

واکاوی توزیع مکانی کانون‌های تمرکز ارتفاع برف آبر سنگین در جلگه گیلان با استفاده از مدل WRF  
(سامانه‌های برف سنگین سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲)

نیما فریدمجتهدی<sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی دانشگاه تهران، کارشناس تحقیقات اداره کل هواشناسی گیلان، ایران  
پروین غفاریان - دکتری هواشناسی، عضو هیات علمی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، ایران  
سمانه نگاه - دکتری هواشناسی، کارشناس تحقیقات اداره کل هواشناسی گیلان، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۳

### چکیده

جلگه مرکزی گیلان طی دهه اخیر تحت تأثیر سه سامانه بارشی با بارش فوق سنگین برف قرار گرفته است. شناسایی مناطق تحت مخاطره و تعیین عوامل آب‌وهوایی مقیاس منطقه‌ای تأثیرگذار روی شکل‌گیری الگوی مکانی بیشینه عمق برف، نقش مهمی در مقوله مدیریت بحران و تسریع خدمات‌رسانی به جوامع آسیب‌پذیر ایفا می‌کند. بدین منظور، سازوکار این سامانه‌ها با استفاده از اجرای مدل عددی WRF با تفکیک افقی ۷ و ۲۱ کیلومتر شبیه‌سازی و بررسی شد. خروجی مدل دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی مقادیر بارش و آشکارسازی دو هسته بیشینه ارتفاع برف یکی در جلگه مرکزی گیلان و دیگری حوالی تالاب انزلی دارد. منشأ این سه سامانه، توده هوای سرد و پرفشار قطبی از سمت شمال کشور روسیه و یا زبانه پرفشار نیمه‌دائمی سیبری و همراهی آن با ناو‌های عمیق سطوح میانی جو است. گردش و اچرخندی با هسته قوی روی شمال و شمال‌شرقی دریای کاسپین موجب فرارفت هوای سرد در لایه‌های زیرین و رددسپهر می‌شود. واداشت سرمایشی ناشی از گسترش زبانه توده هوای سرد روی رشته‌کوه‌های قفقاز و شارش جریان‌های سرد کوه به دشت، موجب شکل‌گیری و اچرخند ثانویه در مقیاس محلی روی جلگه کورا در غرب کاسپین می‌شود. تباین دمایی بین جلگه کورا و پهنه آبی کاسپین و همچنین شیو فشاری بین جلگه کورا و سواحل جنوب‌غربی کاسپین با سوی شرقی میدان باد از جانب پرفشار ثانویه کورا همراه است که در برخورد با جریان‌های غرب‌سو ناشی از گردش ساعتگرد و اچرخند سرد روی کاسپین، موجب همگرایی جهت باد سطحی به صورت باندهمگرایی در امتداد ساحل غربی پهنه کاسپین می‌شود. جریان‌های همگرا شده، حامل شارهای رطوبت بوده و به پهنه کوچکی در جنوب‌غربی سواحل

کاسپین وارد می‌شود که دقیقاً منطبق بر کانون بیشینه عمق برف در جلگه مرکزی گیلان است. در سامانه برف ۱۳۹۲ در ناحیه همگرایی جریان باد در تصویر سنجنده مودیس ماهواره ترا و همچنین تصویر شدت بارش خروجی رادار گیلان، باند ابری مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل عددی و تحلیل‌های همدید را تأیید می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** جلگه گیلان، برف سنگین، مدل عددی WRF، واچرخند ثانویه کورا، ناحیه همگرایی.

#### ۱. مقدمه

پیش‌بینی رخداد و الگوی مکانی مخاطره‌های طبیعی یکی از مشکل‌های اساسی در زمینه مدیریت ریسک مخاطره‌های محیطی و جلوگیری از تبدیل آن‌ها به بحران است؛ بنابراین مطالعه در زمینه ویژگی‌های زمانی و الگوهای مکانی بلندمدت چنین رخدادهایی می‌تواند کلید اساسی در زمینه چیدمان توان‌های مالی و انسانی در جهت کاهش اثرهای مخاطره‌های طبیعی باشد. هرچند از یک سو، عدم وجود آمارهای بلندمدت فراوانی رخداد، تغییرهای وقوع یافته در فراوانی و شدت رخدادهای حادی در سطح جهانی ناشی از تغییرهای آب‌وهوایی و همچنین وقوع پدیده‌های جوی کم سابقه و یا بی سابقه، همگی سبب ضعف در زمینه شناخت از مخاطره‌های جوی شده است. با این حال، شبکه ناکافی پوشش ایستگاه‌های همدید، شبکه راداری و عدم وجود حساسیت علمی تا مدت‌های طولانی در رابطه با این مقوله‌ها، امکان مطالعه در این زمینه را مشکل کرده است. این مقاله برای اولین بار در راستای پژوهش کاربردی در حوزه آب‌وهواشناسی و مدیریت بحران، گامی نو در جهت شناسایی فرایندهای منجر به شکل‌گیری الگوی مکانی خطر برف آبر سنگین در جلگه گیلان برداشته است. بدون شک جلگه گیلان در زمینه درگیری با مخاطره‌های برف سنگین و حجم خسارت‌ها و درگیری در پهنه فلات ایران از شرایط خاصی برخوردار است. هرچند از دلایل این افزایش خسارت را می‌توان افزایش سکونتگاه‌های شهری، عدم توجه به معیارهای شهرسازی، آب‌وهوایی و... دانست (فریدمجتهدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰۹). در یک دهه اخیر افزایش فراوانی رخداد برف‌های سنگین بر خلاف دو دهه قبل، سبب افزایش توجه به این مخاطره جوی در مجامع علمی و اجرایی در سطح استان گیلان و حتی کشور شده است. در بیشتر مطالعاتی که تاکنون در زمینه برف‌های سنگین گیلان انجام شده، هدف تشریح سازوکار همدید-دینامیکی رخدادهای موردی و بلندمدت بوده است. هرچند اخیراً مطالعه‌ای بلندمدت در این زمینه انجام یافته است (مومن‌پور و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۷). اگرچه تاحدودی با انجام این مطالعه‌ها نسبت به الگوهای همدید و گرم‌پویایی<sup>۱</sup> این رخدادها شناختی به دست آمده، اما شناسایی رخدادهای این‌چنینی با ویژگی‌های فیزیکی و الگوی مکانی خاص، نیاز به شناخت از عوامل جغرافیایی و آب‌وهوایی در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی دارد. علاوه بر این،

