

شبیه سازی نقش دریای خزر در وقوع بارش های منطقه ای با استفاده از مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM4 پیوند خورده با مدل دریاچه

عباس مفیدی^۱، میثم کارخانه^۲، آذر زرین^۳

۱- استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

abbasmofidi@um.ac.ir

۰۵۱۱-۸۷۹۶۸۳۲

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

zarrin@um.ac.ir

چکیده

هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی نقش دریای خزر در وقوع بارش های سواحل جنوبی این دریاست. جهت شبیه سازی میزان نقش دریای خزر در وقوع بارش های منطقه ای، از مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM4 که با یک مدل دریاچه جفت گردیده، استفاده شد. مدل با استفاده از داده های جوی NCEP/NCAR و در دو حالت مرجع (وجود دریای خزر) و شرایط حذف دریاچه برای سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ اجرا شد. نتایج شبیه سازی بیانگر آن است که با حذف دریای خزر بیشترین میزان تغییر بارش، در سواحل جنوبی این دریا بوقوع می پیوندد. حذف دریای خزر بیش از هر جای دیگری سبب کاهش میزان بارش در مناطق واقع در محدوده جنوب غرب و جنوب دریا می گردد. در عین حال، میزان تأثیر دریای خزر بنا به فصل سال متفاوت خواهد بود، بطوریکه بالاترین میزان تأثیر منطقه ای دریای خزر به ترتیب در فصول پاییز و زمستان و کمترین میزان آن در فصل بهار مشاهده می گردد. یافته های تحقیق همچنین بیانگر آن است که در صورت حذف دریای خزر، به واسطه افزایش کшал سطحی، از شدت باد با جهت شمالی بر روی منطقه کاسته خواهد شد. تحلیل وضعیت باد شمالی بر روی دریا مبین آن است که میزان نقش و تأثیر منطقه ای دریای خزر تابعی از شدت باد بر روی دریا می باشد. بر این اساس، دریای خزر در زمان وقوع بادهای شدیدتر نقش منطقه ای بیشتر و گسترده تری در قیاس با زمان وقوع بادهای کم شدت تر دارد. یافته ها همچنین بیانگر آن است که با حذف دریای خزر، به واسطه حذف منابع گرمایی و رطوبتی آب دریا، از مقادیر نم ویژه، تبخیر از سطح دریا و شارگرمای نهان، بطور محسوسی کاسته می شود. این فرآیند در نهایت منجر به کاهش بارش در سواحل جنوبی دریای خزر می گردد. اعتبار سنجی بارش های شبیه سازی شده، حکایت از آن دارد که مدل RegCM4 روند بارش های ماهانه را به خوبی شبیه سازی نموده است، اگر چه در برآورد مقادیر واقعی بارش یک اریب مثبت را برای ماه های بهاری نشان می دهد.

واژه های کلیدی: دریای خزر، بارش های خزری، دمای سطح آب دریا، مدل اقلیمی RegCM4، مدل دریاچه.

۱- مقدمه

بارش بارزترین عنصر اقلیمی در سواحل جنوبی دریای خزر است. سواحل جنوبی دریای خزر برخلاف سایر مناطق ایران بیشینه بارش سالانه خود را در ابتدای فصل پاییز تجربه می نماید [1]. وقوع بارش ها در کرانه های جنوبی دریای خزر ناشی از برهمکنش پیچیده عوامل محلی و عوامل مقیاس منطقه ای است [2]. در میان عوامل مؤثر بر بارش های خزری، نقش دریای خزر به عنوان بزرگترین پیکره آبی داخل خشکی ها غیر قابل انکار می باشد. شکل و فیزیک منحصر بفرد دریای خزر، در کنار گسترش نصف النهاری و گستردگی جغرافیایی آن و موقعیت جغرافیایی ایده آل این دریا در ارتباط با سامانه های برون حاره، نقش منطقه ای و محلی این دریا را از هر پیکره آبی بسته ای بیشتر نموده تا بدانجا که می توان اقلیم منحصر بفرد سواحل جنوبی دریای خزر را حاصل همسایگی این منطقه با پیکره آبی خزر دانست. از منظر اقلیمی نیز علت بیشینه بارش در سواحل جنوبی دریای خزر نسبت به سایر نواحی اقلیمی ایران به نقش محلی دریای خزر نسبت داده می شود [1, 2, 3]

4] چنین نقشی حاصل برهمکنش جو و دریا در مقیاس های منطقه ای و محلی است که در دوره سرد سال امکان وقوع بارش در سواحل خزری را فراهم می آورد. از این رو مطالعه نقش دریای خزر در مقیاس منطقه ای و نحوه برهمکنش جو و دریا کلید اصلی درک نقش این دریا در وقوع بارش های سواحل جنوبی آن به شمار می رود. بررسی نقش محلی دریاچه ها در وقوع بارش های ساحلی همواره مورد توجه پژوهشگران علوم جو بوده است. زیرا این دریاچه ها در تعدیل توده های هوا و ریزش های جوی پیرامون خود در مقیاس محلی و منطقه ای دارای نقش برجسته ای هستند. برخی از دریاچه ها حتی در سردترین ماه های سال نیز یخ نمی زنند و یک منبع گرما و رطوبت برای جو منطقه پیرامون خود محسوب می گردند. از سویی به جهت نبود داده های مشاهداتی و یا کوچک بودن مقیاس بسیاری از پدیده های منشأ یافته از برهمکنش جو و دریا، مطالعه اثر دریاها، بویژه دریاچه ها، بر اقلیم منطقه ای بسیار دشوار ساخته است. به همین جهت از اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی، مدل های اقلیمی متعددی به منظور شناسایی نحوه برهمکنش هوا و دریا توسعه یافته اند تا علاوه بر درک رفتار جو در مقیاس محلی و منطقه ای، همچنین امکان ارائه پیش بینی های فصلی را نیز فراهم نمایند. یکی از این مدل های اقلیمی، مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM است. مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM از جمله مدل های عددی مرکز بین المللی مطالعات فیزیک نظری عبدالسلام (ICTP)¹ است که در سال های اخیر در حکم ابزار توانمندی در مطالعات منطقه ای اقلیم مورد توجه بسیاری از محققین علوم جو قرار گرفته است [5]. مدل فوق قادر است فرآیندهای اقلیمی را با مقیاس های زمانی و مکانی مختلف شبیه سازی نماید. با توجه به این که مدل RegCM از یک هسته دینامیکی قوی برخوردار بوده و در عین حال قابلیت جفت شدن با مدل های متعددی چون مدل دریاچه، مدل غبار و مدل کاربری اراضی را داراست به همین خاطر، مطالعات متعددی با بهره گیری از این مدل اقلیمی در خارج و داخل کشور صورت گرفته که در ذیل به تعدادی از این مطالعات که در راستای تحقیق حاضر هستند، اشاره می گردد.

بوزکات و لطفی سن^۲ (۲۰۱۱) [6] در مقاله ای با استفاده از مدل اقلیمی RegCM تاثیر بالا رفتن دمای دریاهای اطراف ترکیه را به اندازه ۲ درجه کلون بر وقوع بارش های این شبه جزیره بررسی نمودند. این شبیه سازی نشان داد که بارندگی شبه جزیره آناتولی رابطه مستقیم با دمای سطح آب دریاهای اطراف این شبه جزیره داشته و شبیه سازی مدل نشان داد که افزایش دمای سطح آب دریاهای اطراف ترکیه بخصوص مدیترانه شرقی باعث افزایش بارندگی در شبه جزیره آناتولی و خود این دریاها می شود. سلطانهزاده و همکاران (۱۳۸۶) [5] در راستای شناسایی نقش رشته کوههای زاگرس بر سامانه های عبوری از ایران، در یک بازه زمانی سه ماهه حساسیت مدل RegCM3 را مورد آزمون قرار دادند. در شبیه سازی انجام شده، محققان مدل را در وضعیت با رشته کوه و بدون آن اجرا نمودند و دریافتند که با حذف رشته کوه های زاگرس، میزان بارش در مناطق مرکزی و شرقی ایران افزایش پیدا می کند ولی بارش در کل محدوده شبیه سازی شده تقریباً ثابت می ماند. بابائیان و همکاران (۱۳۸۶) [7] با بررسی حساسیت مدل RegCM3 نسبت به طرحواره های مختلف بارش همرفتی از جمله گول، کو و امانوئل دریافتند که طرحواره گول در مقایسه با دو طرحواره دیگر توانمندی خوبی برای شبیه سازی بارش در کل کشور دارد. در طی چند دهه گذشته مطالعات بی شماری ساز و کار وقوع بارش های خزری را مورد بررسی قرار داده اند و تئوری های متعدد و متفاوتی در رابطه با نحوه وقوع بارش های خزری ارائه گردیده است [1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12]. اما علیرغم تمامی مطالعات انجام شده، هنوز به این پرسش کلیدی که «نقش دریای خزر در وقوع بارش های سواحل جنوبی آن چیست؟»، پاسخی جامع داده نشده است. به نظر می رسد مهمترین مسئله در تبیین نقش دریای خزر بر اقلیم سواحل جنوبی و بطور کلی بر اقلیم منطقه ای، نبود داده های مناسب از شرایط فیزیکی دریای خزر و به تبع آن نبود امکان آشکارسازی نحوه برهمکنش جو و دریا در مقیاس های منطقه ای و محلی است. بنابراین این نیاز وجود دارد که نقش دریای خزر به عنوان یک پیکره آبی گسترده بر وقوع بارش های سواحل جنوبی آن با انجام شبیه سازی های دینامیکی و ریزگردانی داده ها مشخص گردد. از آنجایی که در مطالعات اقلیمی ایران هنوز نقش دریای خزر و دمای سطح دریا در وقوع بارش های خزری یک بحث باز تلقی می گردد. در این راستا تحقیق حاضر بر آن است با بهره گیری از طرحواره های همرفتی و دینامیکی و با استفاده از آخرین مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM که امکان جفت شدن با یک مدل دریاچه تکامل

1 - International Center for Theoretical Physics

2 - Bozkurt and Lutfi sen

یافته را نیز دارد [13, 14, 15]، مطالعه نقش دریای خزر بر وقوع بارش های سواحل جنوبی را به نحو مطلوب تری به انجام رساند. از این رو هدف اصلی تحقیق حاضر آن است که در یک شبیه سازی دینامیکی و با انجام ریزگردانی مناسب، نقش دریای خزر را در وقوع بارش های منطقه خزری به طور دقیق مورد مطالعه قرار دهد. در عین حال پژوهش حاضر سعی دارد به این پرسش نیز پاسخ گوید که «مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM4 در پیوند با یک مدل دریاچه به چه میزان می تواند در شناسایی نقش دریای خزر بر بارش های سواحل جنوبی آن کارایی داشته باشد؟».

