

مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق) // دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸ / ص ۴۲۱-۳۹۵
DOI: 10.22059/jhsci.2020.297979.540

دورنمای تغییرات نمایه‌های بارش سواحل جنوبی دریای خزر در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ برای کاهش مخاطرات

حدیث صادقی (hadis.sadeghi@ut.ac.ir)

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
حسین محمدی*

استاد آب‌وهواشناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

علی اکبر شمسی‌پور (shamsipr@ut.ac.ir)

دانشیار آب‌وهواشناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

سعید بازگیر (sbazgeer@ut.ac.ir)

استادیار هواشناسی کشاورزی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

مصطفی کریمی احمدآباد (mostafakarimi.a@ut.ac.ir)

استادیار آب‌وهواشناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

سعید صوفی‌زاده (s_soufizadeh@sbu.ac.ir)

استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۱۱/۲۷ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۸/۱۲/۲۸)

چکیده

بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر چرخه هیدرولوژیکی، تحت تأثیر تغییر اقلیم است و می‌تواند سبب بروز شرایط جدیدی در منابع آب شود. از این‌رو شبیه‌سازی متغیر بارش به‌خصوص برای آینده می‌تواند در برنامه‌ریزی در زمینه مدیریت منابع آب بسیار بااهمیت باشد. در پژوهش حاضر برای پیش و شبیه‌سازی شرایط بارش آینده در سواحل جنوبی دریای خزر (استان‌های گیلان و مازندران) ابتدا داده‌های روزانه هفت ایستگاه همدید آستارا، بندرانزلی، رشت، رامسر، بابلسر، قراخیل و نوشهر برای دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۶ به‌عنوان دوره پایه از سازمان هواشناسی و داده‌های روزانه مدل CanECM2 با سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 از وبگاه مرکز تحلیل و مدل‌سازی اقلیمی کانادا دریافت شد. برای شبیه‌سازی بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM استفاده شد. پس از تأیید کارایی مدل، مقادیر بارش برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) شبیه‌سازی شد. سپس نمایه‌های حدی شدت، مدت و فراوانی بارش برای دوره‌های پایه و آینده محاسبه شد. نتایج هر سه سناریو نشان داد که مجموع بارش سالانه در منطقه تحقیق به‌طور متوسط بین ۲۰ تا ۷۰ میلی‌متر نسبت به دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) افزایش می‌یابد. همچنین نتایج تحلیل نمایه‌های حدی بارش در دوره پایه و آینده نشان‌دهنده افزایش بارش‌های بیش از ۱ میلی‌متر در همه ایستگاه‌های تحت مطالعه و افزایش بارش‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر در بیشتر ایستگاه‌های تحت مطالعه (به‌جز بابلسر و قراخیل) در دوره آینده نسبت به دوره پایه است. اما بارش‌های بیش از ۲۰ میلی‌متر در دوره آینده مشابه دوره پایه بوده و به‌نظر می‌رسد که تغییر چندانی نداشته است. همچنین نتایج حاکی از کاهش روزهای خیلی مرطوب و بی‌نهایت مرطوب در ایستگاه‌های رامسر و نوشهر و افزایش آن در بخش‌های غربی و شرقی نسبت به دوره پایه بود. افزون‌بر این، نتایج حاکی از کاهش طول دوره خشک در دوره آینده نسبت به دوره پایه بود. مقادیر بارش حدی زیادی برای منطقه پیش‌بینی می‌شود، به‌طوری که سبب افزایش متوسط بارش سالانه منطقه خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: سواحل جنوبی دریای خزر، سناریوهای انتشار، سناریوی اقلیمی، مدل‌سازی، نمایه‌های حدی بارش، SDSM

