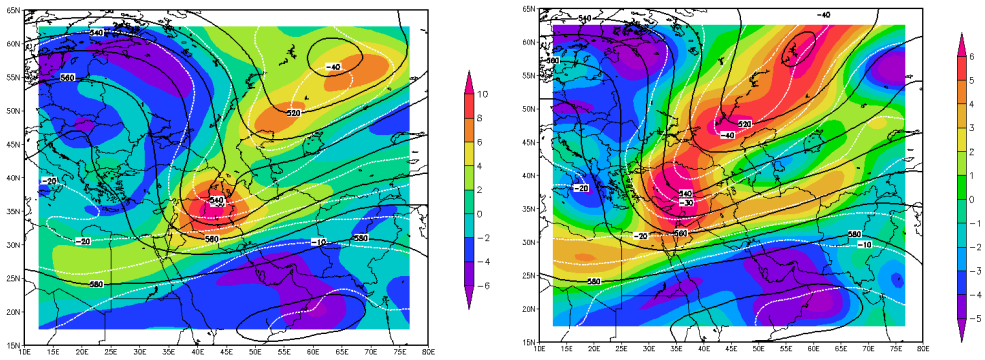
تاریخ	ساعت	پوشش ابر	سمت باد	سرعت باد (متر بر ثانیه)	دما (درجه سانتی گراد)	فشار تراز دریا	پدیده حاضر هوای	بارش (میلیمتر)	ارتفاع برف
2012/03/16	12	8	300	5	6.6	1009.5	رگبار		
2012/03/16	15	8	300	6	4.2	1011.6	باران		
2012/03/16	18	8	270	6	1.8	1014.6	باران		
2012/03/16	21	8	270	5	0.6	1016.2	برف		
2012/03/17	0	8	۰۲2	4	0.4	1015.5	برف		
2012/03/17	3	8	260	4	0	1017	برف		
2012/03/17	6	8	250	3	0.2	1019.6	برف	24/7	4
2012/03/17	9	8	۰۶2	3	0.2	1021.7	برف		
2012/03/17	12	8	۰	0	0.2	1022.3	برف		
2012/03/17	15	8	۰	0	0	1024.6	برف		
2012/03/17	18	8	۰	0	0	1025.3	برف		
2012/03/17	21	8	0	0	0.2	1026	باران		
2012/03/18	0	8	0	0	0	1026.5	رگبار		
2012/03/18	3	8	0	0	0.2	1029.5	مه رقیق	39/9	25

در مجموع منشـــاء این ســـامانه ها درمقیاس همدیدی، واچرخندی(پرفشـــاری) با فشـــار مرکزی میانگین بیش از ۱۰۳۵ هکتوپاسکال است که روی بخش‌هایی ازغرب اروپا و شرق اقیانوس اطلس شکل می‌گیرد. هسته‌ی این سامانه

ضمن حرکت شرق‌سو، تا روی شرق کشور ترکیه و دریای سیاه کشیده شده و زبانه‌های ناشی از آن، از سمت غرب و شمال‌غرب، کشور ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند که روند افزایش فشار و کاهش دما را در سواحل جنوبی کاسپین به دنبال دارد. گردش ساعت‌گرد این واچرخند همراه با تاوایی نسبی منفی در وردسپهر زیرین، جریان‌های شمالی و شمال‌غربی، از روی دریای کاسپین به سمت سواحل ایجاد می‌کند. استقرار مرکز کم‌فشار روی مرکز ایران و نفوذ زبانه پرفشار روی شمال‌غرب ایران، سبب افزایش گرادیان فشاری و سرعت باد روی سواحل جنوب‌غربی دریای کاسپین می‌گردد(شکل ۶الف و ب). در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی، نیمه شمالی کشور متأثر از ناوه ارتفاعی است که مرکز آن روی کشور روسیه قرار دارد وگردش پاد ساعت‌گرد این ناوه ارتفاعی با جریان‌های شمال سو به سمت جلگه‌ی گیلان همراهی می‌کند. بتدریج برای روز ۱۷ مارس با نفوذ واچرخند از سمت غرب دریای کاسپین و شکل‌گیری تاوایی نسبی منفی روی پهنه‌ی آبی کاسپین، جریان‌های شمال سو جایگزین جریان‌های جنوبی می‌شوند و علاوه بر این عمیق شدن ناوه دمایی در این تراز، ریزش هوای سرد از سمت عرض‌های شمالی را به دنبال دارد (شکل۶ج و د).