۲- مواد و روش ها

بررسی نقش دریای خزر در وقوع بارش های سواحل جنوبی این دریا با استفاده از مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM4 به انجام رسید. در این مطالعه با توجه به هدف اصلی و سؤالات تحقیق داده های زیر مورد استفاده قرار گرفت و مراحل زیر در نظر گرفته شد:

۲-۱- داده ها

داده های مورد استفاده به دو بخش تقسیم می گردد:

۲-۱-۱- داده های ایستگاهی

برای انجام مطالعات آماری اولیه داده های بارش ایستگاه های سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور در مقیاس روزانه و ماهانه در یک دوره ده ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۶) مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱. نام و موقعیت ایستگاه های سینوپتیک سواحل جنوبی دریای خزر.

ایستگاه	آستارا	انزلی	رشت	رامسر	نوشهر	بابلسر	قائم شهر	گرگان
عرض جغرافیایی	۳۸°-۲۵'	۳۷°-۲۸'	۳۷°-۱۲'	۳۶°-۵۴'	۳۶°-۳۹'	۳۶°-۴۳'	۳۶°-۲۷'	۳۶°-۵۱'
طول جغرافیایی	۴۸°-۵۲'	۴۹°-۲۸'	۴۹°-۳۹'	۵۰°-۴۰'	۵۱°-۳۰'	۵۲°-۳۹'	۵۲°-۵۳'	۵۴°-۱۶'

۲-۱-۲- داده های مورد استفاده در بخش مدلسازی

۲-۱-۲-۱- داده های ورودی در مقیاس جهانی

برای شرایط اولیه از داده های جوی NCEP/NCAR با قدرت تفکیک افقی ۲/۵ درجه و در مقیاس زمانی ۶ ساعته برای سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ استفاده شد [16]. این داده ها شامل: ارتفاع ژئوپتانسیل، مؤلفه مداری باد (U)، مؤلفه نصف النهاری باد (V)، دمای هوا و سرعت قائم برای ۱۷ تراز فشاری و فشار سطحی و همچنین رطوبت نسبی برای ۸ تراز می باشد. همچنین از داده های سطحی شامل: داده های توپوگرافی، داده های کاربری اراضی، بافت خاک و عمق آب دریاها و دریاچه ها با قدرت تفکیک افقی ۳۰ ثانیه تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) استفاده شد. علاوه بر آن داده های دمای سطح آب دریا (SST) اخذ شده از اداره ملی جو و اقیانوس آمریکا (NOAA) به صورت هفتگی و با قدرت تفکیک افقی ۱ درجه به عنوان داده های ورودی برای اجرای مدل مورد استفاده قرار گرفت. تمامی داده های فوق از پایگاه داده مرکز بین المللی فیزیک نظری عبدالسلام اخذ گردید.

۲-۱-۲-۲- داده های خروجی مدل

پس از اجرای مدل، داده های خروجی با فرمت NetCDF و برای دوره زمانی سه ساله (۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵) در قالب سه دسته فایل اصلی به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت:

- داده های خروجی جوی: مؤلفه مداری باد، مؤلفه نصف النهاری باد، دمای هوا، امگا، نم ویژه، نسبت آمیزه بخار آب ابر در ۱۸ تراز فشاری، فشار سطحی، مجموع بارش، دمای سطحی، رطوبت خاک و رواناب که مجموع این داده ها دارای قدرت تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر و در بازه زمانی ۶ ساعته می باشند.

- داده های خروجی مدل دریاچه: این داده ها شامل فشار سطح زمین، دما در سطح زمین، مجموع بارش، بارش برف، شارگرهای محسوس، شارخالص انرژی مادون قرمز، شار انرژی جذب شده خورشیدی، آلودگی سطحی، شارموج بلند پایین سو، تابش مستقیم موج کوتاه خورشیدی، آلودگی سطحی انتشار یافته، تابش موج کوتاه خورشیدی، میزان تبخیر، ضخامت

یخ شناور، ضخامت برف و دمای سطح آب دریا است. داده ها دارای قدرت تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر و در بازه زمانی روزانه تولید گردیده اند.

- داده های خروجی سطحی: این داده ها شامل دمای سطحی زمین، دما در ارتفاع ۲ متری، نم ویژه ۲ متری، بارش، تبخیر و ترقق، رواناب سطحی، بارش برف، شارگرمای محسوس در سطح، انرژی جذب شده خورشیدی، بارش همرفتی، حداکثر و حداقل دما در سطح، حداکثر و حداقل دما در ارتفاع ۲ متری، حداکثر سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، کمترین فشار سطحی، آلودگی سطحی تابش مستقیم موج کوتاه خورشیدی، آلودگی سطحی انتشار یافته و تابش موج کوتاه خورشیدی است. داده ها از قدرت تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر و بازه زمانی ۶ ساعته برخوردار می باشند.

۲-۲ روش ها

۲-۲-۱ مراحل انجام مدل سازی

هدف از مدل سازی رقومی مشخص کردن نقش دریای خزر در وقوع بارش های سواحل جنوبی آن و ارزیابی توانایی مدل در شبیه سازی نقش این دریا است. در این راستا از مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM4.1 که با یک مدل دریاچه جفت شده، استفاده شد. برای این منظور ابتدا داده های بارش ایستگاهی و داده های شبکه بندی شده جو در یک بازه زمانی ده ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۶) جهت تعیین سال یا سال های نمونه مورد پردازش قرار گرفت. با توجه به این که جریان باد با جهت شمالی بر روی دریای خزر نقش ویژه ای در بارش های سواحل جنوبی آن دارد [1, 3, 4, 17]. همچنین از آنجایی که ساختار و خصوصیات باد بر روی دریا نقش ویژه ای در بر همکنش جو و دریا ایفا می کند. از این رو وضعیت متوسط روزانه مولفه باد نصف النهاری در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی دریای خزر و مجموع بارش های روزانه در سواحل جنوبی دریا در دوره ده ساله مورد بررسی قرار گرفت. از سویی با در نظر گرفتن این نکته که داده های مورد استفاده در شبیه سازی هر چقدر از نظر زمانی نزدیک تر به زمان حاضر باشند از کیفیت و دقت بیشتری برخوردارند و در عین حال نشان دهنده درصد بیشتری از واقعیت های محیطی زمان حال از نظر تغییر اقلیم و تغییرات زیست محیطی هستند، بنابراین بر اساس بررسی شرایط بارشی و مولفه باد نصف النهاری و همچنین با در نظر گرفتن افزایش میزان دقت و صحت داده های جدیدتر نهایتاً سه سال ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ که شرایط مناسبی از نظر الگوی گردشی جو در ترازهای زیرین داشته و در عین حال از شرایط بارشی مناسبی برخوردار بوده اند، برای انجام شبیه سازی و اجرای مدل در نظر گرفته شدند.

۲-۲-۲ ویژگی های مدل برای شبیه سازی نقش دریای خزر

در این تحقیق مدل RegCM4 با تعداد ۱۱۰ گام شبکه در راستای عرض جغرافیایی، ۱۱۲ گام شبکه در راستای طول جغرافیایی و ۱۸ تراز در راستای قائم در دستگاه سیگما که بالاترین تراز به طور پیش فرض دارای فشار ۵ میلی بار بوده، اجرا شده است. عرض مرکزی ۳۰°-۴۱° شمالی و طول مرکزی ۳۰°-۴۶° شرقی در نظر گرفته شد و برای آن که مدل بتواند جزئیات بیشتری را با قدرت تفکیک بالاتر نشان دهد، قدرت تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. سیستم تصویر انتخابی، سیستم تصویر لامبرت است که برای عرض های میانه مناسب می باشد. برای آن که مدل بتواند با ویژگی های دریاچه بخوبی تطبیق پیدا کند، زمان شروع اجرای مدل از دوره گرم سال و از ابتدای ماه سپتامبر در نظر گرفته شد که بدین ترتیب یک دوره تطبیق (Spin-up) ۴ ماهه برای این اجرا لحاظ گردیده است. بازه زمانی برای ذخیره خروجی های مدل ۴۸ ساعت در نظر گرفته شد و گام زمانی داده های خروجی برای داده های جوی و داده های سطح زمین ۶ ساعت و برای داده های دریاچه ۲۴ ساعت در نظر گرفته شده است. در اجرای مدل از طرحواره های کومولوس، طرحواره همرفت آرکوا-شوبرت و طرحواره بارش بزرگ مقیاس استفاده شده است.