Email: hmmohammadi@ut.ac.ir

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۸۴۹۷۶۷

مقدمه

کنفرانس پاریس در دسامبر ۲۰۱۵ در چارچوب کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل برای کاهش متوسط دمای جهانی تا زیر ۲ درجه سلسیوس امیدی را در جهان ایجاد کرد، اما تحقیقات نشان داد که تعهدات فعلی برای دستیابی به این هدف کافی نیست. در همین زمینه روزلی [۳۳] برآورد کرد که با تعهدات فعلی در توافقنامه پاریس ۱۰ درصد احتمال دارد که متوسط دمای جهانی بیش از ۳/۹ درجه سلسیوس شود [۳۹، ۳۰، ۲۳]. بررسی تحقیقات و گزارش‌های علمی نشان می‌دهد که فراوانی و شدت رویدادهای حدی اقلیمی در مقیاس جهانی افزایش یافته است [۱۸]. گزارش ویژه رویدادهای حدی IPCC (۲۰۱۲) و گزارش پنجم IPCC (۲۰۱۴) نیز افزایش رویدادهای حدی را در بخش گسترده‌ای از کره زمین تأیید کرد [۳۷]. تغییرات در دما موجب بروز نوسانات در رطوبت جوی، بارش و گردش سامانه‌های جوی می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که در نتیجه افزایش دما ظرفیت نگهداشت رطوبت جو تا ۷ درصد افزایش یافته است که منجر به افزایش حدی‌های بارش (مانند مقدار، فراوانی و شدت) و نیز تغییر در چرخه هیدرولوژی می‌شود [۲۹، ۲۶، ۲۴]. به‌واسطه نوسانات در گردش جوی و تعادل انرژی انتظار می‌رود که متوسط بارش جهانی به‌طور متوسط ۱ تا ۳ درصد و شدت بارش در حدود ۷ درصد به‌ازای هر ۱ درجه سلسیوس افزایش متوسط دمای جهانی افزایش یابد [۳۶]. در مقایسه با متوسط بارش، نوسانات در حدی‌های بارش بیشتر مورد توجه است [۲۶]. براساس پژوهش‌های انجام‌گرفته انتظار می‌رود که الگوهای زمانی و مکانی رویدادهای حدی بارشی به‌دلیل افزایش سرعت چرخه آبی برای انجام دادن مطالعات رویدادهای حدی اقلیمی در چارچوب فعالیت‌های سازمان جهانی هواشناسی در قالب پروژه مشترکی بین کمیسیون اقلیم‌شناسی [CCL]، سازمان بررسی تغییرپذیری و پیش‌بینی‌پذیری اقلیم [CLIVAR] و برنامه تحقیقات جهانی [WCRP] ۲۷ نمایه حدی اقلیمی معرفی شد [۳۴]. تاکنون مطالعات بسیاری به ارزیابی تغییرات در الگوهای بارشی و رویدادهای بارشی حدی تحت سناریوهای مختلف گرمایش جهانی پرداخته‌اند که به برخی از آنها اشاره می‌شود. کوپر [۲۱] رویداد بارش‌های سنگین را در بانکوک در دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۰) و دوره آینده (۲۰۷۰-۲۰۹۸) بررسی کرد و به این نتیجه رسید که بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به‌طور متوسط ۱۰۰ درصد در سراسر استان پاتوم تیان در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. سانگ و همکاران [۳۸] رویدادهای حدی بارش را در کره جنوبی برای دوره آینده (۲۰۷۰-۲۰۹۹) با استفاده از سناریوی RCP8.5^۱ بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که