شکل۶. **الف) میدان فشار سطح دریا، دمای ۲ متری و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰میلی باری، میانگین روزانه ۱۶ مارس ۲۰۱۲ ، ب) میدان فشار سطح دریا، دمای ۲ متری و تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی، میانگین روزانه ۱۷ مارس ۲۰۱۲، ج) میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی، میدان دما و جریان تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی، میانگین روزانه ۱۶ مارس ۲۰۱۲، د) میدان ارتفاع ژئوپتانسیلی، میدان دما و جریان تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی، میانگین روزانه ۱۷ مارس ۲۰۱۲ .**

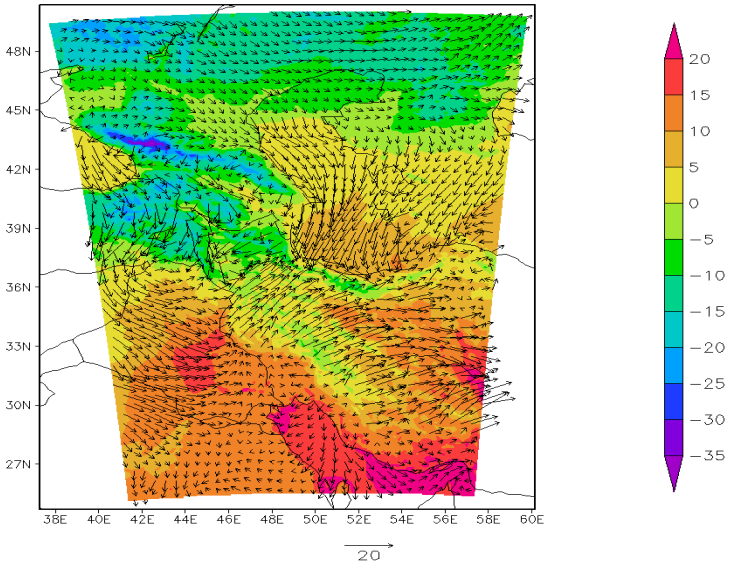


(ب) (الف)

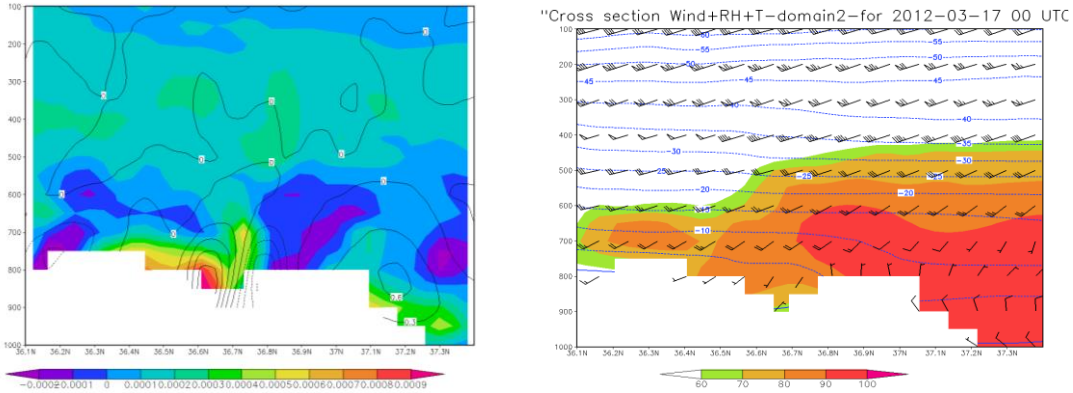
شکل۷. **میانگین روزانه ارتفاع ژئوپتانسیلی، میدان دما و تاوایی نسبی تراز ۵۰۰ میلی باری، الف) روز ۱۶ مارس ۲۰۱۲ ب) روز ۱۷ مارس ۲۰۱۲**