۲-۲-۳ مراحل انجام مدل سازی برای بررسی نقش دریای خزر

۲-۲-۳-۱ اجرای مدل در شرایط مرجع

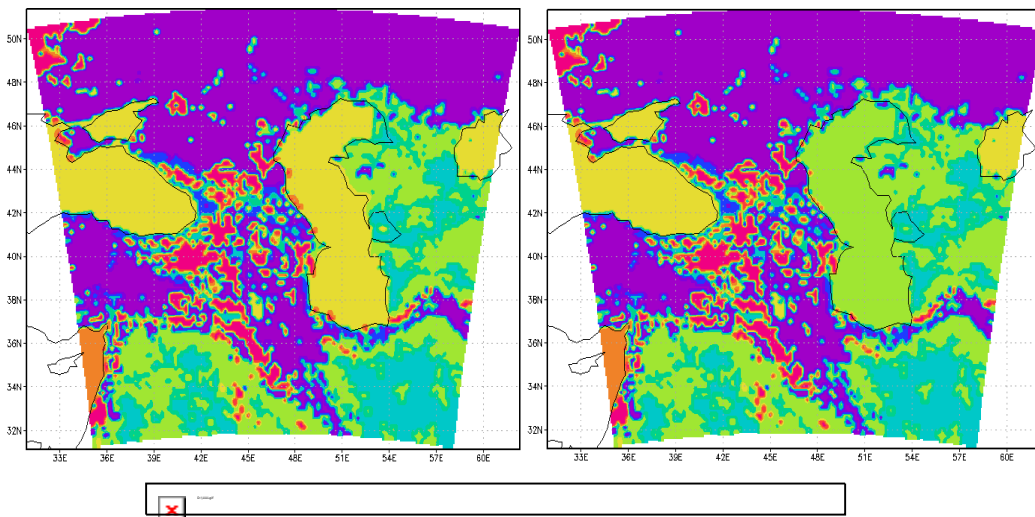
از آنجائی که هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی نقش دریای خزر در وقوع بارش های منطقه خیزی است، بنابراین از مدل جوی RegCM4 جفت شده با یک مدل دریاچه که بتواند شرایط برهمکنش جو و دریاچه را شبیه سازی کند، استفاده

شده است. مدل در وهله اول اصطلاحاً در حالت «کنترل» یا «در شرایط مرجع» به اجرا در آمد. در این مرحله مدل RegCM4.1 به گونه ای با مدل دریاچه جفت گردیده که تمامی شرایط سطحی، از جمله پوشش سطحی (Land Cover)، شکل طبیعی و اولیه خود را حفظ نماید. شکل ۱-ا محدود در نظر گرفته شده به همراه نقشه پوشش سطحی را در اجرای مرجع نشان می دهد. برای محاسبه شارهای سطحی گرما، رطوبت و تکانه، مدل دریاچه به شکل برهمکنشی (Interactive) با مدل RegCM4.1 جفت گردیده است. این مدل نسخه تصحیح شده و تکامل یافته از مدل دریاچه یک بعدی در شرایط موازنه انرژی، توسعه یافته توسط هاستنر و بارتلین (۱۹۹۰) [18] محسوب می گردد. در مدل دریاچه، شارهای گرما، رطوبت و تکانه بر اساس داده های ورودی هواشناسی و دمای سطح دریاچه و آلبدو محاسبه می شوند (شکل ۲). در این مدل گرما به طور عمودی بین لایه های مدل دریاچه از طریق تلاطم و اختلاط همرفتی منتقل می شود [19, 20]. مدل در شرایط مرجع برای سال های ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ به اجرا در آمد.

۲-۲-۳-۲ اجرای مدل در شرایط حذف دریاچه

در این مرحله، مدل RegCM4.1 پس از حذف دریای خزر در داده های پوشش سطحی (شکل ۱-ب)، با مدل دریاچه جفت گردیده است. لازم به توضیح است که در مدل های دینامیکی و در فرآیند شبیه سازی، این امکان وجود دارد که برای درک میزان نقش و اثر یک پدیده خاص بر کل فرآیند اتمسفری در حال وقوع، آن پدیده را از داده های ورودی حذف و یا بر اساس هدف تحقیق اصلاح نموده و سپس با حفظ سایر شرایط به مدل اجازه دهیم که معادلات دینامیکی خود را در قالب طرحواره های مختلف بر روی داده های ورودی اعمال نماید. بر این اساس، در اجرای دوم مدل که یک اجرای شبیه سازی محسوب می گردد، پیکره دریای خزر از داده های پوشش سطحی ورودی حذف گردیده و به جای آن یک پوشش نیمه بیابانی جایگزین گردید (شکل ۱-ب). بدین ترتیب در اجرای شبیه سازی، معادلات و طرحواره های مدل، پوشش سطحی نیمه بیابانی را برای محاسبات خود لحاظ نموده اند. مراحل و نحوه انجام شبیه سازی به شرح زیر می باشد:

قبل از اجرای مدل، دو مرحله پیش پردازش وجود دارد که انجام آن ضروری است. اولین مرحله، تنظیم شرایط مرزی اولیه، شامل برش داده های جهانی اعم از داده های توپوگرافی، پوشش سطحی، دمای سطح دریا، داده های جوی از نظر مکانی و زمانی و تعیین محدوده مورد درخواست برای اجرای مدل می باشد. پس از اجرای مرحله اول، فایل های بخش ورودی که شامل توپوگرافی، نوع پوشش سطح زمین و دیگر متغیرها است برای منطقه مورد درخواست برش خورده و تولید می گردند. در اجرای شبیه سازی، پس از این مرحله، پوشش سطحی واقعی دریای خزر را (آب های داخلی) با پوشش سطحی مناسب دیگری جایگزین می نماییم. در شبیه سازی انجام شده برای دریای خزر پوشش سطحی نیمه بیابانی در نظر گرفته شد. علت انتخاب سرزمین های نیمه بیابانی نیز به خاطر همخوانی با پوشش سرزمین های اطراف دریاچه خصوصاً شرق دریای خزر می باشد (شکل ۱-ب). بدین ترتیب مدل برای اجرا با شرایط حذف دریاچه آماده است. در اجرای شبیه سازی نیز مدل برای سال های ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ به اجرا در آمد.

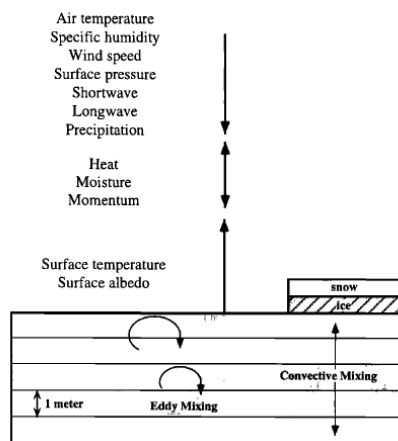


شکل ۱. محدوده مورد مطالعه همراه با اطلاعات پوشش سطحی با تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر. (a) پوشش سطحی در اجرای مرجع (با دریاچه). (b) پوشش سطحی در شرایط حذف دریاچه. رنگ ها، نوع پوشش سطحی را مشخص می نمایند. راهنمای نقشه: از چپ به راست ۰ تا ۴ گیاهان کوتاه، ۴ تا ۶ زمین زراعی، ۶ تا ۱۰ بیابان، ۱۰ تا ۱۲ نیمه بیابان، ۱۲ تا ۱۴ آبهای داخلی، ۱۴ تا ۱۶ اقیانوس، ۱۶ تا ۱۸ جنگل پراکنده.

۴-۲-۲ تحلیل خروجی های مدل

مدلسازی نقش دریای خزر در وقوع بارش های فصلی

با استفاده از داده های بارش دوره ۳ ساله، مقادیر متوسط بارش فصلی به تفکیک برای شرایط مرجع و شرایط حذف دریای خزر برای هر فصل به صورت نقشه تهیه شد. در عین حال صحت سنجی داده های بارش مدل، با بهره گیری از داده های بارش ایستگاه سینوپتیک رشت و مقایسه آن با داده های بارش خروجی مدل برای همان مختصات در مقیاس روزانه و ماهانه به انجام رسید.



شکل ۲. تصویری شماتیک از مدل دریاچه [20].

در ادامه و جهت انجام مطالعات دقیق تر در رابطه با نقش دریای خزر بر روی بارش های سواحل جنوبی آن، تعداد ۱۰ روز با آستانه شدت باد زیاد (۳۰ کیلومتر در ساعت و بالاتر) و ۱۰ روز با آستانه شدت باد متوسط (حدفاصل ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر در ساعت) از روزهای پائیزی دوره مطالعه، که در عین حال منطقه خزری هم زمان بارش را تجربه نموده است، استخراج شد. لازم به ذکر است که آستانه های سرعت یاد شده بر اساس مطالعه سرعت متوسط منطقه ای باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی کل دریای خزر حاصل گردیده است. دلیل انتخاب فصل پاییز نیز نقش بسیار مهمی است که این دوره از سال در بارش های سواحل جنوبی دریای خزر دارد. از آنجایی که هدف این قسمت از مطالعه فراهم نمودن درک مناسب تری از ویژگی های فیزیکی، ترمودینامیکی و همچنین ساختار منطقه ای گردش جو در منطقه خزری در زمان وقوع بادهای شدید و متوسط بوده است، به همین جهت روزهایی انتخاب گردید که در عین حال جهت باد غالب در ترازهای زیرین جو بر روی دریای خزر شمالی بوده است. متغیرهای استفاده شده در این مرحله عیناً مشابه متغیرهای به کار گرفته شده در بخش بررسی های فصلی بوده و شرایط غالب در اجرای مرجع و بدون دریاچه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در این مرحله از تحقیق، جهت شناسایی میزان نقش دریای خزر بر بارش های خزری، با معیار قرار دادن آستانه های شدت باد، وضعیت بارش، مؤلفه باد نصف النهاری، دمای سطحی، شارگرمای محسوس، نم ویژه، تبخیر و بارش در شرایط مرجع و بدون دریاچه مورد مقایسه قرار گرفت. بررسی یادشده، نحوه برهمکنش دریا و جو در منطقه خزری و همچنین ساختار فیزیکی و ترمودینامیکی دریای خزر در زمان تسلط بادهای شمالی بر روی آن را به نمایش می گذارد. برای بهتر نشان دادن نقش دریای خزر، تمامی نقشه ها از تفاضل گیری بین وضعیت حاکم در اجرای بدون دریاچه و اجرای مرجع تهیه گردیده اند.