1. Representative Concentration Pathway

فراوانی و شدت بارش‌های حدی در دوره آینده افزایش می‌یابد. میهره و همکاران [۲۹] در پژوهشی، فراوانی و شدت بارش‌های حدی تحت تأثیر گرمایش جهانی را بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که اگر روند فعلی ادامه یابد، شدت بارش‌های سنگین به‌ویژه در سراسر اروپا دوبرابر می‌شود. آدری و همکاران [۱۴] نمایه‌های حدی اقلیمی را در حوضه کومادوگو-یوب برای دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۱۷) و دوره آینده (۲۰۹۰-۲۰۶۰) بررسی کردند. نتایج آنها بیانگر روند مثبت نمایه‌های دمای حدی و نمایه‌های حدی فراوانی بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه بود. همچنین گویال و همکاران [۲۵] با استفاده از مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم تحت سناریوهای RCP به شبیه‌سازی تغییرات بارش روزانه برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۶ پرداختند که نتایج آنها حاکی از افزایش بارش و رویدادهای حدی بارش (شدت، روزهای مرطوب، روزهای با بارش سنگین و خیلی سنگین) در سراسر ایالت سیکیم هند در دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۶ بود. میتی و همکاران [۲۸] با استفاده از داده‌های مدل Hadcm3 اثر تغییر اقلیم بر الگوی جریان‌های حدی روزانه را برای دوره آینده (۲۰۳۵-۲۰۰۶) نسبت به دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) بررسی کردند و یافته‌هایشان حاکی از افزایش حجم جریان‌های ماهانه در دوره آینده در مقایسه با دوره پایه بود. در مقابل برخی از پژوهش‌ها به کاهش بارش و افزایش دوره‌های خشک تأکید داشته‌اند برای نمونه آدری و همکاران [۱۵] و ابیودون و همکاران [۱۳] تأثیر تغییر اقلیم را بر رویدادهای بارشی حدی در شهرهای ساحلی آفریقا تحت سناریوهای انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 بررسی کردند. آنها گزارش کردند که در دوره آینده (۲۰۶۵-۲۰۳۱) دوره‌های خشک افزایش و دوره‌های مرطوب کاهش می‌یابد. در ایران نیز، مظفری و همکاران [۱۲] نمایه‌های فرین دما و بارش را برای دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در تربت حیدریه بررسی کردند و نشان دادند که میانگین بارش پنج‌روزه و شدت بارش در طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوی A2 افزایش می‌یابد. خورشیددوست و همکاران [۶] در پژوهشی مقادیر بارش‌های نواحی خزری را با استفاده از داده‌های مدل Hadcm3 برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ شبیه‌سازی کردند که نتایج آنها حاکی از کاهش مجموع بارش سالانه در ایستگاه‌های انزلی، بابلسر، گرگان و نوشهر و افزایش آن در ایستگاه‌های آستارا، رامسر و رشت بود. به‌طور کلی بررسی مطالعات و گزارش‌های علمی نشان می‌دهد که اقلیم و نیز الگوی بارشی در سراسر جهان در حال تغییر است که این موضوع نیازمند توجه و بررسی بیشتر است. با توجه به اینکه مناطق ساحلی اهمیت اقتصادی، کشاورزی دارند و به‌ویژه در معرض تأثیرات تغییرات اقلیمی مانند سیلاب، توفان‌های برفی و امواج گرمایی هستند؛ در این پژوهش سعی شده است چشم‌اندازی از وضعیت مقدار بارش و تغییرات رویدادهای بارش در استان‌های گیلان و مازندران برای دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) ارائه شود.

داده و روش

در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه تحت مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده نشان داده شده است. برای شبیه‌سازی تغییرات بارش در دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) در مقیاسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM نسخه ۵/۳ استفاده شد. در این پژوهش از داده‌های روزانه بارش هفت ایستگاه همدید مطالعاتی برای دوره پایه، داده‌های بازتحلیل جو [NCEP] با عنوان پیش‌بینی‌کننده مشاهداتی و داده‌های مدل گردش عمومی جو CanECM2 در سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 با عنوان پیش‌بینی‌کننده بزرگ‌مقیاس استفاده شد. پس از کنترل کیفی داده‌ها، پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس داده‌های بازتحلیل‌شده جو با توجه به مقادیر ضریب همبستگی پیرسون، ضرایب همبستگی جزئی و درصد کاهش همبستگی جزئی انتخاب شدند. متغیرهای دارای بیشترین همبستگی و کمترین درصد کاهش همبستگی جزئی انتخاب شدند. در مرحله بعد به منظور اطمینان از پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب دوره زمانی پانزده‌ساله ۲۰۰۰-۱۹۸۶ برای واسنجی و دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۱ برای اعتبارسنجی نتایج انتخاب شد. عامل تورم واریانس، واریانس در مقدار بارش ریزمقیاس نمایی‌شده را تغییر می‌دهد تا بیشتر به مقدار مشاهداتی نزدیک باشد. در این پژوهش مقدار تورم واریانس ۱۰ و مقدار تصحیح اریبی ۱ محاسبه شد. همچنین در این مرحله به منظور بررسی کارایی مدل از آزمون ناپارامتری ویلکاکسون و نمایه‌های خطاسنجی ضریب جرمی خطا (رابطه ۱) و میانگین ریشه مربعات خطا (رابطه ۲) و همچنین ضریب توافق (رابطه ۳) استفاده شد. آزمون ویلکاکسون از بهترین آزمون‌های ناپارامتری برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت متغیرهای اقلیمی ریزمقیاس‌شده توسط سناریوهای مدل‌های پیش‌بینی‌کننده گردش عمومی جو است. این آزمون برای ارزیابی همانندی دو نمونه وابسته به کار می‌رود. چنانچه مقدار p-value کمتر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر برابری میانگین‌ها رد می‌شود [۳۲].

$$CRM=1 - \frac{\sum_{i=1}^n Si}{\sum_{i=1}^n Oi} \quad (1)$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