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی، حرکت شرق سوی امواج غربی، عبور ناوه ارتفاعی عمیق با تاوایی مثبت و وجود ناوه دمایی که دارای تقدم فاز نسبت به ناوه ارتفاعی است، تقویت ناپایداری در سطوح زیرین را به دنبال دارد. گستردگی شمالی- جنوبی ناوه دمایی این تراز موجب فرارفت سرد به نیمه شمالی کشور می‌شود و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی این تراز نیز، سردشدن لایه بین سطح زمین و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی را تأیید می‌کند (شکل ۷ الف و ب).

اجرای مدل عددی **WRF** : مطابق الگوی مقیاس همدیدی سامانه فوق انتظار می‌رود که طی مدت فعالیت آن، جهت باد ۱۰ متری، برای ایستگاه‌های جلگه‌ی گیلان بصورت شمالی و شمال‌غربی باشد. اما بررسی داده‌های ثبت شده در ساعت‌های گزارش همدیدی(SC data) مبین آن است که برای ایستگاه‌های منطبق بر دلتای سفیدرود در امتداد دره منجیل، نظیر ایستگاه منجیل، کشاورزی رشت و فرودگاه رشت، نه تنها جهت باد ۱۰ متری، از تئوری‌های حاکم بر مقیاس همدیدی در الگوی سطح زمین تبعیت نمی‌کند، بلکه با آغاز بارش برف جهت باد از شمال و شمال‌غرب به غرب یا جنوب‌غربی و پس از آن شرایط آرام تغییر می‌کند جدول۱ بنابراین به منظور واکاوی دقت مدل عددی WRF در تشخیص عوامل شکل‌گیری الگوی مکانی برف دلتا و بررسی در مقیاس کوچک‌تر، این مدل را به ترتیب با سه تفکیک افقی ۲۷، ۹ و ۳ کیلومتر روی شبکه‌ای منظم منطبق بر گیلان با گام زمانی سه ساعته اجرا گردید و الگوی باد ۱۰ متری، دمای ۲ متری، برش قائم رطوبت نسبی و همچنین برش قائم کمیت‌های دینامیکی مانند تاوایی نسبی و سرعت قائم مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۸- خروجی مدل WRF برای میدان باد ۱۰ متری و دمای ۲ متری ساعت UTC۰۰ روز ۱۷ مارس ۲۰۱۲، الف) برای دامنه ۲ (تفکیک افقی ۹کیلومتر)



(ب) (الف)

شکل ۹- خروجی مدل WRF، روز ۱۷ مارس ۲۰۱۲ الف) برش قائم میدان باد و دما روی نصف النهار ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه منطبق بر ایستگاه کشاورزی رشت، ب) برش قائم تاوایی نسبی و سرعت قائم روی نصف النهار ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه منطبق بر ایستگاه کشاورزی رشت

بر اساس خروجی مدل WRF، الگوی میدان باد ۱۰ متری در روز ۱۷ مارس، شارش میدان باد با جهت شمال سو از سمت فلات ایران به استان گیلان و در مقابل غلبه میدان باد جنوب سو از سمت دریای کاسپین و عرض‌های شمالی به سوی جلگه‌ی گیلان که ناشی از گردش ساعتگرد توده‌ی هوای پرفشار مستقر روی کاسپین جنوبی است را نشان می‌دهد.