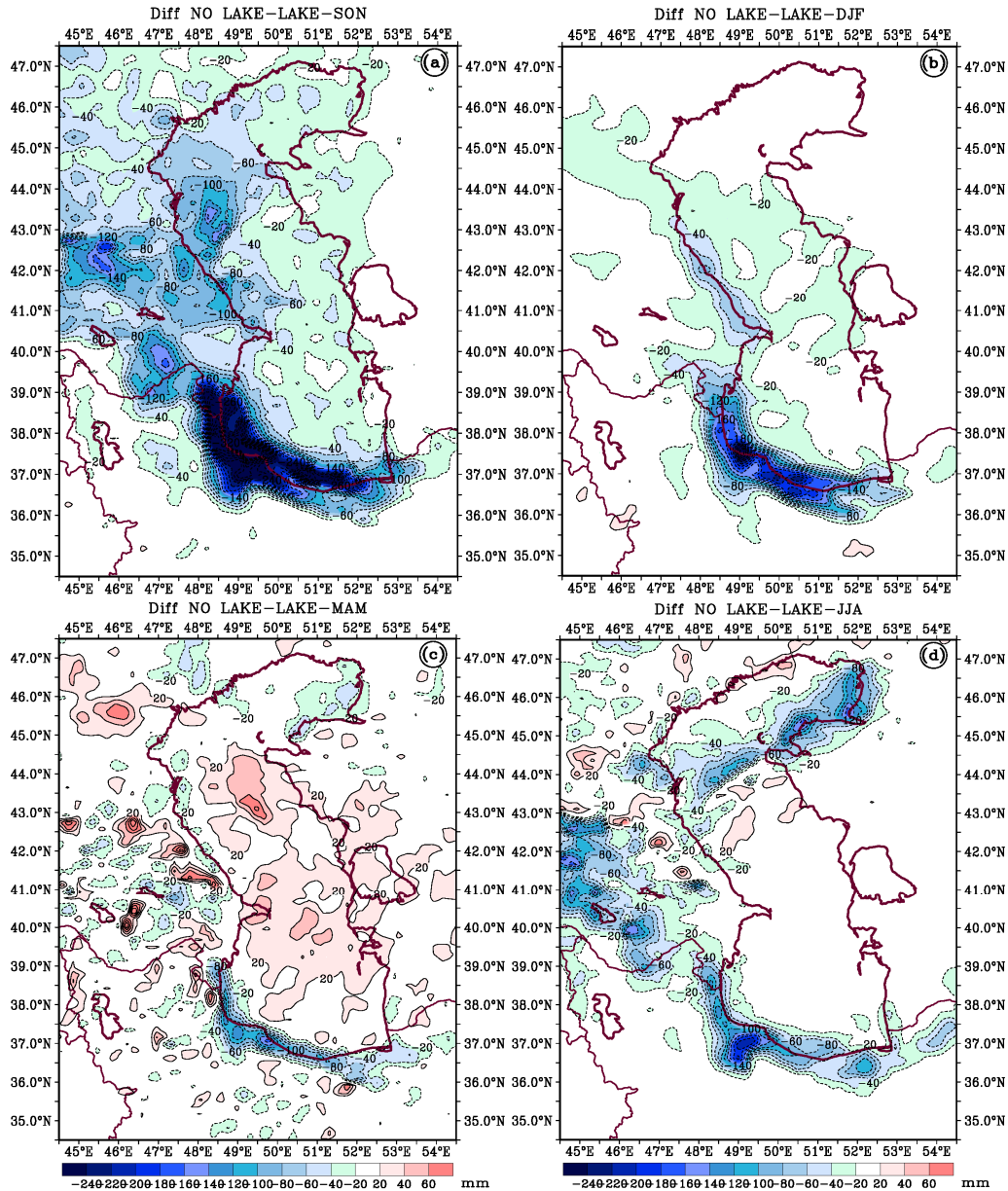
۳- نتایج و بحث

۳-۱ بررسی بارش های فصلی در سواحل جنوبی دریای خزر

برای بررسی و مشخص کردن نقش و تاثیر دریای خزر بر وقوع بارش های سواحل جنوبی آن، مدل در دو حالت یعنی

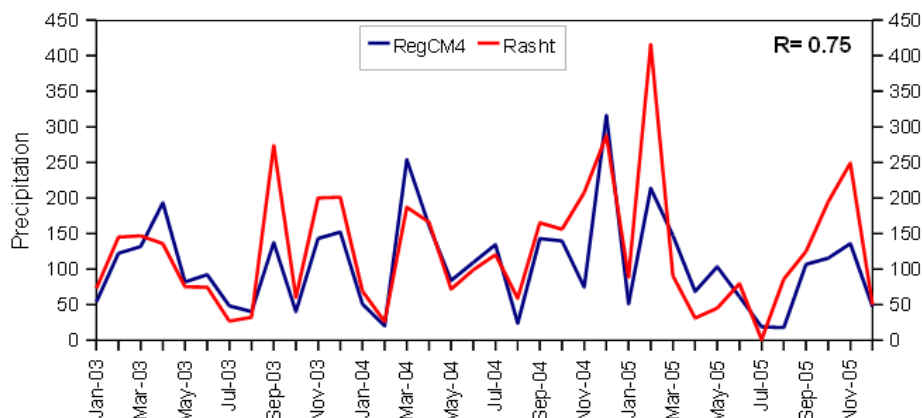
شرایط مرجع (با دریاچه) و شرایط حذف دریای خزر به اجرا در آمد. در این بخش به منظور نشان دادن نقش دریای خزر در شبیه سازی انجام شده، وضعیت بارش منطقه ای در شرایط حذف دریای خزر در قیاس با شرایط مرجع با انجام تفاضل گیری مورد بررسی قرار گرفت تا تغییرات زمانی و مکانی بارش حاصل از تفاضل گیری بیانگر نقش دریای خزر بر بارش های منطقه باشد. با تفاضل گیری بارش های فصلی، آن چنان که شکل ۳-۳ نشان می دهد، در صورت حذف دریای خزر، کاهش عمومی را در میزان بارش فصل پاییز بر روی کل منطقه خزری شاهد خواهیم بود. در این میان، میزان کاهش بارش در حاشیه جنوبی دریای خزر از آستارا تا شرق گرگان چشمگیرتر از سایر مناطق بوده، بطوری که به شکل کمربند پیوسته ای از بیشینه مقادیر منفی (بیشینه کاهش بارش) در منطقه خودنمایی می کند. بطور کلی با توجه به شبیه سازی انجام شده، مقدار کاهش بارش در منطقه آستارا و تالش به میزان ۲۴۰ تا ۳۲۰ میلی متر، در منطقه رشت- انزلی و ارتفاعات البرز غربی به ترتیب حدود ۳۴۰، ۲۶۰ تا ۲۰۰ میلی متر، در منطقه چالوس - نوشهر و ارتفاعات البرز مرکزی به ترتیب حدود ۲۴۰، ۱۶۰ و ۲۰ میلی متر، و در سواحل جنوب شرق دریای خزر از منطقه بابلسر، بابل و قائم شهر تا گرگان حدود ۲۶۰، ۱۴۰ و ۱۰۰ میلی متر کاهش یافته است. همچنین مقدار بارش ها در شمال غرب ایران بالاتر از عرض ۳۹ درجه شمالی در منطقه پارس آباد اردبیل، کلیبر، اهر و جلفا در استان آذربایجان شرقی ۴۰ تا ۱۲۰ میلی متر کاهش یافته است. تفاضل گیری ها بیانگر آن است که منطقه ارتفاعات قفقاز و سواحل غربی دریای خزر پس از سواحل جنوبی بیشترین مقادیر کاهش بارش را در فصل پاییز تجربه می کند. نکته جالب توجه آن است که، مناطق واقع در جانب شمالی و شرقی دریای خزر، برخلاف انتظار، تفاوت محسوس و قابل ذکری را در صورت حذف دریای خزر در بارش های پاییزی خود تجربه نخواهند نمود. الگوی یاد شده می تواند نقش بسیار مهم جریانات شمال-شمال شرقی در وقوع بارش های پاییزی منطقه خزری را بازگو نماید. به نظر می رسد وجود و یا عدم وجود این تیپ از جریانات و بر همکنش آن با دریای خزر در ماهیت بارش های پاییزی بخش های شرقی و شمالی دریای خزری تأثیری نداشته باشد.