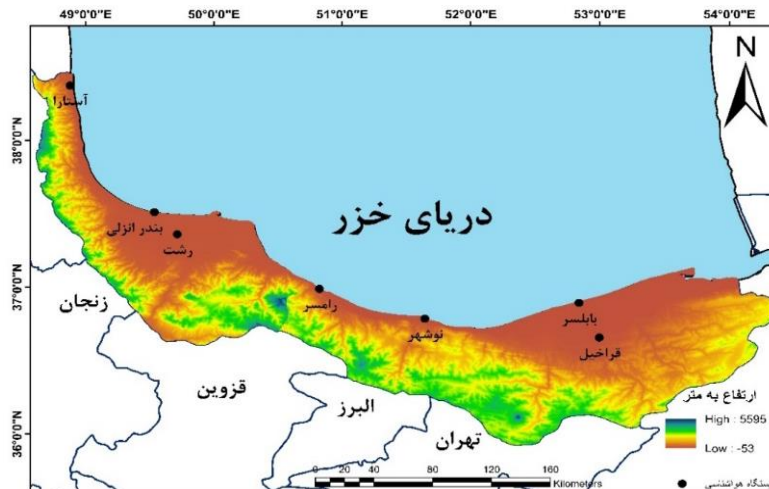
$$d = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (|Si - \bar{O}| + |Oi - \bar{O}|)^2} \quad (3)$$

در این روابط Si مقادیر شبیه‌سازی، Oi مقادیر مشاهده، \bar{O} میانگین داده مشاهده‌شده و n تعداد مشاهدات است. هرچه مقدار CRM به سمت مثبت رود، نشان‌دهنده این است که متغیر

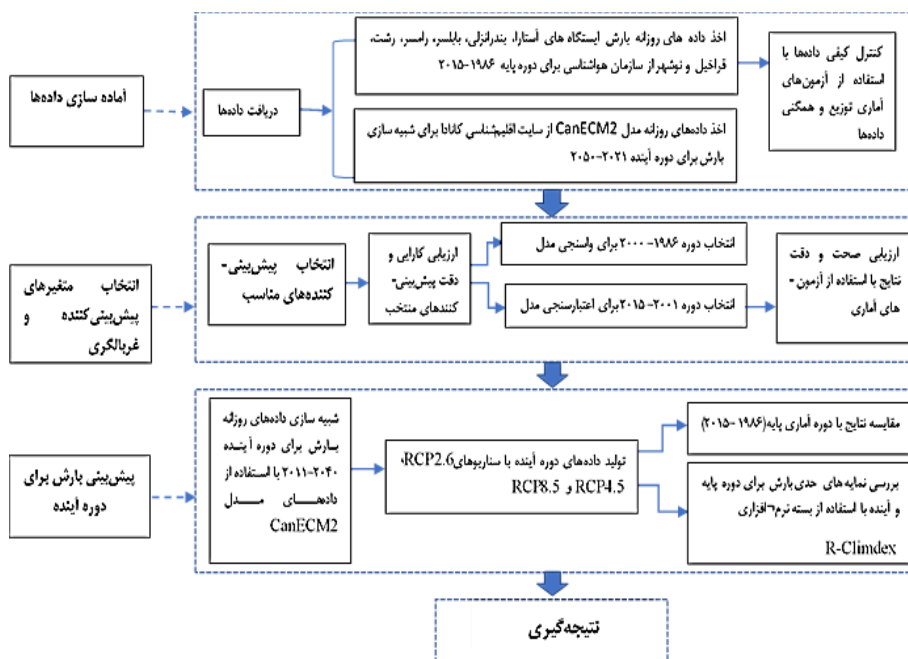
بررسی شده، کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است و برعکس [۱۰]. همچنین هرچه مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطا کمتر باشد، دقت مدل بیشتر است. پس از اینکه واسنجی و اعتبارسنجی مدل به دست آمد و از کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی داده بارش اطمینان حاصل شد، ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش با استفاده از داده‌های مدل CanECM2 با سه سناریوی انتشار RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آینده انجام گرفت. سپس با هدف بررسی شدت، مدت و فراوانی بارش در دوره‌های پایه و آینده از ۹ نمایه حدی معرفی شده توسط گروه CCL/CLVAR استفاده شد. در این پژوهش برای بررسی نمایه‌های فراوانی روزهای بالای آستانه معین از دو نمایه حدی R10, R20، برای بررسی شدت بارش از نمایه‌های R95 و R99، Rx1day، Rx5day، PRCPTOT و CDD و CWD استفاده شد. نمایه‌های حدی مذکور توسط بسته نرم‌افزاری RCLimDex1.0 محاسبه شد (جدول ۱). در شکل ۲ روش‌شناسی پژوهش نشان داده شده است.