بیشینه عمق برف در جلگه مرکزی گیلان علی‌رغم مساحت کم، در هر رخ‌داد در یک منطقه رخ می‌دهد. بررسی بلندمدت نشان‌دهنده دو الگوی مکانی در جلگه گیلان می‌باشد که می‌توان از الگوی غرب جلگه مرکزی (بندرانزلی) و الگوی مرکزی این جلگه (رشت) نام برد. با این حال پرسش اساسی در زمینه برف‌های سنگین گیلان، علل رخ‌داد آن در جلگه مرکزی و دیگری جابجایی محدوده نزول بیشینه عمق برف آبر سنگین در این پهنه (جلگه مرکزی گیلان) از شرق به مرکز و غرب است. این پژوهش در مقام پاسخ‌گویی به این پرسش‌های بنیادی که نه تنها از لحاظ علمی دغدغه پژوهشگران در این عرصه بلکه از بزرگ‌ترین چالش مدیران بحران نیز است. در این پژوهش هدف، پاسخ به دو پرسش است. ۱. سازوکار رخ‌داد برف‌های سنگین در جلگه مرکزی گیلان چیست؟ ۲. علل شکل‌گیری دو الگوی متفاوت پوشش مکانی این برف‌ها چه بوده است؟ چرا در دو برف ۱۳۸۶ (۲۰۰۸) و ۱۳۹۲ (۲۰۱۴) بیشینه عمق برف در حاشیه تالاب انزلی (غرب جلگه مرکزی گیلان) و در برف ۱۳۸۳ (۲۰۰۵) در رشت (مرکز جلگه گیلان) رخ داده است؟ (شکل ۲ و ۳). در این مطالعه سه مورد برف آبر سنگین جلگه مرکزی گیلان شامل برف‌های سنگین ۱۹ الی ۲۲ بهمن ۱۳۸۳، برف‌های سنگین ۱۷ الی ۲۴ دی ۱۳۸۶ و ۱۰ الی ۱۵ بهمن ۱۳۹۲ که بخش‌های وسیعی از استان را دچار چالش ساخت (جدول ۱ و ۲)، مورد بررسی قرار گرفت. در هر مورد از این برف‌ها، بیشینه عمق برف به بیش از ۱/۵ متر رسید. پژوهش‌های متعدد در خصوص ریزش‌های نیواری (جوی) همچون باران و برف‌های سنگین در کرانه جنوبی دریای کاسپین یکی از موارد مورد علاقه پژوهشگران بوده است، جلگه گیلان به عنوان جایگاه بسیاری از بیشینه‌های مربوط به پدیده‌های بارشی به ویژه بیشترین حجم بارش در سطح کشور (علیچانی، ۱۳۷۹: ۱۲۱) رژیم ماهانه خاص بارش (مسعودیان، ۱۳۸۴: ۵۷)، بیشینه بارش ۲۴ ساعته کشور (فریدمجتهدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴) و... در سطح کشور است. از جمله مطالعه‌ها در زمینه بارش‌های سنگین در کرانه جنوبی دریای کاسپین می‌توان از پژوهش عساکره و همکاران (۱۳۹۱: ۵۱) نام برد. آن‌ها پنج الگوی هم‌دید پرفشار که با سازوکار همرفت وزشی و با همراهی ناپایداری تراز بالا منجر به بارش سنگین ماه سپتامبر در شهریور شده بود را شناسایی کردند. فهمی‌نژاد و همکاران، (۱۳۹۱: ۲۸۱)، در تحقیقی به بررسی هم‌دید و فضایی توفان برف فوریه ۲۰۰۵ گیلان پرداختند. ایشان دریافتند که الگوی بارش برف سنگین فوریه ۲۰۰۵، نتیجه ادغام دو پرفشار سیبری و بالکان بر روی دریای کاسپین و همراهی ناوه در تراز بالا است. مفیدی و همکاران در سه مطالعه پیوسته، سازوکار بارش‌های سنگین فصول سرد سال در کرانه جنوب دریای کاسپین مطالعه کردند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که در وقوع بارش‌های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای کاسپین نتیجه استقرار سه الگوی پرفشار، زوجی و کم‌فشار بر روی منطقه کاسپین بوده و در تمامی الگوهای گردش و اچرخندی همراه با بادهای شمالی در ترازهای زیرین جو بر روی دریا تسلط دارد. یافته‌ها همچنین بیانگر آن است که برخلاف الگوی پرفشار در الگوی زوجی

گردش و اچرخندی در نیمه جنوبی دریا و در ترازهای زیرین جو به بیشینه خود می‌رسد. شدیدترین بارش‌های زمستان مربوط به این الگو بوده و وزش بادهای شمالی در این الگو در مقایسه با الگوی پرفشار از شدت بیشتری برخوردار است. با این حال هرچند همین الگوها در رخداد بارش‌های سنگین جنوب کاسپین عامل اصلی هستند، با این حال نقش توده هوای پرفشار در رخداد بارش‌های سنگین در پائیز نسبت به زمستان پررنگ‌تر است (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۳۱). مطالعه دیگر ایشان نشان داد که علل کاهش یافتن مقدار و شدت بارش زمستانه نسبت به پائیز، به ویژگی‌های فیزیکی دریای کاسپین (دما، شارگرمای نهان) مرتبط است (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۷۷). در زمینه برف‌های سنگین در نقاط مختلف جهان به خصوص در حاشیه جنوبی دریاچه‌های پنج‌گانه مطالعه‌های زیادی صورت پذیرفته است. مطالعه لدرز و همکاران (۱۹۹۶: ۱۱۱۷) تعداد نه الگوی همدید بارش برف‌های سنگین را در سواحل بادگیر دریاچه ایری و انتاریو آشکار کرد که پنج الگوی آن، مشخصه‌های همدید برف دریاچه‌ای را نشان می‌دهد و چهار الگوی باقیمانده ناشی از اثر چرخند می‌باشند. در مطالعه دیگر، ایس و همکاران (۱۹۹۶: ۲۱۶) با استفاده از روش همدید آب‌وهوایی به تشخیص الگوهای جوی مقیاس همدید مسبب بارش برف سواحل بادگیر دریاچه‌های ایری و انتاریو در ایالات نیویورک و پنسیلوانیا از نوامبر تا مارس پرداختند.

جدول ۱ ارتفاع برف جلگه‌های غرب، مرکز و شرق گیلان در رخداد برف‌های آبر سنگین گیلان

مجموع برف (سانتی‌متر)		جلگه غربی گیلان		جلگه مرکزی گیلان		جلگه شرقی گیلان	
ایستگاه		آستارا	تالش	بندرانزلی	کشاوری	لاهیجان	رودسر
۱۹ الی ۲۲ بهمن ۱۳۸۳		۱۰	عدم داده	۳	۱۷۰	۱۲۰	عدم داده
۱۷ الی ۲۴ دی ۱۳۸۶		۳۶	۵۹	۲۰۴	۱۳۶	۹۱	۶۶
۱۰ بهمن الی ۱۵ بهمن ۱۳۹۲		۳۴	۳	۹۵	۴۰	۴۵	۷۵

منبع اداره کل هواشناسی گیلان

جدول ۲ مساحت و برخی از ابعاد انسانی پهنه برف در برف‌های مورد مطالعه

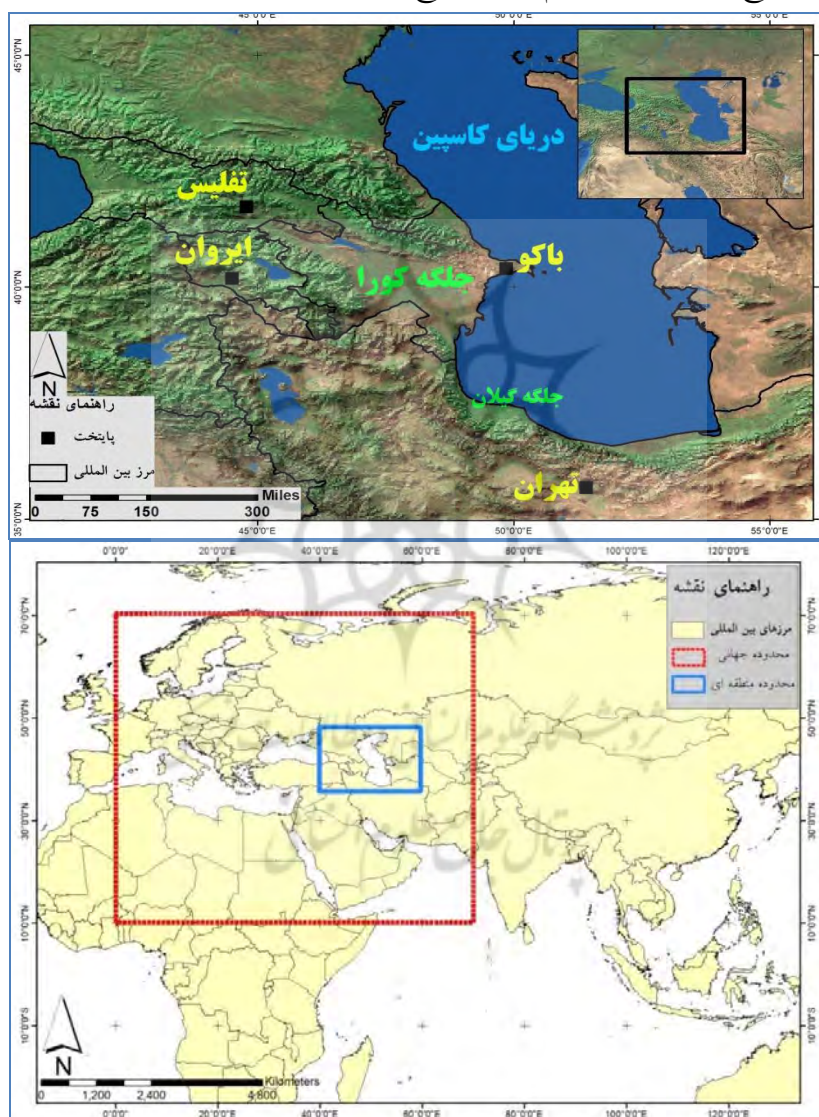
تاریخ	مساحت درگیر در بحران (کیلومتر مربع)	تعداد شهرهای متأثر	تعداد روستاهای متأثر	میزان جمعیت متأثر	طول راه‌های متأثر
۱۳۸۳	۲۲۵۸	۹	۵۳۰	۳۷۸۴۳۱	۲۸۳۲/۵
۱۳۸۶	۵۵۱۱	۳۳	۱۲۷۷	۷۷۸۷۲۲	۶۱۰۵/۹
۱۳۹۲	۴۹۵۲	۲۷	۱۲۱۱	۶۹۴۷۱۷	۵۶۳۶/۵