شکل ۳-۳ وضعیت متوسط بارش های فصل زمستان را با تفاضل گیری بارش بین شرایط حذف دریای خزر و شرایط مرجع نشان می دهد. همچون الگوی پاییزی بیشینه مقادیر کاهش بارش به شکل کمربند پیوسته ای در سواحل جنوبی دریای خزر مشاهده می گردد. بر اساس شکل، مقدار بارش در منطقه آستارا و دامنه شرقی تالش حدود ۱۸۰ تا ۲۲۰ میلی متر، در منطقه انزلی و رشت حدود ۲۴۰ میلی متر، در منطقه چالوس- نوشهر و دامنه شمالی و جنوبی البرز میانی حدود ۲۰۰ تا ۲۲۰ میلی متر، در منطقه بابلسر و قائم شهر حدود ۸۰ تا ۱۴۰ میلی متر، در منطقه ساری حدود ۶۰ و گرگان حدود ۲۰ میلی متر کاهش یافته است. شکل ۳-۳ وضعیت متوسط بارش های فصل بهار را پس از انجام تفاضل گیری نشان می دهد. با توجه به شکل، در صورت حذف دریای خزر، مقدار بارش در این فصل نیز به شکل کمربندی در سواحل جنوبی دریای خزر کاهش پیدا خواهند نمود. مقدار کاهش در منطقه آستارا و دامنه های شرقی ارتفاعات تالش بین ۲۰ تا ۴۰ میلی متر، در منطقه انزلی و رشت و ارتفاعات البرز غربی تا ۱۰۰ میلی متر، در منطقه نوشهر-چالوس و دامنه شمالی البرز مرکزی حدود ۱۰۰ میلی متر، در منطقه بابلسر، قائمشهر و ساری به ترتیب حدود ۶۰، ۸۰ و ۴۰ میلی متر و در منطقه گرگان حدود ۲۰ میلی متر خواهد بود. نکته جالب توجه شکل یاد شده، افزایش مقادیر بارش منطقه ای (هرچند به شکل محدود)، در بخش هایی از منطقه خزری پس از حذف دریای خزر در فصل بهار می باشد. شاید بتوان افزایش بارش یاد شده در بخش های میانی و همچنین برخی از مناطق خشکی واقع در شمال و شرق این دریا را بدین شکل تبیین نمود که با حذف دریای خزر، دیگر دمای سطح آب دریای خزر (سرمایش سطحی در بهار)، به عنوان یک سازوکار در جهت کاهش بارش منطقه ای عمل نخواهد نمود. شکل ۳-۴ تفاضل گیری بارش های فصلی را برای فصل تابستان نشان می دهد. در این شکل نیز با حذف دریای خزر، بارش به شکل کمربند پیوسته همراه با هسته های کمینه در سواحل جنوبی دریای خزر کاهش یافته است. مقدار بارش در منطقه آستارا و ارتفاعات تالش حدود ۱۰۰ میلی متر، در منطقه رشت و انزلی و ارتفاعات البرز غربی بین ۱۰۰ تا ۱۶۰ میلی متر، در منطقه نوشهر- چالوس ۸۰ میلی متر، در منطقه ساری ۸۰ میلی متر و در منطقه گرگان ۶۰ میلی متر کاهش پیدا نموده است. هسته های کاهشی دیگری نیز در شمال دریای خزر و ارتفاعات قفقاز در غرب دریای خزر مشاهده می شود.



شکل ۳. تفاوت بارش فصلی در منطقه خزری حاصل از تفاضل گیری بارش بین شرایط حذف دریای خزر و شرایط مرجع. شکل ها با متوسط گیری مجموع بارش فصلی برای یک دوره سه سال (۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵) تهیه شده اند. (a) پاییز، (b) زمستان، (c) بهار و (d) تابستان.

به منظور اعتبار سنجی مقادیر بارش شبیه سازی شده توسط مدل RegCM4، با توجه به نبود داده های رقومی بارش با کیفیت و ارزش بالا از منطقه مورد مطالعه، از داده های بارش ایستگاهی (داده های نقطه ای) برای انجام اعتبار سنجی استفاده شد. به همین جهت داده های بارش خروجی مدل در نزدیک ترین شبکه به ایستگاه سینوپتیک رشت با داده های بارش ماهانه به ثبت رسیده در ایستگاه رشت برای سال های شبیه سازی شده (۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵) مقایسه گردید. شکل ۴ مجموع ماهانه بارش در مختصات ایستگاه رشت را برای سه سال یاد شده نشان می دهد. مقایسه دو نمودار بیانگر آن است که به طور کلی مقادیر و روند بارش ماهانه شبیه سازی شده توسط مدل، انطباق خوبی با بارش بوقوع پیوسته در ایستگاه رشت دارد. بطوری که میزان همبستگی داده ها به ۰.۷۵ بالغ می گردد. اگر چه مدل برای ماه های پاییزی (سپتامبر تا نوامبر) و برخی از ماه های بهاری به ترتیب اریب های منفی و مثبت کوچکی را نشان می دهد، اما در کل نتایج قابل قبول بوده و در واقع مدل RegCM4 توانسته است روند و مقدار بارش های ماهانه را به خوبی شبیه سازی نماید (شکل ۴).



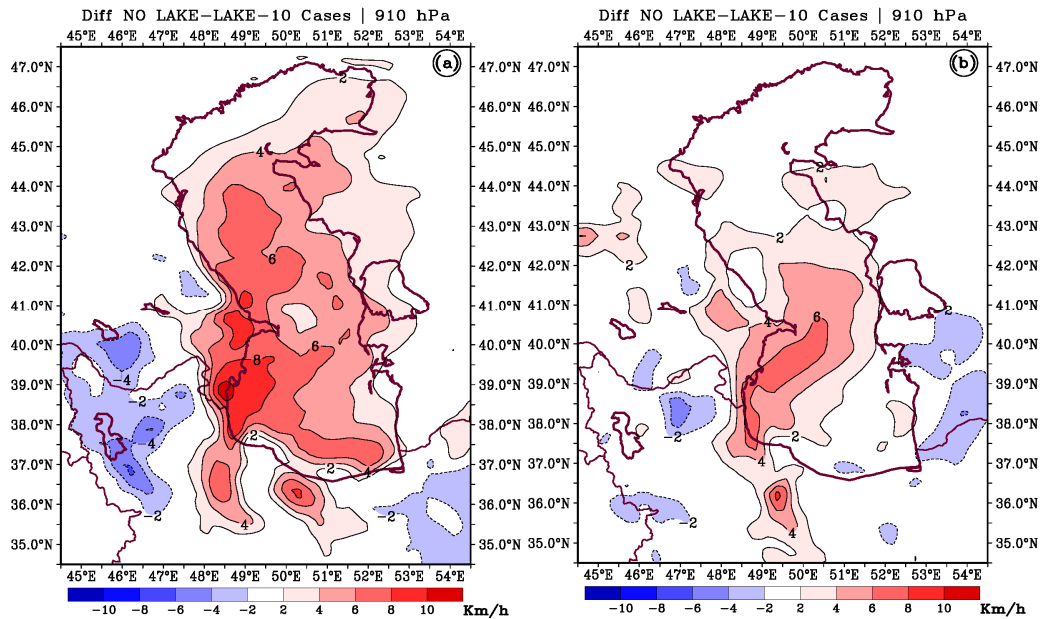
شکل ۴. مجموع بارش ماهانه برآورد شده توسط مدل (خط آبی) و بارش ایستگاه سینوپتیک رشت (خط قرمز) برای دوره مورد مطالعه.

۲-۳ بررسی خصوصیات فیزیکی دریای خزر در زمان وقوع بادهای شمالی شدید و متوسط پاییزه

در این بخش نقش دریای خزر بر بارش های منطقه خزری از طریق مطالعه برخی از متغیرهای فیزیکی مهم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در سرتاسر این بخش خصوصیات فیزیکی دریای خزر و نقش منطقه ای آن با این شروط مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت که، بارش در منطقه خزری به وقوع پیوسته و در عین حال بطور هم زمان بادهای شمالی با شدت های متوسط و یا زیاد بر روی دریای خزر تسلط داشته اند. این معیارها بر این اساس لحاظ گردیده اند که، یک پیکره آبی آن هم در مقیاس زمانی روزانه، عمدتاً از طریق فرارفت افقی هوا مناطق حاشیه ای را از خود متأثر خواهد ساخت. برای این منظور تعداد ۱۰ روز دارای باد شمالی با شدت زیاد و تعداد ۱۰ روز باد شمالی با شدت متوسط از فصل پائیز انتخاب گردیده اند. بدین ترتیب در این بخش، نقشه های حاصل از تفاضل گیری بین شرایط حذف دریا و شرایط مرجع به تفکیک در زمان تسلط بادهای شمالی با شدت زیاد و بادهای شمالی با شدت متوسط برای مؤلفه نصف النهاری باد، دمای سطح زمین، شارگرمای محسوس، تبخیر، نم ویژه و بارش مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

۳-۲-۱- مؤلفه نصف النهاری باد

شکل ۵-۱ وضعیت متوسط مؤلفه نصف النهاری باد را در تراز ۹۱۰ هکتوپاسکال پس از تفاضل گیری شرایط حذف دریا با شرایط مرجع و در حالتی که بر روی منطقه خزری بادهای شمالی شدید غلبه دارند، نشان می دهد. با توجه به شکل، در زمان وقوع بادهای شمالی شدید، با حذف دریای خزر، شدت باد شمالی بطور محسوسی بر روی کل دریا کاهش می یابد (مقادیر مثبت بیانگر تضعیف باد شمالی است). در این رابطه بیشینه کاهش شدت باد در نیمه جنوبی و غربی دریا مشاهده می گردد. بطوری که در منتهی الیه جنوب غربی دریا میزان کاهش شدت باد به ۸ تا ۱۰ کیلومتر در ساعت بالغ می گردد. شکل ۵-۲ وضعیت یاد شده را در زمان وقوع بادهای شمالی با شدت متوسط نشان می دهد. با در نظر گرفتن شکل ۵-۱ و مقایسه آن با شکل ۵-۱، با کاهش شدت باد شمالی میزان نقش و تأثیر منطقه ای دریای خزر نیز کاهش می یابد. به عبارتی میزان نقش و تأثیر منطقه ای دریای خزر تابعی از شدت باد بر روی دریای خزر می باشد. بر این اساس، با حذف دریای خزر در زمان وقوع بادهای شمالی با شدت متوسط، مقادیر عددی ناهنجاری بادهای کمتر بوده و در عین حال بادهای در یک گستره فضایی کوچکتری و محدودتری ناهنجاری را تجربه می کنند. بدین ترتیب دریای خزر در زمان وقوع بادهای شدیدتر نقش منطقه ای بیشتر و گسترده تری در قیاس با زمان وقوع بادهای کم شدت تر دارد. نتیجه کلی این که، هر چقدر شدت باد شمالی در ترازهای زیرین جو بر روی دریای خزر کاهش یابد، میزان تأثیرگذاری منطقه ای دریای خزر نیز کاهش خواهد یافت.