جدول ۱. نمایه‌های حدی منتخب برای تحلیل فرین‌های بارش [۳]

ردیف	نام نمایه	تعریف نمایه	واحد
۱	CDD	روزهای خشک متوالی	تعداد روزهای متوالی دارای بارش کمتر از ۱ میلی‌متر
۲	CWD	روزهای مرطوب متوالی	تعداد روزهای متوالی دارای بارش ۱ میلی‌متر و بیشتر
۳	R10	تعداد روزهای دارای بارش سنگین	تعداد روزهای دارای بارش ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در سال
۴	R20	تعداد روزهای دارای بارش خیلی سنگین	تعداد روزهای دارای بارش ۲۰ میلی‌متر و بیشتر در سال
۵	PRCPTOT	مجموع سالانه بارش روزهای مرطوب	مجموع بارش سالانه در روزهای مرطوب (بارش ۱ میلی‌متر و بیشتر)
۶	R95p	روزهای خیلی مرطوب	مجموع بارش سالانه بیش از صدک ۹۵ ام
۷	R99p	روزهای بی‌نهایت مرطوب	مجموع بارش سالانه بیش از صدک ۹۹ ام
۸	Rx1day	حداکثر بارش روزانه	حداکثر بارش روزانه در ماه
۹	Rx5day	حداکثر بارش ۵ روز متوالی	حداکثر بارش ۵ روز متوالی در ماه



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق و ایستگاه‌های هواشناسی



شکل ۲. روندنمای گرافیکی روش شناسی پژوهش

نتایج و بحث

کنترل کیفیت و انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده

با توجه به مقادیر چولگی و کشیدگی و نتایج آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک مشخص شد که توزیع داده‌های بارش تنها در ایستگاه بندرانزلی نرمال نیست. از این‌رو به‌علت تغییرپذیری و ناهنجاری زمانی متغیر بارش و مشکل بودن ایجاد معادله رگرسیون چندگانه به‌واسطه رفتار شرطی آن، در این پژوهش در همه ایستگاه‌های بررسی‌شده برای داده‌های بارش از تبدیل ریشه چهارم در فرایند ریزمقیاس‌نمایی استفاده شد. پس از کنترل کیفی، بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های داده‌های باز تحلیل NCEP که بیشترین همبستگی را با داده‌های بارش ایستگاه‌های بررسی‌شده داشتند، انتخاب و بررسی شدند. نتایج نشان داد که از میان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP متغیرهای متوسط فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت ویژه در ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال واگرایی سطحی و واگرایی در تراز فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال همبستگی خوبی با متغیر بارش داشتند (جدول ۳). با توجه به جدول مقادیر همبستگی مطلق و جزئی بین پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب با متغیر بارش اندک است که علت آن، رفتار شرطی و ناهنجاری و تغییرپذیری و گسسته بودن متغیر بارش است. از سوی دیگر متغیر بارش تحت تأثیر عوامل مختلف محلی است و از این‌رو متغیر بارش همواره به متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مانند میانگین فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل در مقیاس ناحیه‌ای وابسته است.