منبع نگاه و همکاران، ۱۳۹۳

## ۲. منطقه مورد مطالعه

کرانه جنوب غربی دریای کاسپین محصور در میان رشته‌کوه‌های البرز و قفقاز است. وجود این پهنه آبی وسیع با همراهی رشته‌کوه‌های عظیم و اندرکنش آن‌ها سبب شکل‌گیری شرایط آب‌وهوایی خاص و همچنین رخداد

پدیده‌های جوی ویژه در این منطقه شده است (شکل ۱). مهم‌ترین عارضه‌های جغرافیایی محدوده مورد مطالعه رشته‌کوه‌های البرز، رشته‌کوه‌های قفقاز، جلگه کورا در جمهوری آذربایجان و جلگه مرکزی گیلان در شمال ایران است. کانون رخداد بارش‌های سنگین برف، جلگه مرکزی گیلان در کرانه جنوب‌غربی دریای کاسپین است. وجود این جلگه به عنوان تنها پیش‌آمدگی خشکی به سمت کاسپین به عنوان یک عامل زمینه‌ساز در منطقه عمل کرده است (فریدمجتهدی و خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۰۰). برخلاف آب‌وهوای معتدل این منطقه، رخدادهای جوی فرین در منطقه امری رایج است. از جمله مهم‌ترین این رخدادها، پدیده برف‌های سنگین است.



شکل ۱ بالا موقعیت منطقه مورد مطالعه در کرانه جنوبی دریای کاسپین، پایین. ابعاد محدوده دو قلمروی

انتخابی در پیکربندی اجرای مدل WRF

## ۳. مواد و روش‌ها

۱. برف‌های سنگین انتخاب شده در این پژوهش منطبق بر سه رخ داد برف ابر سنگین در یک دهه اخیر در جلگه گیلان با ارتفاع حدود ۱/۵ متر و بیش از آن است که جلگه مرکزی گیلان را متأثر کرده است. این برف‌ها عبارتند از برف‌های بهمن ۱۳۸۳، دی ۱۳۸۶ و بهمن ۱۳۹۲.

۲. داده‌های روزانه پراسنج‌های هواشناسی از مرکز NCEP/NCAR باتفکیک افقی ۲/۵ درجه برای شناسایی الگوی هم‌دید سامانه‌ها استفاده شدند.

۳. داده‌های GFS-FNL<sup>۱</sup> با تفکیک افقی ۰/۵ درجه به عنوان ورودی نسخه ۳,۵,۱ مدل عددی WRF<sup>۲</sup> برای شبیه‌سازی الگوی میان مقیاس سامانه‌ها مورد استفاده واقع شد. مدل WRF یک مدل میان مقیاس پیش‌بینی عددی جو می‌باشد که دارای قابلیت‌های متعدد در شبیه‌سازی کمیت‌های مختلف جوی با تفکیک‌های افقی دلخواه در راستای افقی و قائم است. در این تحقیق تعداد قلمرو انتخابی برای اجرای مدل «دو» و نسبت تفکیک افقی قلمروها ۱ به ۳ است. تفکیک افقی قلمرو اول، ۲۱ کیلومتر و قلمروی دوم ۷ کیلومتر است. آشیانه اول عرض جغرافیایی ۰ تا ۷۵ درجه شرقی و ۱۰ درجه شمالی تا ۷۰ درجه شمالی (نزدیک قطب شمال) امتداد یافته است. قلمرو دوم، نیمه شمالی ایران و دریای کاسپین را در بر می‌گیرد (۴۷-۳۴ درجه شمالی و ۶۰-۴۲ درجه شرقی). تفکیک افقی داده‌های زمینی برای قلمرو اول هر ۱۰ دقیقه (نوزده کیلومتر) و قلمرو دوم هر ۲ دقیقه (چهار کیلومتر) تکرار می‌شود. از نگاشت لامبرت در این مدل استفاده شده است.

۴. از داده‌های ساعتی فراسنج‌های هواشناسی ایستگاه‌های هم‌دید ۱۲ گانه استان گیلان جهت تحلیل آماری و ویژگی‌های جو استفاده شد.

۵. تصاویر بانند مرئی و ۱-۲-۷ سنجنده مودیس ماهواره‌های ترآ و آکوا در زمان بارش.

۶. تصاویر خروجی‌های شدت (SRI) و مقدار بارش (Rain) رادار کیشهر گیلان در زمان بارش برف.

## واکاوی و بررسی ویژگی‌های فضایی برف در جلگه گیلان

محدوده مورد تأثیر برف، جلگه مرکزی گیلان در کرانه جنوب‌غربی دریای کاسپین است (شکل ۱). جلگه مرکزی گیلان ماحصل فعالیت رسوب‌گذاری رودخانه سفیدرود در کرانه جنوب‌غربی دریای کاسپین است، بنابراین منطبق بر دلتای این رودخانه می‌باشد (شکل ۲). دلتای سفیدرود با مختصات "۶۰° ۳۷' ن" تا "۲۷° ۳۷' ن" عرض شمالی و "۲۸° ۴۹' ن" تا "۱۶° ۵۰' ن" طول شرقی، بزرگ‌ترین دلتای تشکیل شده در سواحل جنوبی دریای کاسپین است. مساحت دلتا که در بخش غربی واحد زمین‌ریخت‌شناسی جلگه ساحلی کاسپین واقع شده است، ۱۳۵۰ کیلومتر مربع است و در امتداد شرقی-غربی از شرق تالاب انزلی تا شمال

1 General Forecast System - Final Data (NCEP)

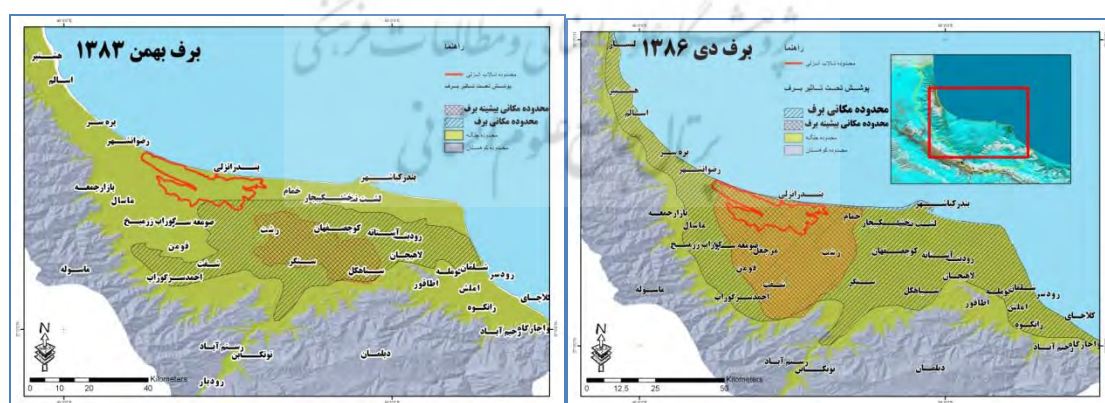
2 Weather Research and Forecast Model (NCEP)

چمخاله لنگرود و جنوبی-شمالی از جنوب امامزاده‌هاشم رشت تا شمال بندرکياشهر کشیده شده است. مقایسه مناطق درگیر و آسیب‌پذیر که از برف‌های جلگه مرکزی گیلان، که از روی هم‌گذاری محدوده‌های الگوی مکانی برف به دست آمده است. نشان‌دهنده نتایج جالب توجه است. در الگوی مکانی برف‌های سنگین منطقه درگیر با بحران برف، جلگه مرکزی گیلان است (شکل‌های ۲ و ۳). به نوعی که در سه برف سنگین انتخاب شده، این الگو به جزء در یک مورد، جلگه‌های غرب و شرق گیلان را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند. در این سه مورد، فقط در برف ۱۳۸۶ جلگه غربی گیلان و در برف ۱۳۹۲، جلگه شرقی گیلان متأثر شده‌اند. با این حال، توجه به الگوی بیشینه ارتفاع برف نکته دیگری را نمایان می‌سازد. الگوی بیشینه ارتفاع برف در تمامی برف‌های سنگین انتخاب شده، در جلگه مرکزی گیلان رخ می‌دهد، تنها با این تفاوت که با توجه به نحوه جهت جریان و شارش به منطقه، تفاوت‌های مکانی در هر مورد در سطح جلگه مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در برف ۱۳۸۳، الگوی بیشینه عمق برف سنگین در میانه جلگه مرکزی (رشت) رخ داده است ولی در برف ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲ در غرب جلگه مرکزی (حوالی تالاب انزلی) محل بیشینه عمق برف سنگین است (شکل ۳).