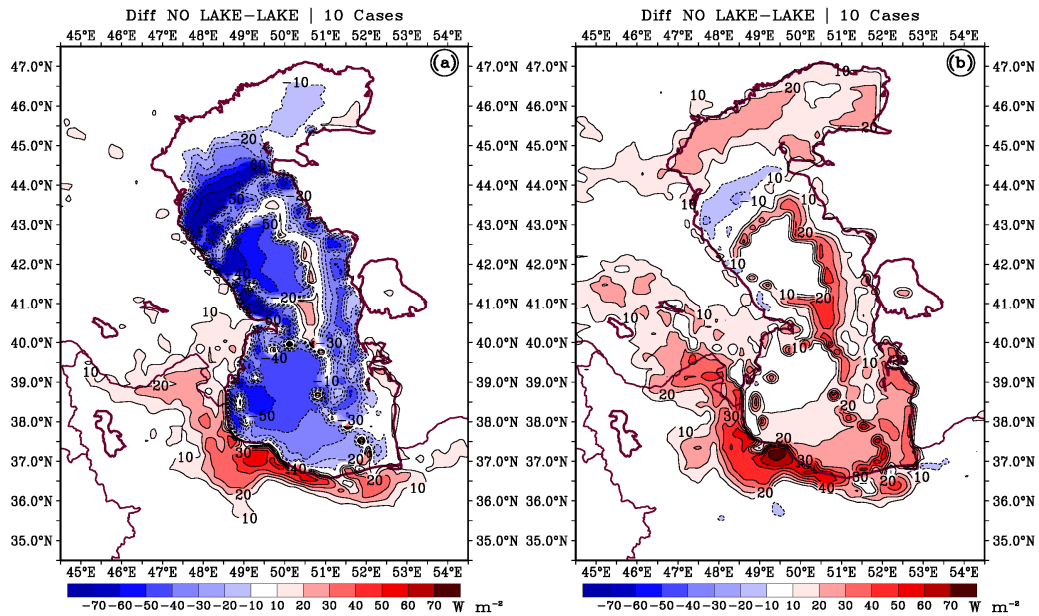
شکل ۵. وضعیت متوسط مؤلفه نصف النهاری باد (کیلومتر در ساعت)، تفاضل گیری شده بین شرایط حذف دریا و شرایط مرجع. (a) وضعیت متوسط در زمان وقوع بادهای شمالی شدید. (b) وضعیت متوسط در زمان وقوع بادهای شمالی با شدت متوسط.

۲-۲-۳ شارگرمای محسوس

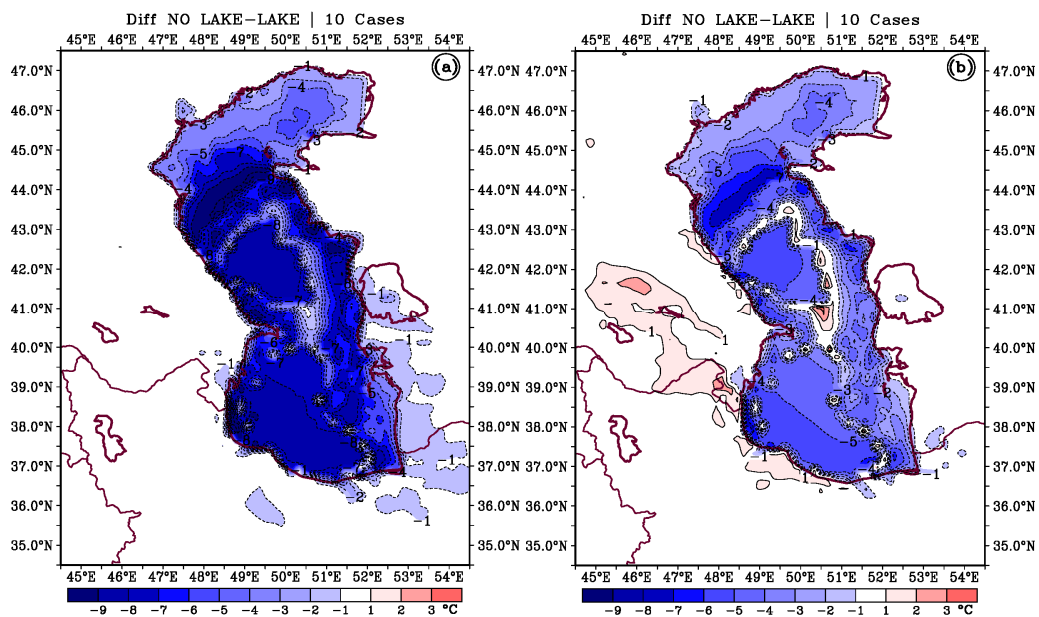
شکل ۶ وضعیت متوسط شارگرمای محسوس حاصل از تفاضل گیری بین شرایط حذف دریای خزر و شرایط مرجع را نشان می دهد. بررسی شکل مبتین آنست که حذف دریای خزر، کاهش چشمگیر مقادیر شارگرمای محسوس بر روی دریا و افزایش قابل ملاحظه آن را بر روی حاشیه جنوبی و جنوب غربی دریا در پی خواهد داشت. مقایسه دو شکل a-۶ و b-۶ نیز که به ترتیب برای بادهای شمالی با شدت زیاد و متوسط تهیه گردیده اند، بیانگر آن است که تغییرات شدت باد شمالی، از طریق تغییر در برهمکنش فیزیکی بین دریا و هوا میزان شار گرمای محسوس را بر روی دریای خزر تغییر خواهد داد. به عبارتی حذف دریای خزر در زمان تسلط بادهای شمالی شدیدتر اثرات منطقه ای گسترده تری را در مقادیر شار گرمای محسوس، در قیاس با زمان تسلط بادهای کم شدت تر، به همراه دارد. به این ترتیب که میزان شارگرمای محسوس در زمان وقوع بادهای شدید بر روی نسبه غربی دریا تا مقدار ۶۰ وات بر متر مربع کاهش و بر روی سواحل جنوب غربی تا حدود ۵۰ وات بر مترمربع افزایش داشته است. در مقابل، حذف دریای خزر همراه با تسلط بادهای شمالی کم شدت تر، موجب افزایش شار گرمای محسوس بر روی کل منطقه، از جمله سطح دریای خزر می گردد. در این شرایط بیشینه گرمایش در ساحل جنوب غربی دریای خزر با بیشینه ۷۰ وات بر متر مربع مشاهده می گردد (شکل ۶-b).

۳-۲-۳ دمای سطح زمین

شکل ۷ وضعیت متوسط دمای سطح زمین حاصل از تفاضل گیری بین شرایط حذف دریای خزر و شرایط مرجع را نشان می دهد. بررسی شکل بیانگر آن است که حذف دریای خزر، کاهش مشخص و چشمگیر میزان دما بر روی دریای خزر را در پی خواهد داشت. مقایسه دو شکل a-۷ و b-۷ نیز که به ترتیب برای بادهای شمالی با شدت زیاد و متوسط تهیه گردیده اند، بیانگر آن است که تغییرات شدت باد شمالی از طریق تغییر در برهمکنش فیزیکی بین دریا و هوا میزان دمای سطحی را بر روی دریا تغییر خواهد داد. به این ترتیب که بخش اعظم دریای خزر در زمان وقوع بادهای شدید، کاهش دمایی بیش از ۷ درجه سانتیگراد را تجربه می کند، در حالی است که در زمان تسلط بادهای کم شدت تر، کاهش عمومی دما بر روی دریا بطور متوسط حدود ۴ درجه سانتیگراد بوده و بیشینه کاهش بر روی دریا به حدود ۷ درجه سانتی گراد بالغ می گردد.



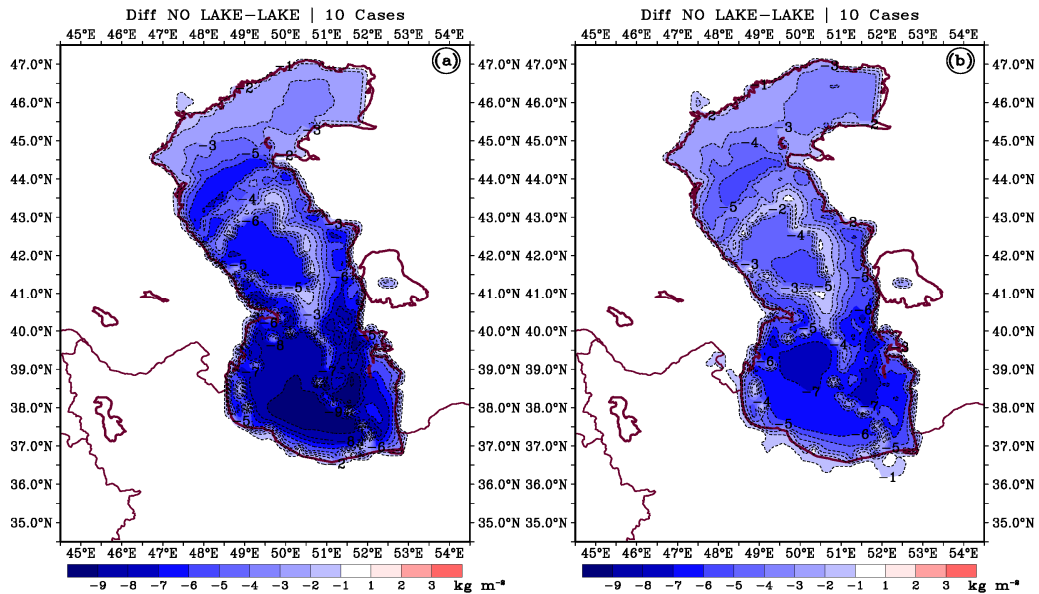
شکل ۶. وضعیت متوسط شارگرماي محسوس (وات بر مترمربع)، تفاضل گيري شده بين شرايط حذف درياي خزر و شرايط مرجع. (a) وضعیت متوسط در زمان وقوع بادهای شمالی شدید. (b) وضعیت متوسط در زمان وقوع بادهای شمالی با شدت متوسط.