جدول ۲. ویژگی‌های آماری ایستگاه‌های تحت مطالعه

ایستگاه	واریانس	چولگی	کشیدگی	میانگین	آزمون کولموگروف-اسمیرنوف		آزمون شاپیرو-ویلک	
					P-Value	Z	P-Value	Z
آستارا	۴۴۴۷۹/۶	۰/۷۶۵	۰/۷۵۵	۱۳۶۰	۰/۱۱۲	۰/۲۰۰	۰/۹۵۳	۰/۲۰۲
بابلسر	۳۴۷۷۳/۱	-۰/۰۶۲	-۰/۲۷۲	۹۲۹	۰/۰۸۱	۰/۲۰۰	۰/۹۹۰	۰/۹۹۳
بندر انزلی	۱۰۴۳۶۷/۵	۲	۴/۹	۴۳۳	۰/۱۲۹	۰/۰۲	۰/۸۷۹	۰/۰۰۳
رامسر	۱۰۶۱۰۴/۹	۰/۵۴۳	-۰/۸۳۳	۱۲۲۸	۰/۱۴۷	۰/۰۹۷	۰/۹۳۰	۰/۰۵۱
رشت	۶۰۵۹۵/۷	۰/۴۴۵	۰/۲۶۳	۱۳۲۹	۰/۱۱۸	۰/۲۰۰	۰/۹۶۹	۰/۵۱۴
قراخیل	۴۱۴۹/۴	۰/۰۱۰	-۰/۸۱۳	۷۲۹	۰/۱۱۶	۰/۲۰۰	۰/۹۶۳	۰/۳۵۹
نوشهر	۴۰۹۴۲/۵	-۰/۲۱۰	-۰/۷۹۵	۱۳۰۶/۹	۰/۱۰۵	۰/۲۰۰	۰/۹۵۹	۰/۲۹۸

جدول ۳. انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده

پارامتر	همبستگی مطلق (rp)	همبستگی جزئی (ra)	Prp(%)	پارامتر	همبستگی مطلق (rp)	همبستگی جزئی (ra)	Prp(%)
mslp	۰/۱۲۳	۰/۱۰۰	۱۸	mslp	۰/۱۰۰	-۰/۱۰۹	۹
P850	۰/۱۱۱	۰/۱۰۶	۴	P850	۰/۱۰۰	-۰/۱۲۶	۷
S850	۰/۱۰۳	۰/۰۹۹	۳	S850	۰/۱۰۰	۰/۰۹۰	۲۶
p-zh	۰/۱۳۶	-۰/۱۲۳	۹	p-zh	-۰/۱۴۰	-۰/۱۲۹	۱۹
mslp	۰/۱۱۶	۰/۱۰۰	۱۴	mslp	۰/۱۳۸	۰/۱۰۰	۲۷
P500	۰/۱۰۰	۰/۰۹۰	۱۰	P850	۰/۱۰۲	۰/۰۹۰	۱۱/۸
S500	۰/۱۱۰	۰/۰۹۰	۱۸	S850	۰/۱۳۹	۰/۰۹۹	۲۸/۸
mslp	۰/۱۲۵	-۰/۱۱۱	۱۲	mslp	۰/۱۴۷	۰/۱۴	۲۰/۴
P850	۰/۱۰۶	-۰/۱۲۹	۱۷/۸	P850	۰/۱۳۹	-۰/۰۸۸	۴۱
S500	۰/۱۱۰	۰/۰۹۹	۱۰	S850	۰/۱۱۳	۰/۱۰۳	۹
p-zh	۰/۱۱۵	۰/۱۰۰	۱۳	p-zh	-۰/۱۰۰	-۰/۱۴۰	۴۷
				p-8zh	۰/۰۴۹	۰/۰۵۳	۸
				mslp	۰/۱۴۷	-۰/۱۱۷	۲۰
				P8-zh	۰/۱۱۱	۰/۰۹۹	۱۱
				P850	۰/۱۳۹	۰/۱۰۳	۲۶
				S850	۰/۱۱۳	۰/۱۰۳	۹