جدول ۳ ویژگی‌های ژئومتری<sup>۱</sup> مناطق تحت تأثیر برف‌های سنگین ۱۳۸۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲ استان گیلان

تاریخ	مساحت درگیر در بحران (کیلومتر مربع)	تعداد شهرهای متأثر از برف	تعداد روستاهای متأثر از برف	میزان جمعیت متأثر از برف	طول راه‌های متأثر از برف
۱۳۸۳	۲۲۵۸	۹	۵۳۰	۳۷۸۴۳۱	۲۸۳۲/۵
۱۳۸۶	۵۵۱۱	۳۳	۱۲۷۷	۷۷۸۷۲۲	۶۱۰۵/۹
۱۳۹۲	۴۹۵۲	۲۷	۱۲۱۱	۶۹۴۷۱۷	۵۶۳۶/۵

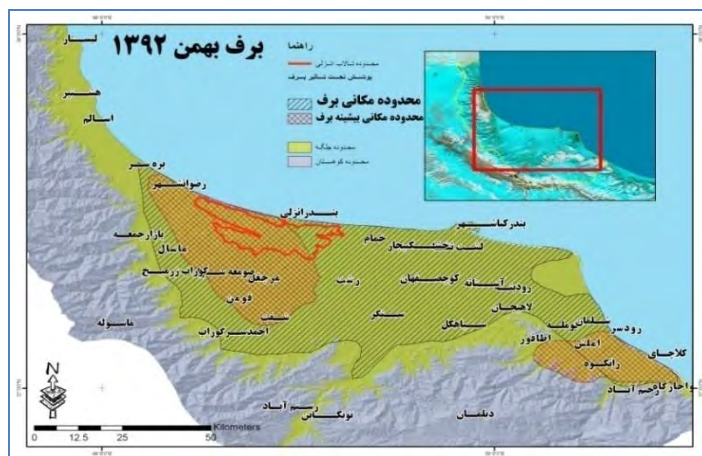
### منبع نگارندگان



شکل ۲ محدوده مکانی برف‌های ابر سنگین گیلان، الف: برف بهمن ۱۳۸۳ ب: دی ۱۳۸۶

منبع نگارندگان پردازش تصاویر مودیس

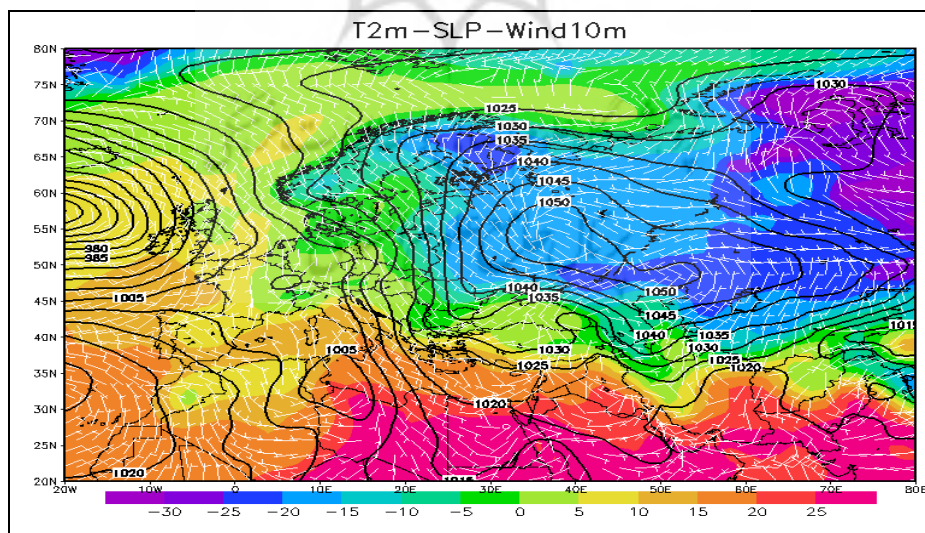




شکل ۳ محدوده مکانی برف بهمن ۱۳۹۲ استخراج شده از تصویر سنجنده مودیس ماهواره آکووا.

### ۳. بحث و نتایج

بارش برف سامانه‌های ۱۹ تا ۲۲ بهمن ۱۳۸۳، ۱۷ تا ۲۴ دی ۱۳۸۶ و ۱۰ تا ۱۵ بهمن ۱۳۹۲ به عنوان نمونه‌ای از بارش‌های ابر سنگین برف، سرمایش و کاهش کم‌سابقه دما در حاشیه جنوب‌غربی دریای کاسپین است. در مقیاس همدید منشأ این سامانه‌ها، واچرخندهای سرد اروپایی است که با هسته قوی از مجاورت سرزمین‌های قطبی، به سمت عرض‌های پایین‌تر نفوذ کرده و پس از ادغام با پرفشار نیمه‌دائمی سیبری روی شمال دریای کاسپین قرار می‌گیرد. گردش ساعتگرد (واچرخندی) این توده هوای پرفشار که گستره جغرافیایی وسیعی از کشور روسیه تا شمال چین را شامل می‌شود، در وردسپهر زیرین با فرارفت هوای سرد به نیمه شمالی کشور همراه است (شکل ۴).



شکل ۴ الگوی فشارسطح دریا (خطوط هم مقدار برحسب هکتوپاسکال)، دمای ۲ متری (پهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس) با استفاده از داده‌های NCEP-NCAR با تفکیک افقی ۲/۵ درجه، سامانه بهمن ۱۳۹۲



به منظور یافتن علل و عوامل تاثیرگذار روی عملکرد این سامانه‌ها، آشکارسازی دقیق ساختار آن‌ها و تبیین الگوی مکانی بیشینه ارتفاع برف در استان، از نسخه 3.5.1 مدل عددی WRF برای شبیه‌سازی استفاده شده است (جدول ۴).

جدول ۴ پیکربندی مدل WRF

طرح واژه‌های فیزیک مدل	WRF Option
خرد فیزیک ابر	WSM 3-class 3
تابش طول موج کوتاه	(Dudhia, 1989)
تابش طول موج بلند	RRTM
لایه سطحی	Monin-Obukhov
مدل سطحی خشکی	NOAH
همرفت	Kain ° Fritsch
لایه مرزی	YSU

## ۳.۱. سامانه ۱۳۸۳

شکل‌های ۵ (الف و ب) خروجی‌های بارش تجمعی ۲۴ ساعته را برای روزهای ۱۹ و ۲۱ بهمن، برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر نشان می‌دهد. مقادیر بارش به دست آمده از این شبیه‌سازی، هسته بیشینه بارش را روی جلگه مرکزی گیلان نشان می‌دهد که انطباق مناسبی با الگوی مکانی ارتفاع برف ثبت شده در ایستگاه‌های منطقه دارد (شکل ۲ الف و جدول ۱). در واقع این خروجی هسته‌های مکانی بیشینه بارش را با دقت قابل قبولی آشکارسازی کرده است. برای تبیین علت مکان‌گزینی بیشینه ارتفاع برف، خروجی‌های دمای ۲ متری و باد ۱۰ متری حاصل از اجرای مدل برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر، مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۶ الف، ۶ ب). نکته برجسته که در این خروجی الگوی باد ۱۰ متری مشاهده می‌شود، همگرایی جهت باد از سمت غرب و شرق در امتداد غربی پهنه کاسپین منطبق با پاند بارش است. جریان همگرا شده با طی مسافت قابل توجه روی پهنه آبی و کسب رطوبت و انرژی کافی از سمت دریا و با سوی مناسب به جلگه مرکزی گیلان وارد می‌شوند.