برش قائم باد نیز نشان می‌دهد در بالاتر از عرض جغرافیایی ۳۶/۷ درجه، منطبق بر دلتای سفیدرود، در زیر تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی، با توجه به استقرار واچرخند سطحی و حرکت پادساعت‌گرد توده هوای پرفشار، جریان‌های شمالی و شمال‌غربی و رطوبت نسبی بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد مشاهده می‌شود و در بالاتر از تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی، با توجه به عبور امواج غربی و ناوه‌های ارتفاعی جهت باد در امتداد

نصف‌النهار منطبق بر دره‌ی منجیل، جنوب‌غربی است. به عبارت دیگر در جانب شمالی رشته کوه‌های البرز (بالاتر از عرض جغرافیایی ۳۶/۷) ، لایه مابین تراز ۷۰۰ و ۸۰۰ هکتوپاسکالی، ترازی است که در آن چینش قائم جهت باد اتفاق می‌افتد.

علاوه بر این محلِ دره‌ی منجیل (عرض جغرافیایی ۳۶/۵) جایی است که چینش افقی باد بین دو طرف رشته‌کوه البرز مشاهده می‌شود که به دره شاهرود و دشت قزوین منتهی می‌شود(شکل۹ الف). الگوی دمای دو متری و همچنین برش قائم دما، گرادیان افقی دمایی (تغییرات ۵ تا ۸ درجه سلسیوس در فاصله هوایی کمتر از ۲۰ کیلومتر) مابین ارتفاعات مرکزی و جنوبی البرز اعم از دره شاهرود و دشت قزوین که دمای پایین‌تری دارد و جلگه‌ی پست گیلان که دمای بالاتری دارد را به وضوح نشان می‌دهد. طی ساعت‌های اولیه نفوذ زبانه‌ی پرفشارسطحی روی کاسپین، دمای لایه‌های زیرین وردسپهر در جلگه‌ی گیلان به اندازه کافی کاهش نیافته است. بنابراین ریزش هوای سرد ناشی از عبور ناوه‌های دمایی و ارتفاعی تراز۸۵۰ و بالاتر از آن، از سمت فلات ایران و کوهستان البرز که دارای ارتفاع بیشتر از سطح تراز دریا و دمای سطحی کمتر نسبت به دلتای سفیدرود می‌باشد موجب غلبه جریان‌های سرد جنوبی فلات ایران در محل دره‌ی سفیدرود می‌شود و بارش برف در جلگه‌ی مرکزی گیلان اتفاق می‌افتد. چینش قائم و افقی باد و گرادیان افقی قابل ملاحظه دما، شکل‌گیری جبهه در مقیاس محلی را منطبق برگذرگاه دره منجیل نشان می‌دهد(شکل۹ الف) جاییکه تاوایی مثبت ناشی از همگرایی توده هوا، سازوکار لازم رابرای صعود دینامیکی آن فراهم می‌سازد(شکل۹ب). فارغ از عوامل فیزیکی و دینامیکی حاکم بر فرآیند بارش برف، پستی‌وبلندی منطقه و وجود دره زمین‌ساختی منجیل در بدنه‌ی عظیم البرز، تنها گذرگاه طبیعی برای کانالیزه شدن هوا و محل برخورد جریان‌های شمالی و جنوبی بین جلگه گیلان و بخش‌های جنوب البرز و در واقع همگرایی مولفه‌های شمالی و جنوبی میدان باد و تنها مسیر نفوذ هوای سرد فلات ایران به جلگه‌ی گیلان است که با شکل‌گیری الگوی مکانی دلتا مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری:

شناسایی و مطالعه ارتباط سازوکار گردش منطقه‌ای جو با عوامل محیطی و مولفه‌های موثر برآن، امکان پیش‌بینی وقوع بسیاری از پدیده‌های جوی را در آینده فراهم می‌سازد. در این مطالعه تلاش شده است ساختار سامانه‌های منجر به بارش برف‌های متوسط در استان گیلان مورد بررسی قرار گرفته و تا حد امکان به ابهام‌های موجود در این زمینه پاسخ داده شود. برخی از مهم‌ترین نتایج بدست آمده در این زمینه عبارتند از:

۱. پایش روزانه تصاویر سنجنده مودیس ماهواره‌های آکوا و ترا، طی فصل سرد (اکتبر تا مارس) سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ نشان می دهد که پهنه‌های برف سطح زمین در استان گیلان، به جزء برف سنگین گیلان در فوریه ۲۰۰۵ و ژانویه ۲۰۰۸، که بخش بزرگی از جلگه‌ی گیلان و کرانه‌های ساحلی شرق و غرب را تحت پوشش قرار داد، دارای شکل هندسی مشخص بوده و الگوی مکانی شناسائی شده برای این برف‌های متوسط، به شکل مثلث است. این مثلث، در امتداد دره‌ی منجیل و منطبق بر دلتای سفیدرود در جلگه‌ی مرکزی گیلان شکل می‌گیرد و راس این مثلث به طور مشخصی در تمامی موارد به سمت دره سفیدرود کشیده شده است.

۲. مطالعه‌ی ساختار سامانه‌های منجر به شکل‌گیری این پدیده نشان می‌دهد در مجموع منشاء این سامانه‌ها در مقیاس همدیدی، واچرخندی(پرفشاری) با فشار مرکزی میانگین بیش از ۱۰۳۵ هکتوپاسکال است که روی بخش‌هایی ازغرب اروپا و شرق اقیانوس اطلس شکل گرفته و با حرکت به سمت شرق تا روی دریای سیاه گسترش می‌یابند. زبانه‌های ناشی از این واچرخندها تاروی سواحل جنوبی کاسپین توسعه یافته و گردش ساعت‌گرد آن‌ها در وردسپهر زیرین، جریان‌های شمالی و شمال‌غربی، از روی دریای کاسپین به سمت سواحل ایجاد می‌کند. همزمان استقرار چرخند سطحی روی مرکز ایران و واچرخند سطحی روی شمال ایران، سبب افزایش

گرادیان فشاری و سرعت باد روی سواحل جنوب‌غربی دریای کاسپین می‌گردد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، نیمه شمالی کشور تحت تاثیر ناوه ارتفاعی، ناوه دمایی و تقویت تاوایی مثبت قرار دارد و شرایط کژفشاری و ناپایداری در این تراز بخوبی مشهود است.

۳. بر اساس خروجی مدل WRF، الگوی باد ۱۰ متری و دمای دو متری، شارش میدان باد با جهت شمال سو از سمت فلات ایران به استان گیلان و در مقابل غلبه میدان باد جنوب سو از سمت دریای کاسپین و عرض‌های شمالی به سوی جلگه گیلان که ناشی از گردش ساعتگرد توده هوای پرفشار مستقر روی کاسپین جنوبی است را نشان می‌دهد. دره‌ی منجیل تنها گذرگاه طبیعی برای کانالیزه شدن هوا و محل برخورد جریان‌های شمالی و جنوبی بین جلگه‌ی گیلان و بخش‌های جنوب البرز و در واقع همگرایی مولفه‌های شمالی و جنوبی میدان باد است.

۴. برش قائم باد مبین آن است در بالاتر از عرض جغرافیایی ۳۷ درجه، در ترازهای زیرین وردسپهر با توجه به حاکمیت واچرخند سطحی و حرکت پادساعتگرد توده هوای پرفشار، غلبه جریان‌های شمالی و شمال‌غربی مشاهده می‌شود. اما در وردسپهر میانی و فوقانی با عبور امواج غربی و ناوه‌های ارتفاعی، جهت باد در امتداد نصف‌النهار منطبق بر دره‌ی منجیل، جنوب‌غربی است به عبارت دیگر لایه مابین تراز ۷۰۰ و ۸۰۰ هکتوپاسکالی، ترازی است که در آن چینش قائم جهت باد اتفاق می‌افتد. علاوه بر این محل دره‌ی منجیل (عرض جغرافیایی ۳۶/۷) جایی است که چینش افقی باد بین دو طرف رشته‌کوه البرز مشاهده می‌شود که به دره شاهرود و دشت قزوین منتهی می‌شود.