اعتبارسنجی مدل

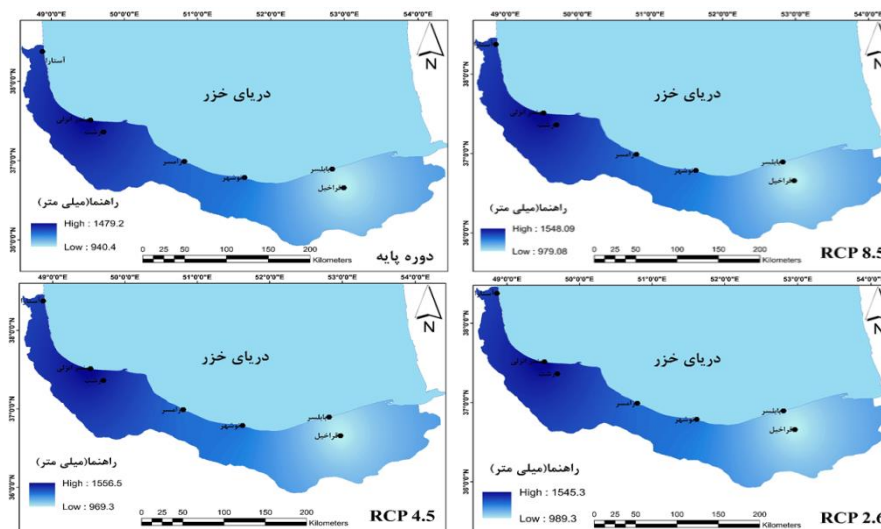
با توجه به جدول ۴ و شکل ۳، بیشترین خطا در طول فصل پاییز و ماه‌های مذکور به‌دست آمد که علت اصلی آن را می‌توان به ناتوانی مدل در شبیه‌سازی شرایط محلی دانست، به‌گونه‌ای که تنها پدیده‌های فراگیر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در همه ایستگاه‌های بررسی‌شده، بیشترین مقادیر خطای به‌دست آمده مربوط به فصل پاییز و ماه‌های سپتامبر تا دسامبر بود که هم مقادیر بارش زیاد بود و هم پدیده‌های محلی بیشتری رخ می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۴، براساس آزمون ویلکاکسون مشخص شد که در همه ایستگاه‌ها، مقدار P-Value بیشتر از سطح اطمینان ۰/۰۵ قرار دارد و بدین ترتیب می‌توان گفت که هیچ اختلاف معنی‌داری میان میانگین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش در مقیاس‌های زمانی فصلی و سالانه وجود ندارد. بنابراین می‌توان کارایی مدل را در شبیه‌سازی بارش در سطح ناحیه تحت مطالعه تأیید کرد. در مجموع مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیر بارش به‌دلیل ویژگی گسسته و وجود

دورنمای تغییرات نمایه‌های بارش سواحل جنوبی دریای خزر در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ برای ... ۴۰۳

مقادیر صفر ضعیف است؛ بررسی نتایج به دست آمده نشان داد الگوی تغییرات بارش در همه ایستگاه‌ها به خوبی شبیه‌سازی شده و کارایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های بارش تأیید می‌شود.

جدول ۴. نتایج نمایه‌های ارزیابی کارایی و دقت داده‌های مدل شده نسبت به داده‌های مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۵-۲۰۰۱)