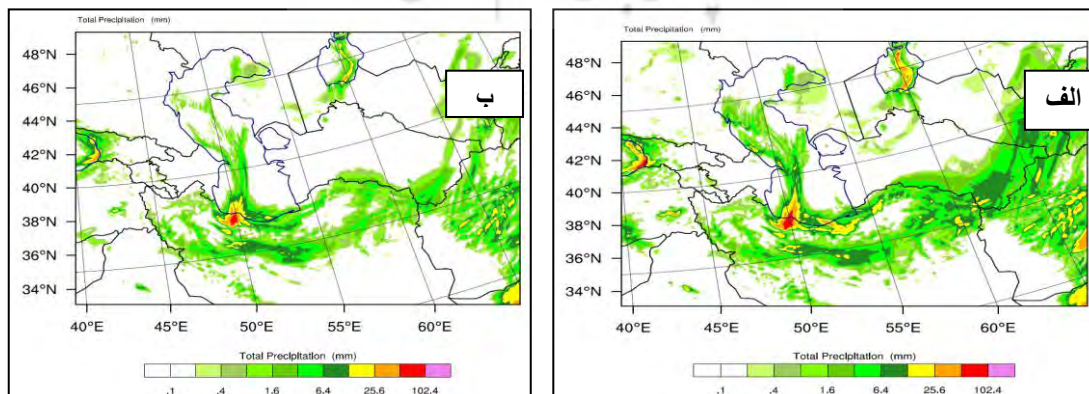
در واقع این جریان حامل شارهای رطوبتی از جانب دریا به خشکی بوده و با ورود به محدوده‌های کوچک درخشکی، موجب تشدید ناپایداری در لایه‌های زیرین و رددسپهر در آن محدوده می‌شوند. منطقه همراه با بیشینه بارش، محل برخورد و تلاقی جریان باد از دو جهت شرق و غرب است که به سمت سواحل جنوب غربی کاسپین امتداد می‌یابند. این جریان‌ها طی روزهای ۲۰، ۲۱ و ۲۲ بهمن تقویت شده و به جلگه مرکزی گیلان وارد می‌شوند.

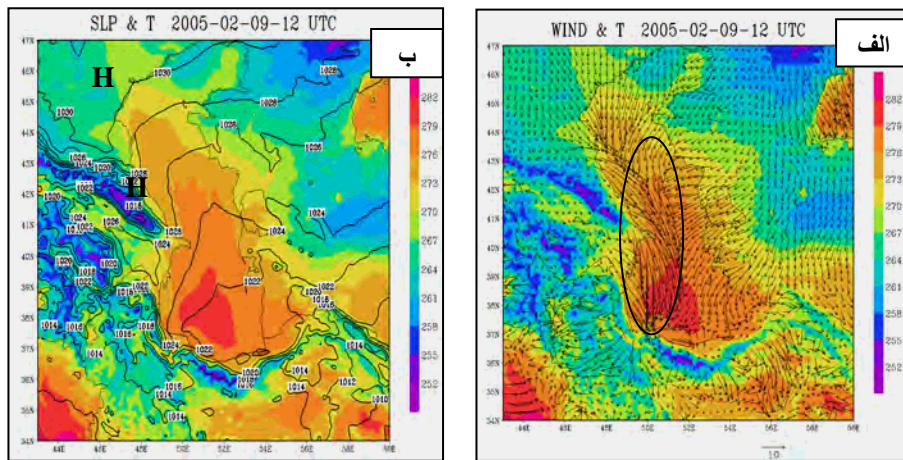
برای توجیه رفتار باد در لایه‌های زیرین و ردسپهر در این شرایط، به ویژه شکل‌گیری جهت شرق سوی باد از جانب رشته‌کوه‌های قفقاز به سواحل غربی کاسپین که با الگوهای بزرگ‌مقیاس و میان‌مقیاس همخوانی ندارد، الگوی فشار سطح دریا مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۶ ب و ۷ ب). با حرکت جنوب‌سوی توده هوای پرفشار و افزایش فشار روی عرض‌های پایین‌تر، سرمایش سطحی ناشی از فرارفت سرد روی رشته‌کوه‌های قفقاز تقویت می‌شود. نکته حائز اهمیت شکل‌گیری پرفشار ثانویه در مقیاس محلی روی جلگه کورا در غرب سواحل کاسپین است که به تدریج طی روزهای آینده مرکز آن تقویت می‌شود. شکل‌گیری این توده هوای پرفشار منطبق با منطقه‌ای محصور شده توسط رشته‌کوه‌های بلند و محل فرونشینی جریان‌های سرد ریزشی از جانب رشته‌کوه‌های قفقاز، به عنوان واداشت توپوگرافی است. الگوی دمای ۲ متری نیز حضور هسته‌های بسیار سرد را روی رشته‌کوه‌های قفقاز نشان می‌دهد.

به نظر می‌رسد شکل‌گیری جریان‌های سرد کوه به دشت ناشی از سرمایش سطحی روی رشته‌کوه‌های قفقاز می‌تواند به عنوان عامل شکل‌گیری این پرفشار ثانویه و در مقیاس محلی عمل کند. با حضور این پرفشار ثانویه روی غرب سواحل کاسپین که فشار مرکزی آن بیشتر از مقادیر فشار روی پهنه کاسپین جنوبی و سواحل جنوب‌غربی کاسپین (استان گیلان) است و همچنین وجود تباین دمایی میان پهنه آبی کاسپین و سطح خشکی در غرب سواحل کاسپین، جریان‌های شرق سو از جانب این توده هوای پرفشار ثانویه شکل می‌گیرد که در محل تلاقی با جریان‌های غرب سو در امتداد پهنه غربی کاسپین، به منطقه محدودی وارد شده و موجب تشدید ناپایداری می‌شود. این درحالی است که همگرایی جریان باد در الگوهای میان‌مقیاس و نقشه‌های با تفکیک افقی ۲/۵ درجه قابل شناسایی نیست.

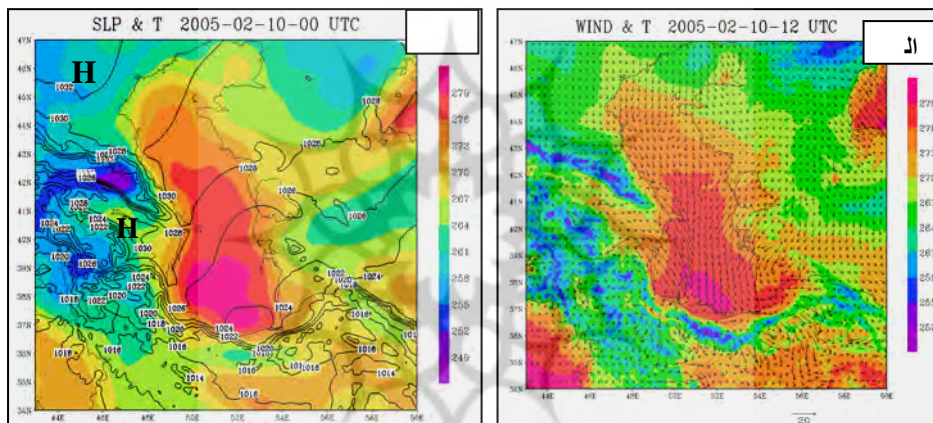
شکل ۵ خروجی‌های بارش تجمعی ۲۴ ساعته مدل WRF بر حسب میلی‌متر برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر، الف)

روز ۱۹ بهمن ۱۳۸۳. ب) روز ۲۱ بهمن ۱۳۸۳





شکل ۶ الف) خروجی‌های میدان باد و دما (بهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، ب) خروجی‌های میدان فشار سطح دریا (خطوط هم مقدار بر حسب هکتوپاسکال) و دما (بهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، مدل WRF برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر، ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۱ بهمن ۱۳۸۳



شکل ۷ الف) خروجی‌های میدان باد و دما (بهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، ب) خروجی‌های میدان فشار سطح دریا (خطوط هم مقدار بر حسب هکتوپاسکال) و دما (بهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، مدل WRF برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر، ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۲۲ بهمن ۱۳۸۳



شکل ۸ طرح‌واره مفهومی سازوکار رخداد برف سنگین بهمن ۱۳۸۳ به اقتباس از خروجی‌های مدل WRF

## ۳.۲. سامانه‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲

در سامانه ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲ نیز سازوکار مشابه با سامانه بهمن ۱۳۸۳ از نظر شکل‌گیری الگوی مکانی بیشینه ارتفاع برف در جلگه مرکزی گیلان مشاهده می‌شود (شکل ۹ و ۱۱). همراه با نفوذ جنوب سوی توده هوای پرفشار سرد از شمال کشور روسیه، پرفشار ثانویه روی جلگه کورا در منطقه محصور شده میان رشته‌کوه‌های قفقاز شکل می‌گیرد (شکل ۱۰ ب، ۱۲ ب)، تشکیل این واچرخند ناشی از جریان‌های سرد ریزشی از جانب پهنه‌های سرد مناطق مرتفع قفقاز بوده که به سمت جلگه کورا شارش کرده (شکل ۱۰ الف، ۱۲ الف) و جریان‌های سرد کوه به دشت موجب تجمع توده هوا روی جلگه کورا شده و فشار در مرکز این توده هوا تا ۱۰۳۶ هکتوپاسکال تقویت می‌شود (شکل ۱۰ ب، ۱۲ ب).