شکل ۷. وضعیت متوسط دمای سطح زمین (°C) تفاضل گيري شده بين شرايط حذف درياي خزر و شرايط مرجع. (a) وضعیت متوسط در زمان وقوع بادهای شمالی شدید. (b) وضعیت متوسط در زمان وقوع بادهای شمالی با شدت متوسط.

۳-۲-۳- میزان تبخیر از سطح دریا

شکل ۸ وضعیت متوسط تبخیر از سطح دریا حاصل از تفاضل گيري شده بين شرايط حذف درياي خزر و شرايط مرجع را نشان می دهد. شکل مبین آن است که حذف درياي خزر، کاهش چشمگیر مقدار تبخیر از سطح دریا را در پی خواهد داشت. مقایسه دو شکل a-۸ و b-۸ نیز که به ترتیب برای بادهای شمالی با شدت زیاد و متوسط تهیه گردیده اند، بیانگر آن است که بادهای شمالی شدیدتر در قیاس با بادهای شمالی کم شدت تر به نسبت بیشتری تبخیر از سطح دریا را افزایش می دهند. به همین جهت، پس از حذف درياي خزر، ناهنجاری های منفی مقادیر تبخیر از روی دریا در زمان تسلط بادهای شدید بیشتر از زمان تسلط بادهای کم شدت می باشد. در زمان تسلط بادهای شدید، بیشینه کاهش تبخیر در حوضچه جنوبی خزر حدود ۲ تا ۳ کیلوگرم بر متر مربع بیشتر از زمانی است که بادهای کم شدت بر روی دریا تسلط دارند (شکل a-۸ و b-۸).



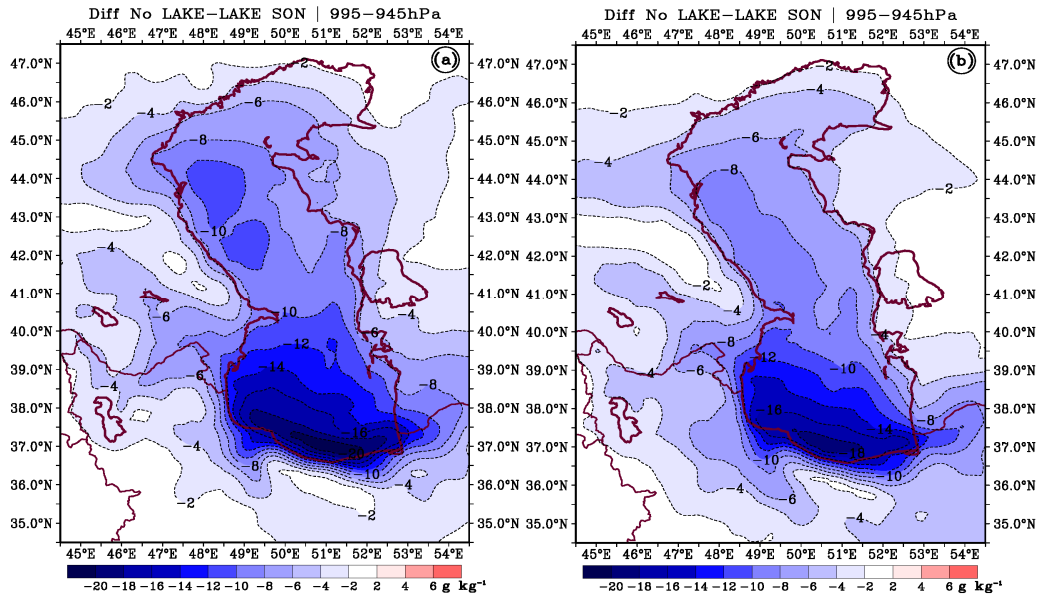
شکل ۸. وضعیت متوسط میزان تبخیر از سطح دریا (کیلوگرم بر مترمربع)، تفاضل گیری شده بین شرایط حذف دریای خزر و شرایط مرجع. (a) وضعیت متوسط در زمان وقوع بادهای شمالی شدید. (b) وضعیت متوسط در زمان وقوع بادهای شمالی با شدت متوسط.

۳-۲-۴- نم ویژه

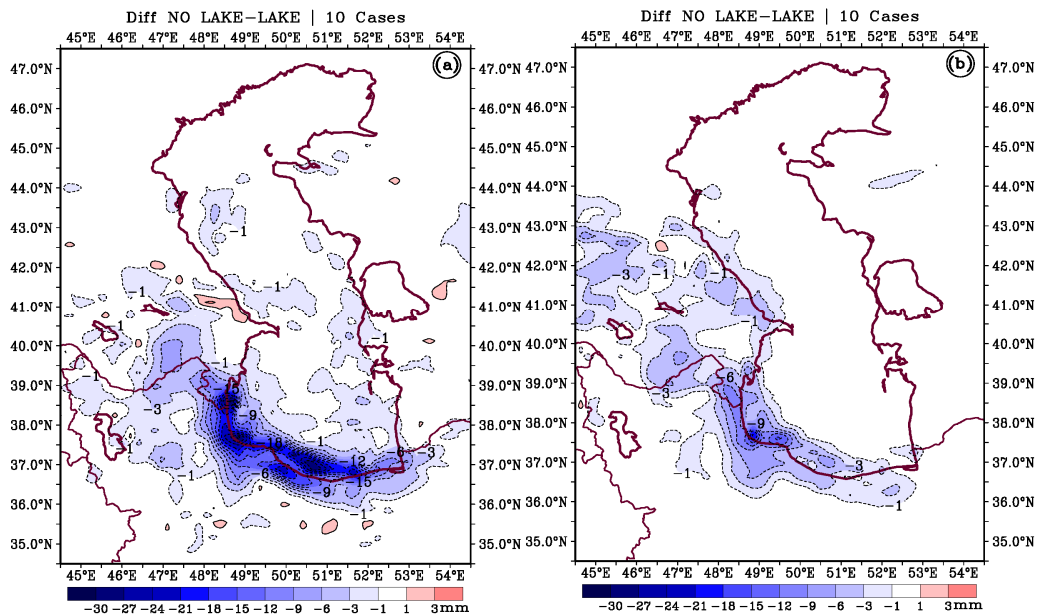
شکل ۹ متوسط نم ویژه حاصل از تفاضل گیری شرایط حذف دریای خزر و شرایط مرجع را در زمان وقوع بادهای شدید و کم شدت نشان می دهد. همچون سایر متغیرهای مورد بررسی، مقادیر متوسط نم ویژه نیز با حذف دریای خزر بر روی دریا و مناطق اطراف آن کاهش یافته است. در قیاس با متغیرهایی چون دما، تبخیر و شار گرمای محسوس، با حذف دریای خزر، نم ویژه در یک محدوده وسیع تر و به شکل گسترده تری کاهش را تجربه می کند. به عبارتی دیگر، در مقایسه با متغیرهای فوق الذکر، نم ویژه در مقیاس افقی گسترده تری از دریای خزر متأثر می گردد. مقایسه شکل ۹ با شکل های ۶، ۷ و ۸ به خوبی مؤید این واقعیت می باشد. در مقابل، تغییرات شدت باد بر روی دریای خزر، در قیاس با سایر متغیرهای مورد مطالعه، تغییرات کوچکتری را در مقادیر نم ویژه و الگوی فضایی توزیع آن موجب می گردد (شکل ۹-ا و ۹-ب).

۳-۲-۵- بارش

شکل ۱۰ وضعیت متوسط بارش حاصل از تفاضل گیری بین شرایط حذف دریای خزر و شرایط مرجع را در زمان وقوع بادهای شمالی شدید و کم شدت نشان می دهد. شکل های ۱۰-ا و ۱۰-ب به وضوح بیانگر آن هستند که مقدار بارش و الگوی فضایی توزیع آن در سواحل جنوبی دریای خزر با تغییرات شدت باد بر روی این دریا در ارتباط است. بطوری که با افزایش شدت باد بر روی دریا، بر شدت و گستردگی وقوع بارش در مناطق واقع در جنوب، جنوب غرب و غرب دریا افزوده می شود. نتیجه کلی آن که، با حذف دریای خزر یک کاهش عمومی در مقادیر بارش مناطق واقع در قطاع های جنوبی و غربی دریا بوقوع خواهد پیوست. بیشینه کاهش در سواحل جنوبی دریای خزر و در حدفاصل سواحل مرکزی مازندران تا آستارا مشاهده می گردد.



شکل ۹. وضعیت متوسط نم ویژه تفاضل گیری شده بین شرایط حذف دریای خزر و شرایط مرجع. (a) وضعیت متوسط نم ویژه در زمان وقوع بادهای شمالی شدید. (b) وضعیت متوسط نم ویژه در زمان وقوع بادهای شمالی با شدت متوسط.



شکل ۱۰. وضعیت متوسط بارش تفاضل گیری شده بین شرایط حذف دریا و شرایط مرجع. (a) وضعیت متوسط بارش در زمان وقوع بادهای شمالی شدید. (b) وضعیت متوسط بارش در زمان وقوع بادهای شمالی با شدت متوسط.

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه نحوه تأثیر دریای خزر بر بارش های منطقه ای با استفاده از مدل اقلیمی RegCM4 جفت شده با مدل دریاچه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی انجام شده نتایج زیر را در پی داشته است:

- یافته های مدل سازی بارش فصلی برای سواحل جنوبی دریای خزر نشان می دهد که با تفاضل گیری شرایط حذف دریای خزر از شرایط مرجع، بارش به شکل کمربند پیوسته ای در تمامی مناطق واقع در حاشیه جنوبی دریای خزر از آستارا تا شرق گرگان و ارتفاعات تالش و البرز کاهش پیدا می کند. همچنین نتایج تحقیق بیانگر آن است که وجود دریای خزر بیش از هر جایی بر ویژگی های بارشی سواحل جنوبی آن تأثیر گذار می باشد، چرا که بیشترین میزان کاهش بارش پس از حذف دریای خزر مربوط به ساحل جنوبی آن است. همچنین میزان تأثیر گذاری دریای خزر بنا به فصل سال متفاوت خواهد بود. نتایج تحقیق بیانگر آن است که دریای خزر بیشترین میزان تأثیر منطقه ای خود را به ترتیب در فصول پائیز و زمستان بر مناطق اطراف خود بر جای می گذارد. در مقابل، نقش منطقه ای دریای خزر در فصل بهار و تابستان به حداقل میزان خود می رسد.