۵. بر اساس خروجی مدلWRF در مقیاس مکانی ۹ کیلومتر، چینش قائم و افقی باد و گرادیان افقی قابل ملاحظه دما، شکل‌گیری جبهه در مقیاس محلی را منطبق برگذرگاه دره منجیل نشان می‌دهد. فارغ از سازوکار فیزیکی و دینامیکی حاکم بر فرآیند بارش برف، پستی‌وبلندی منطقه و وجود دره زمین‌ساختی منجیل در بدنه‌ی عظیم البرز، تنها مسیر نفوذ هوای سرد فلات ایران به جلگه گیلان است که با شکل‌گیری الگوی مکانی دلتا مطابقت دارد.

منابع

1. Qazvin meteorology office, daily meteorology data of Qazvin province station.
2. Qazvin meteorology office, daily meteorology data of bandar e anzali, bandar e kiashahr, lahijan, rasht ,manjil and lahijan .
3. Jedari ivazi, jamshid, yamani, mojtaba and khosh rafter, reza, 2005, Geomorphology evolution in Quaternary River Delta Sefidrud, Geographical research journal, 53, 99-120.
4. Rezaiee, parviz, 2010, snowfall trend in gilan province and its consequences, Geopolitical landscape, 5(12), 47-61.
5. Fatahi, ebrahim,moghimi, shokat, khorshidi, maryam, 2010, Applying of NOAA satellite image for determining the trend of snow cover in North West Iran, 4th Regional Conference on Climate Change, 2010, Tehran.
6. Fatahi, ebrahim and vazifeh doost, majid, 2011, Estimate of snow surface temperature and snow cover area using MODIS sensor images (basins case study in Golestan Province), case study in Golestan province Basins, Journal of Geographical Research, 26(102), 149-168.
7. Azimi dobakhshi, naaser, 2009, Human and Economic Geography Gilan, Ilia culture publication.
8. Alijani, Bohlool and Rezaiee, Parviz, 2003, Climate Study of Manjil wind, Journal of Geographical Research, 68, 101-113.
9. Mahmoodi, farajoallah, 1995, Natural and geological view of Gilan, gilan book, Iranian researcher.
10. Brown, D.R.(2000).Northern Hemisphere Snow Cover Variability and Change, 1915-97.Journal of Climate. Volume 13.pp 2339-2355.
11. http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets.
12. http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml.
13. fftp://eclipse.ncdc.noaa.gov/pub/OI-daily-v2/NetCDF.
14. Romanov .Peter.Gutman, Garik, Csiszar, Ivan, (2000), Automated Monitoring of Snow Cover over North America with Multispectral Satellite Data, journal of applied meteorology.volume 39, pp 1866-1880.

15. Wulder .Michael A, and Trisalyn A. Nelson, Derkesn, Charis. Seemann, David.(2007). Snow cover variability across centralCanada (1978–2002) derived from satellite passive microwave data.Climatic Change. (2007) 82:pp 113–130.
16. Stewart T. Iris. (2009) Changes in snowpack and snowmelt runoff for key mountainRegions.Hydrol.Process.23, pp 78–94.
17. Dahe. Qin, Shiyin, Liu. Peiji, Li .(2006).Snow Cover Distribution, Variability, and Response to Climate Change in Western China. Journal of Climate .volume 19. pp 1820-1833.
18. Zuhal Akyurek and Sorman A. Unal.(2002).Monitoring snow-covered areas using NOAA AVHRR April data in the eastern part of Turkey.HydrologiculSciences~Journal~~des Sciences Hydrologiques, 47(2), pp 243-252.