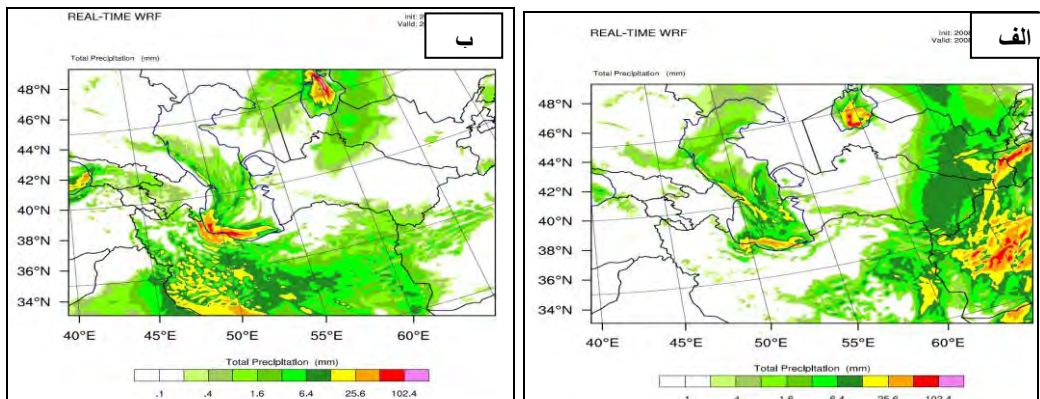
وجود پربندهای فشاری با مقادیر کمتر از ۱۰۳۰ هکتوپاسکال روی نوار ساحلی جنوبی کاسپین موجب شارش جریان‌های شرق سو از سمت سواحل غربی کاسپین به سمت شرق می‌شود که در برخورد با جریان‌های غربی ناشی از گردش واچرخندی پرفشار سرد اروپایی، نوار همگرایی باد را روی امتداد غربی پهنه کاسپین ایجاد می‌کند (شکل ۱۰ الف، ۱۲ الف). به طور مشابه این شرایط در الگوی خروجی مدل WRF برای سامانه بهمن ۱۳۹۲ نیز مشاهده می‌شود (شکل ۱۳).

شارش جنوب سوی میدان باد در امتداد نوار همگرایی و عبور توده هوای سرد از روی پهنه گرم دمایی کاسپین جنوبی با تزریق شار رطوبت و تقویت ناپایداری توده هوا در وردسپهر زیرین همراه است؛ به عبارت دیگر فارغ از سازوکار دینامیکی سامانه‌ها در لایه‌های مختلف جو و همچنین شرایط گرم‌اپویایی مانند پهنه دمایی گرم تر کاسپین جنوبی در مقایسه با دمای توده هوای سرد عبوری از روی آن، نقش عوامل منطقه‌ای بویژه واداشت توپوگرافی رشته‌کوه‌های قفقاز در شکل‌گیری جریان‌های محلی و همگرایی میدان باد در شکل‌گیری الگوی مکانی بیشینه ارتفاع برف در جلگه مرکزی گیلان، حائز اهمیت است.

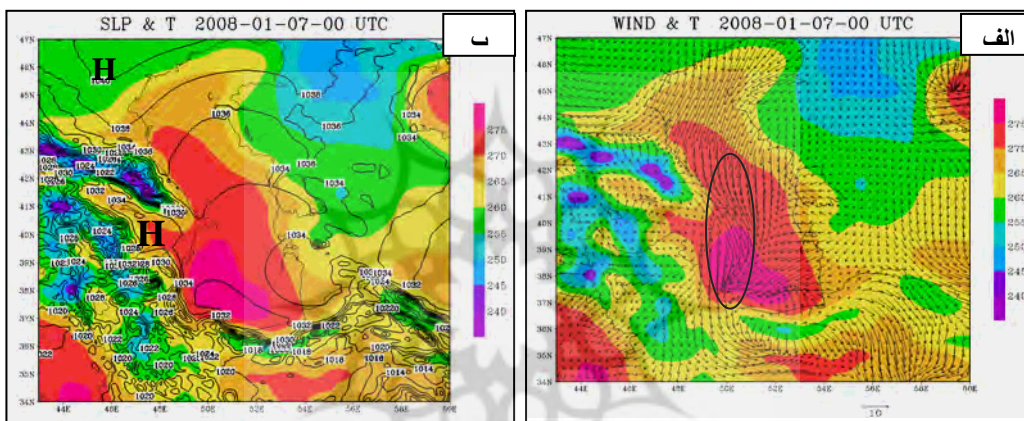
طرح‌واره مفهومی الگوی میان‌مقیاس شکل‌گیری توده هواهای شناسایی شد و محل شکل‌گیری نوار همگرایی جریان باد و همچنین نحوه ورود شارهای رطوبت به جلگه گیلان در شکل ۱۴ و ۱۵ مشاهده می‌شود. شکل‌گیری باندهای منطبق بر ناحیه همگرایی جریان باد، روی پهنه غربی کاسپین، در تصویر سنجنده مودیس ماهواره ترا (شکل ۱۶) و همین‌طور محصول‌های مقادیر بارش و شدت بارش مربوط به رادار گیلان (کیاشهر) (شکل ۱۷) نیز به وضوح مشهود است.

در واقع ناحیه نشان داده شده، محل برخورد و تلاقی جریان باد از دو جهت شرق و غرب است که به سمت سواحل جنوب‌غربی کاسپین امتداد می‌یابند.

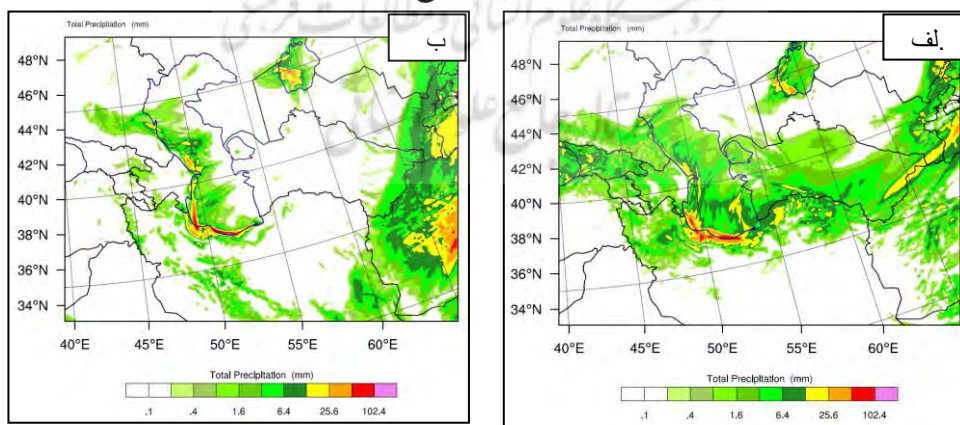




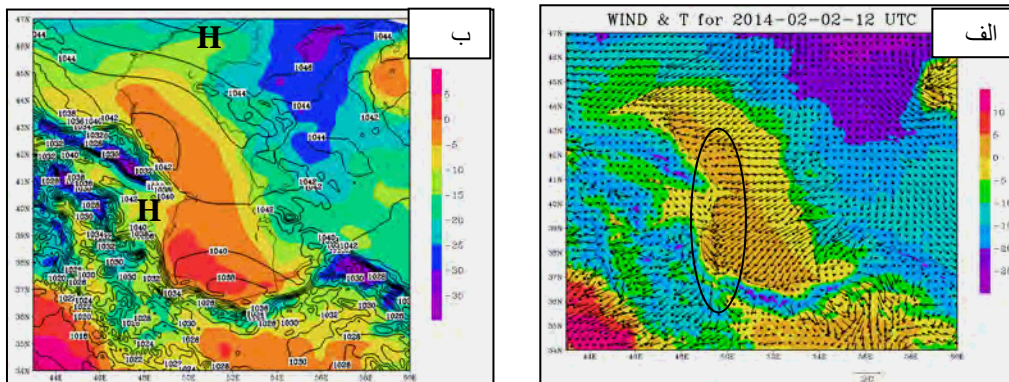
شکل ۹ خروجی‌های بارش تجمعی ۲۴ ساعته (بر حسب میلی‌متر) مدل WRF برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر، الف) روز ۷ ژانویه، ب) روز ۲۱ دی ۱۳۸۶