در عین حال، در صورت حذف دریای خزر مناطق واقع در محدوده سواحل جنوب غرب و جنوب دریا بیش از هر جای دیگر با کاهش بارش مواجه خواهند شد.

- یافته های تحقیق همچنین مبتنی آن است که، مناطق واقع در جانب شمالی و شرقی دریای خزر، برخلاف انتظار، تفاوت محسوس و قابل ذکری را در صورت حذف دریای خزر در بارش های خود تجربه نخواهند نمود. الگوی یاد شده می تواند نقش بسیار مهم جریانات شمال-شمال شرقی در وقوع بارش های پاییزی منطقه خزری را بازگو نماید.

- به منظور اعتبار سنجی نتایج مدل سازی، بارش ماهانه ایستگاه رشت با بارش خروجی مدل مقایسه شد. نتایج نشان دهنده آن است که به طور کلی مدل روند بارش های ماهانه را به خوبی شبیه سازی نموده است. همچنین مدل در شبیه سازی بارش های فصول پاییز، زمستان و تابستان موفق عمل کرده است. اگر چه در برآورد بارش های فصل بهار (مارس، آوریل و می) موفق نبوده و مقادیر بارش ماه های بهاری را بیش از اندازه واقعی شبیه سازی نموده است.

- نتایج شبیه سازی انجام شده بیانگر آن است که بارش و توزیع فضایی آن در منطقه خزری بطور آشکاری از وضعیت جریان هوا بر روی دریای خزر تبعیت می نماید. نتایج بررسی خصوصیات فیزیکی دریای خزر در زمان وقوع بادهای شدید و متوسط پاییزه نشان می دهد که تغییرات شدت باد شمالی از طریق تغییر در برهمکنش فیزیکی بین دریا و هوا میزان نقش و تاثیر فیزیکی دریای خزر را تغییر خواهد داد. به عبارتی حذف دریای خزر در زمان تسلط بادهای شمالی شدید، اثرات منطقه ای گسترده تری را در قیاس با زمان تسلط بادهای کم شدت تر به همراه خواهد داشت. یافته نشان دهنده آن است که، حذف دریای خزر، با کاهش شدت باد شمالی، شارگرمای محسوس، دمای سطح زمین، تبخیر از سطح دریا، و در نهایت کاهش مقادیر نم ویژه و بارش همراه خواهد بود. نتیجه کلی این که هر چقدر شدت باد شمالی در ترازهای زیرین جو بر روی دریای خزر کاهش یابد، میزان تاثیر گذاری منطقه ای دریای خزر نیز کاهش خواهد یافت.

منابع

- [1]- مفیدی، ع.، زرین، آ.، و جانبازقبادی، غ.، ۱۳۸۶، تعیین الگوی همدیدی بارش های شدیدوحدی پائیزه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۳(۳)، ۱۵۴-۱۳۱
- [2]- مفیدی، ع.، زرین، آ.، و جانبازقبادی، غ.، ۱۳۹۱، تبیین علل کاهش یافتن مقدار و شدت بارش های زمستانه در قیاس با بارش های پائیزه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۸(۱)، ۲۰۳-۱۷۷.
- [3]- خلیلی، ع.، ۱۳۵۰، منشاء بارندگی کرانه های خزری، نیوار، شماره فروردین، ۳۹-۴۶.
- [4]- علیچانی، ب.، ۱۳۷۲، مکانیزم صعود و بارندگی ایران، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تربیت معلم، دوره جدید(۱)، ۱۰۱-۸۵.
- [5]- سلطانزاده، ا.، احمدی گیوی، ف.، و ایران نژاد، پ.، ۱۳۸۶، بررسی سه ماه تاثیر رشته کوههای زاگرس بر جریان های میان مقیاس منطقه شرق زاگرس با استفاده از مدل منطقه RegCM، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۳(۱)، ۵۰-۳۱.
- [6]-Bozkurt., D., Lutfi sen., D., 2001, Precipitation in the Anatolian peninsula: Sensivity to increased sst in the surrounding seas. *Climate Dyn.*, **36**, 711-726.
- [7]- بابائیان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر.، و نوخندان، م.، ۱۳۸۶، شبیه سازی بارش ماههای سرد سال ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3، جغرافیا و توسعه، ۵۵، ۷۲-۵۵.
- [8]- قشقائی، ق.، ۱۳۷۵، بررسی اثر فرابار سبیری بر بارش های پائیزی سواحل جنوبی خزر، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم.
- [9]- خوشحال دستجردی، ج.، ۱۳۷۶، تحلیل و ارائه مدل های سینوپتیک کلیما تولوژی برای بارش های بیش از صد میلیمتر در سواحل جنوبی دریای خزر، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [10]- یوسفی، ح.، ۱۳۸۲، زمانبندی ورود پرفشار سبیری به سواحل جنوبی دریای خزر و تأثیر سینوپتیک آن بر بارش های پائیزی منطقه، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (گرایش اقلیم شناسی)، دانشگاه تهران.
- [11]- مرادی، ح.، ۱۳۸۳، نقش دریای خزر در شرایط بارشی سواحل شمال کشور، مجله علوم و فنون دریایی ایران، دوره دوم ۳-۲، ۸۸-۷۷.
- [12]- جانبازقبادی، غ.، مفیدی، ع.، و زرین، آ.، ۱۳۹۰، شناسایی الگوهای همدید بارش های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای خزر، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۲(۲)، ۴۰-۲۳.
- [13]-Vavrus, S., Notaro, M., and Zarrin, A., 2013b, The Role of Ice Cover in Heavy Lake-Effect Snowstorms over the Great Lakes Basin as Simulated by RegCM4. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 148-165. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/MWR-D-12-00107.1>
- [14]-Notaro, M., Holman, K., Zarrin, A., Fluck, E., Vavrus, E., and Bennington, V., 2013a, Influence of the

- Laurentian Great Lakes on Regional Climate, *J. Climate*, **26**, 789–804. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00140.1>
- [15]-Notaro, M., Zarrin, A., Vavrus, E., and Bennington, V., 2013b, Simulation of Heavy Lake-Effect Snowstorms across the Great Lakes Basin by RegCM4: Synoptic Climatology and Variability, *Mon. Wea. Rev.*, Published online, doi: <http://dx.doi.org/10.1175/MWR-D-11-00369.1>
- [16]-Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., and Joseph, D., 1996, The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- [17]- [براتی، غ.، عاشوری، ف.، ۱۳۸۶، طراحی الگوهای همدیدی شدیدترین بادهای کرانه های جنوبی دریای خزر (سال های ۶۸-۱۳۶۶)، پژوهش های جغرافیایی، ۶۲، ۸۰-۶۲.
- [18]- Hostetler, S.W., and Bartlein, P.J., 1990, Simulation of lake evaporation with application to modeling lake level variations of Harney-Malheur Lake, Oregon, *Water Resour. Res.*, **26**, 2603-2612.
- [19]- Hostetler, S.W., Bates, G.T., and Giorgi, F., 1993, Interactive coupling of a lake thermal model with a regional climate model, *J. Geophys. Res.* **98**, 5045-5057.
- [20]- Small, E., Sloan, L.C., Hostetler, S., and Giorgi, F., 1999, Simulating the water balance of the Aral Sea with a coupled regional climate-lake model, *J. Geophys. Res.*, **104** (D6), 6583-6602.

Simulating the role of Caspian Sea on the occurrence of regional scale precipitation using a regional climate model (RegCM4) coupled with a Lake model

Abbas Mofidi¹, Meysam Karkhaneh², Azar Zarrin³

1- Assistant Professor of Climatology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

E-mail: abbasmofidi@um.ac.ir

2- MA. in Climatology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

E-mail: meysamkarkhaneh@gmail.com

3- Assistant Professor of Climatology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

E-mail: zarrin@um.ac.ir

Abstract

The main purpose of this research is to study the role of Caspian Sea on the rainfall occurrence in southern coast of the Caspian Sea. The ICTP Regional Climate Model (RegCM4) coupled with a Lake model was used to investigate the role of Caspian Sea in regional scale. The NCEP/NCAR reanalysis data-set were used as the initial and lateral boundary conditions and the eliminated Caspian Sea condition was compared with the control run for 2003-2005. The result indicate that changing the rainfall amount in southern coast of Caspian Sea generally related to the intensity of northerly wind blowing over the Caspian Sea. The simulation indicates that by eliminating Caspian Sea, most of the rainfall changes would occur in southern coast of Caspian Sea. The role of Caspian Sea is different according to season and the most regional effect of Caspian Sea is observed in autumn and winter and lower effects is shown in spring. However, by eliminating the Caspian Sea, the most rainfall reduction occurs in southwestern to southern parts of the Caspian Sea. The findings also indicate that Caspian Sea will play a more effective and widespread role when the wind blows more strongly compared to the time when it blows with a less intensity. Eliminating the Caspian Sea, ascending air significantly decreases by increasing the surface drag and decreasing the wind velocity in the southern coastlines. This mechanism would accompany with the evaporation amount reduction, decreasing moisture transport from sea surface and decrease of rainfall in the farthestmost south regions of the sea. However, RegCM4 model faced a challenge in enhancing the amount and spatial distribution of spring precipitation over the area, even though; the results are acceptable and reliable for all other seasons.

Key words: Caspian Sea, Precipitation, RegCM4, Lake Model, Simulation.