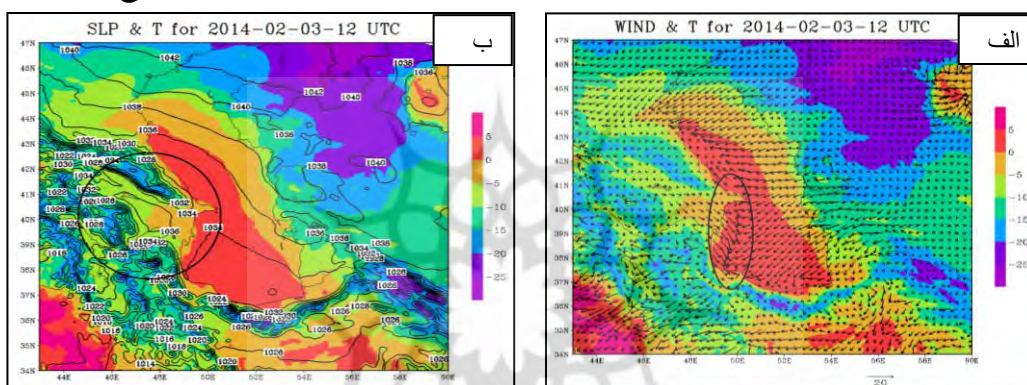
شکل ۱۰ الف) خروجی‌های میدان باد و دما (پهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، ب) خروجی‌های میدان فشار سطح دریا بر حسب هکتوپاسکال (خطوط هم مقدار) و دما (پهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، مدل WRF برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر، ساعت ۰۰ گرینویچ روز ۱۷ دی ۱۳۸۶



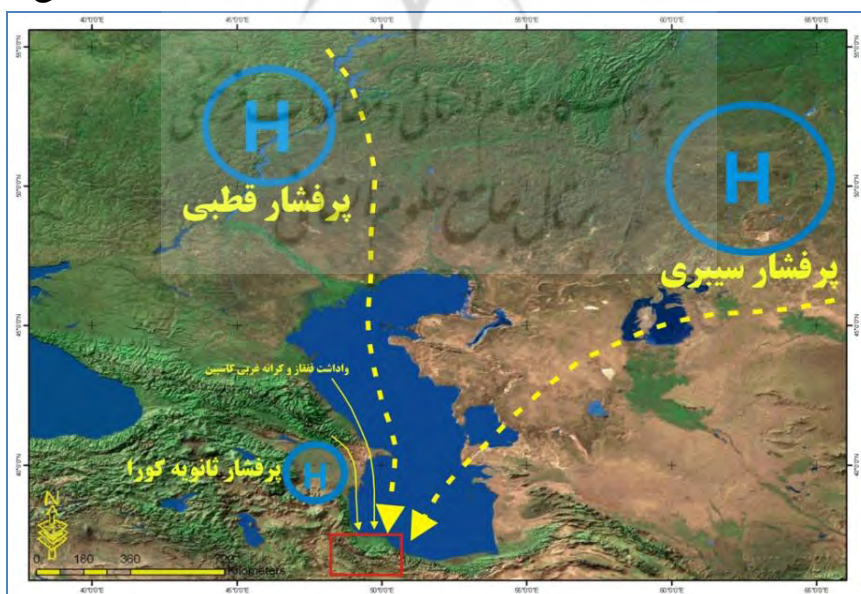
شکل‌های ۱۱ خروجی‌های بارش تجمعی ۲۴ ساعته مدل WRF بر حسب میلی‌متر برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر، الف) روز ۱۳ بهمن ۱۳۹۲، ب) روز ۱۴ بهمن ۱۳۹۲



شکل ۱۲ الف) خروجی‌های میدان باد و دما (بهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، ب) خروجی‌های میدان فشار سطح دریا (خطوط هم مقدار بر حسب هکتوپاسکال) و دما (بهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، مدل WRF برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر، ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۳ بهمن ۱۳۹۲

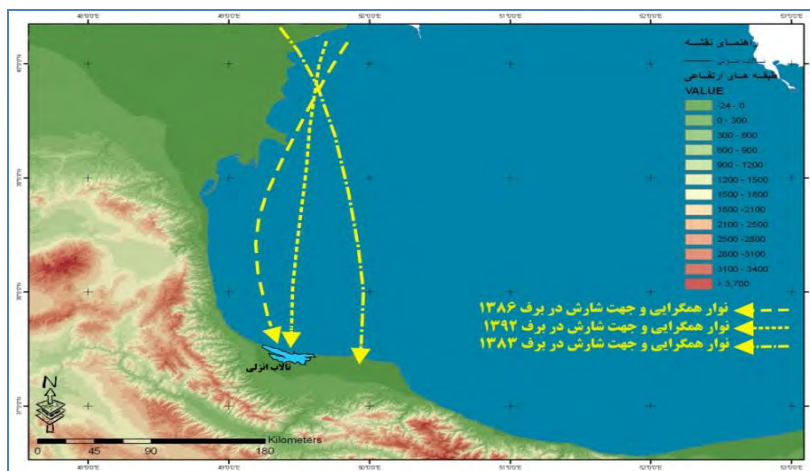


شکل ۱۳ الف) خروجی‌های میدان باد و دما (بهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، ب) خروجی‌های میدان فشار سطح دریا (خطوط هم مقدار بر حسب هکتوپاسکال) و دما (بهنه رنگی بر حسب درجه سلسیوس)، مدل WRF برای تفکیک افقی ۷ کیلومتر، ساعت ۱۲ گرینویچ روز ۱۴ بهمن ۱۳۹۲



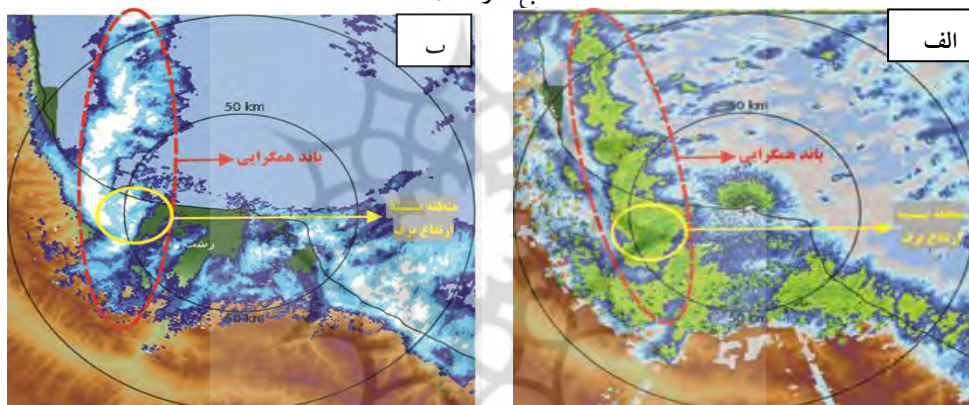
شکل ۱۴ طرح‌واره مفهومی سازوکار رخداد برف سنگین دی ۱۳۸۶ و بهمن ۱۳۹۲ به اقتباس از خروجی‌های مدل WRF





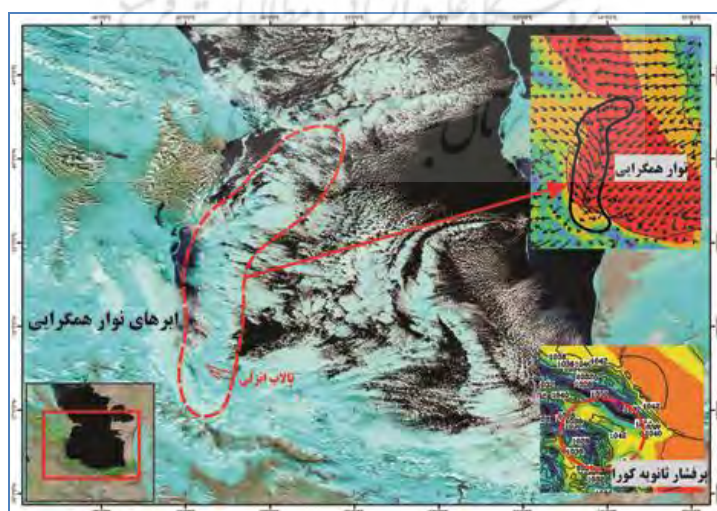
شکل ۱۵ طرح‌واره سه مسیر باند همگرایی شکل گرفته در جریان برف‌های ابر سنگین گیلان و انطباق اشکار آن با مکان پیشینه برف‌های سنگین

منبع نگارندگان



شکل ۱۶ تصاویر رادار گیاشهر در تاریخ ۱۴ بهمن ۱۳۹۲ سمت راست. خروجی مقدار بارش (RAIN) منطق بر نوار همگرایی، سمت چپ

شدت بارش (SRI) منطق بر نوار همگرایی



شکل ۱۷ شناسایی باند همگرایی در برف بهمن ۱۳۹۲ در تصویر سنجنده مودیس

## ۴. نتیجه‌گیری

استان گیلان طی کمتر از یک دهه اخیر به دفعات پدیده مخاطره آمیز برف سنگین را تجربه کرده است. شدت این پدیده در برخی مناطق منجر به شکل‌گیری بحران در ابعاد مختلف جامعه و ایجاد محدودیت‌های گسترده شد. شناسایی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری کانون بحران در منطقه و امکان‌سنجی پیش‌آگاهی از گستره مکانی وقوع این پدیده می‌تواند در مقوله مدیریت بحران حائز اهمیت باشد. در این پژوهش نقش عوامل منطقه‌ای و مؤلفه‌های جغرافیایی تاثیرگذار روی شکل‌گیری الگوی مکانی بیشینه ارتفاع برف در سه سامانه منجر به بارش‌های فوق سنگین برف در استان گیلان با استفاده از اجرای مدل عددی WRF با تفکیک افقی ۷ کیلومتر مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور فارغ از عوامل همدید و دینامیکی مؤثر بر سازوکار این سه سامانه، نقش واداشت‌های تأثیرگذار بر تقویت و تشدید بارش برف در مقیاس مکانی خرد و مکان‌گزینی بیشینه ارتفاع برف در منطقه مورد شناسایی شد. برخی از نتایج به دست آمده عبارتند از:

- در ابعاد میان مقیاس، منشأ شکل‌گیری این سامانه‌ها، واچرخندهای سرد شمال اروپا و یا واچرخند نیمه دائمی سیبری است که با هسته قوی به سمت عرض‌های پایین‌تر نفوذ کرده و زبانه سرد آن‌ها نیمه شمالی ایران و سواحل جنوبی کاسپین را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- گردش ساعتگرد (واچرخندی) این توده هوای پرفشار که گستره جغرافیایی وسیعی از کشور روسیه تا شمال چین را شامل می‌شود، در وردسپهر زیرین با فرارفت هوای سرد به نیمه شمالی کشور همراه است.
- خروجی بارش حاصل از شبیه‌سازی مدل عددی WRF، الگوی مکانی بیشینه ارتفاع برف مربوط به سه سامانه اخیر که عمدتاً شامل جلگه مرکزی گیلان و حوالی جنوب تالاب انزلی بوده است را به خوبی آشکارسازی کرده است.

- نکته حائز اهمیت در خروجی باد ۱۰ متری در منطقه آن است که در هر سه سامانه فوق با حرکت جنوب‌سوی هسته پرفشار سرد به سمت عرض‌های پایین‌تر، سرمایش روی منطقه قفقاز و رشته‌کوه‌های بلند این منطقه تشدید می‌شود. این شرایط در الگوی دمای ۲ متری به خوبی مشهود است. شکل‌گیری جریان‌های سرد کوه به دشت ناشی از حضور هسته‌های سرد روی رشته‌کوه‌های قفقاز بزرگ و کوچک، سبب شکل‌گیری یک سلول پرفشار ثانویه در مقیاس محلی روی جلگه کورا می‌شود.

- در هر سه سامانه، استقرار پرفشار ثانویه روی غرب سواحل کاسپین (جلگه کورا) و تضعیف پربندهای فشاری روی سواحل جنوبی کاسپین و همچنین تباین دمایی میان پهنه آبی کاسپین و دمای سطح خشکی در غرب سواحل (جلگه کورا) موجب شکل‌گیری جریان‌های شرق سو از سمت جلگه کورا به سمت پهنه آبی کاسپین جنوبی می‌شود. این جریان‌های شرق سو به عنوان واداشتی در مقیاس محلی در مقابل جریان باد

غرب سو که از سمت توده هوای پرفشار مستقر در شمال شرق دریای کاسپین قرار دارد عمل کرده و همگرایی جریان باد را در محل تلاقی آنها و به سمت عرض‌های پایین سبب می‌شود.

• در هر سه سامانه، جریان باد ۱۰ متری همگرا شده به صورت باندهمگرایی در امتداد ساحل غربی پهنه کاسپین جنوبی، به محدوده کوچکی در سواحل جنوب غربی کاسپین در جلگه مرکزی گیلان و یا حوالی تالاب انزلی وارد شده و تشدید ناپایداری را در لایه‌های زیرین وردسپهر به دنبال دارد. مکان‌گزینی بیشینه ارتفاع برف بسته به مسیر ورود جریان‌های همگرا شده در جلگه مرکزی گیلان است. تصاویر سنجنده مودیس ماهواره ترآ و آکوا و همچنین محصولات شدت بارش مربوط به رادار کیشهر (گیلان) شکل‌گیری باندهمگرایی منطبق بر نوار همگرایی باد را به روی پهنه غربی سواحل کاسپین تأیید می‌کند که وارد بخش‌های جنوب غربی می‌شود.

#### کتابنامه

- عساکره، حسین؛ خوش‌رفتار، رضا؛ ستوده، فاطمه؛ ۱۳۹۱. تحلیلی بر بارش‌های سنگین روزانه سپتامبر در ارتباط با الگوهای همدید در استان گیلان (۱۹۷۶-۲۰۰۵). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. سال ۴۴. شماره ۸۰. صص: ۶۶-۵۱.
- فهیمی‌نژاد، الهام؛ حجازی‌زاده، زهرا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیائی‌ان، پرویز؛ ۱۳۹۱. تحلیل سینوپتیکی و فضای توفان برف استان گیلان (فوریه ۲۰۰۵). مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره نوزدهم. صص: ۲۸۱-۳۰۲.
- فریدمجتهدی، نیما؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ نیری، معصومه؛ افشارمنش، حمیده؛ ۱۳۸۵. واکاوی همدید رخداد بارش برف سنگین فوریه ۲۰۰۵ استان گیلان. علوم جغرافیایی. شماره ۴. مشهد.
- فریدمجتهدی، نیما؛ خوش‌اخلاق، سمانه؛ عزیزی، افشین؛ مومن‌پور، فروغ؛ هادی‌نژادصبوری، شبنم؛ اسعدی‌اسکوئی، ابراهیم؛ عابد، حسین؛ غفاریان، پروین؛ ۱۳۹۳. آب‌وهواشناسی مخاطره برف گیلان (بحران سفید، برف دلتا، برف دریاچه‌ای). چاپ: رشت. نشر فرهنگ ایلیا.
- . مومن‌پور، فروغ؛ نگاه، سمانه؛ هادی‌نژادصبوری، شبنم؛ فریدمجتهدی، نیما؛ اسعدی‌اسکوئی، ابراهیم؛ ۱۳۹۳. واکاوی سازوکار رخداد مخاطره برف‌های سنگین جلگه گیلان در نیم سده اخیر. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۹. صص: ۳۶-۱۷.
- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر؛ جانبازقبادی، غلامرضا؛ ۱۳۸۶. تعیین الگوی همدید بارش‌های شدیدی و حدی پائیزه در سواحل جنوبی دریای خزر. مجله فیزیک زمین و فضا. دوره ۳۳. شماره ۳. صص: ۱۵۴-۱۳۱.
- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر؛ جانبازقبادی، غلامرضا؛ ۱۳۹۱. تبیین علل کاهش یافتن مقدار و شدت بارش‌های زمستانه در قیاس با بارش‌های پاییزه در سواحل جنوبی دریای کاسپین. مجله فیزیک زمین و فضا. دوره ۳۸. صص: ۲۰۳-۱۷۷.

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۴. شناسایی رژیم‌های ایران به روش تحلیل خوشه‌ای. پژوهش‌های جغرافیایی. دوره ۳۷. شماره ۵۲. صص: ۴۷-۵۹.

Leathers, D., Ellis, w., 1996. Synoptic Mechanisms Associated with Snowfall Increase to the Lee of Lakes Erie and Ontario, *International Journal of Climatology*; 16, (10), 1117-1135.

Ellis, A.W., Johnson, J., 2004. Hydroclimate Analysis of Snowfall Trends Associated with the North American Great Lakes, *Journal of Hydrometeorology*, 5, 471-486.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., 2008. A time-split Nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications. *Journal of Computational Physics*, 227, (7), 3465-3485.

Rutledge, G.K., J. Alpert, & Ebuisaki, W., 2006. A Climate and Weather Model Archive at the National Oceanic and Atmospheric Administration. *Bulletin of the American Meteorological*, 87, 327-341.

National Oceanic and Atmospheric Administration.

13. National Aeronautics and Space Administration.