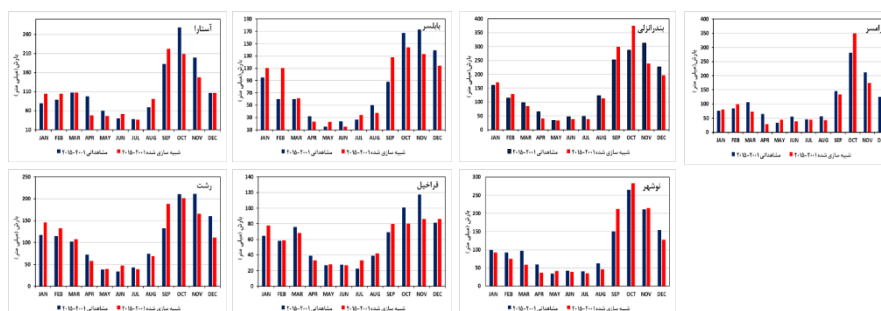
نوشهر	قراخیل	رشت	رامسر	بندرانزلی	بابلسر	آستارا			
۲۶۳	۱۸۷	۳۲۱	۳۸۰	۳۱۹	۲۳۷	۲۵۸	RMSE	سالانه	
۰/۰۴	۰/۶۸	۰	۰/۴۹	۰/۱۲	۰/۴۸	۰/۶۴	D-Index		
-۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	-۰/۰۱	CRM		
-۰/۳۲۰	۰/۳۸۰	۰/۱۹۰	۰/۱۴۵	۰/۲۲۰	۰/۳۰۰	۰/۵۰۰	R		
-۰/۱۱۴	-۰/۳۴۱	-۰/۲۵۴	-۰/۲۸۴	-۰/۱۱۴	-۰/۲۲۷	-۰/۱۰۶۷	Z		آزمون
۰/۹۱۰	۰/۷۳۳	۰/۷۷۸	۰/۷۷۶	۰/۹۱۰	۰/۸۲۰	۰/۹۵۵	P-Value		ویلکاکسون
۳۵/۵	۳۱/۳	۵۷/۱	۳۵/۹	۴۵/۶	۴۱/۱	۴۰	RMSE	زمستان	
۰/۷۵	۰/۱۸	۰/۲۹	۰/۵۲	۰/۴۲	۰/۱۶	۰/۴۵	D-Index		
۰/۱۱	-۰/۰۳	-۰/۱۵	۰/۱۴	-۰/۰۴	-۰/۳۱	-۰/۰۵	CRM		
۰/۳۵۰	-۰/۱۲۰	-۰/۱۵۰	-۰/۰۲۰	۰/۳۸۰	۰/۰۶۶	۰/۱۰۰	R		
-۰/۱۴۲۰	-۰/۲۸۴	-۰/۱۰۷۹	-۰/۱۶۵	-۰/۱۷۰	-۰/۱۸۷۴	-۰/۱۷۰	Z		آزمون
۰/۱۵۶	۰/۷۷۶	۰/۲۸۱	۰/۲۴۴	۰/۸۶۵	۰/۰۶۲	۰/۸۶۵	P-Value		ویلکاکسون
۳۲/۸	۱۵/۷	۳۰/۷	۲۴	۲۶	۲۱	۳۲/۱	RMSE	بهار	
۰/۴۰	۰/۵۹	۰/۱۴	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۱۵	D-Index		
۰/۱۰	۰/۰۶	۰	۰/۰۴	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۲۹	CRM		
۰/۲۷۰	۰/۴۶۰	-۰/۱۶۰	-۰/۱۲۰	۰/۰۹۹	-۰/۴۴۰	-۰/۲۴۰	R		
-۰/۶۲۵	-۰/۲۸۴	-۰/۳۹۸	-۰/۵۱۱	-۰/۴۲۰	-۰/۳۴۱	-۰/۹۸۸	Z		آزمون
۰/۵۳۲	۰/۷۷۶	۰/۶۹۱	۰/۶۰۹	۰/۱۵۶	۰/۷۳۳	۰/۰۴۷	P-Value		ویلکاکسون
۶۲	۲۵/۱	۵۳	۴۷	۸۴	۴۰/۷	۴۶	RMSE	تابستان	
۰/۰۴	۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۷۸	۰/۲۵	D-Index		
-۰/۳۲	-۰/۱۸	-۰/۱۸	-۰/۳۰	-۰/۰۷	-۰/۲۱	-۰/۴۶	CRM		
-۰/۴۰۰	۰/۳۱۰	۰/۱۱۰	۰/۰۷۳	-۰/۱۵۰	۰/۲۵۰	-۰/۳۹۰	R		
-۰/۴۷۷	-۰/۲۲۱	-۰/۶۵۸	-۰/۹۸۸	-۰/۷۳۸	-۰/۸۸۱	-۰/۹۸۸	Z		آزمون
۰/۱۴۰	۰/۲۲۲	۰/۵۷۰	۰/۰۴۷	۰/۴۶۰	۰/۳۷۹	۰/۰۴۷	P-Value		ویلکاکسون
۶۴	۳۹	۷۹/۲	۹۸	۹۸	۷۴	۸۶	RMSE	پاییز	
۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۴۳	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۵۵	D-Index		
۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۸	۰/۱۳	CRM		
-۰/۱۳۲	-۰/۰۹۰	-۰/۳۹۰	-۰/۱۸۰	-۰/۱۷۰	-۰/۰۹	-۰/۳۱۰	R		
-۰/۱۰۲	-۰/۳۳۵	-۰/۶۴۷	-۰/۵۱۱	-۰/۵۱۱	-۰/۵۹۰	-۰/۷۳۸	Z		آزمون
۰/۳۰۷	۰/۱۸۲	۰/۱۰۰	۰/۶۰۹	۰/۶۰۹	۰/۱۱۲	۰/۴۶۰	P-Value		ویلکاکسون



شکل ۳. مقایسه متوسط بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط داده‌های NCEP در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۵-۲۰۰۱)

شبیه‌سازی بارش با سناریوهای اقلیمی برای دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰)

توزیع مکانی بارش سالانه در دوره آینده مبین افزایش بارش در همه ایستگاه‌هاست؛ به طوری - که براساس نتایج همه سناریوهای انتشار مورد بررسی مشخص شد که مقدار بارش سالانه در دوره آینده به طور متوسط ۲۰ تا ۷۵ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. گرمایش جهانی موجب افزایش محتوای بخار آب جو می‌شود که افزایش بارش برای مناطق مرطوب را در پی دارد. بیشترین و کمترین افزایش بارش نسبت به دوره پایه به ترتیب در ایستگاه‌های بندر انزلی (۷۵ میلی‌متر) و قراخیل (۲۰ میلی‌متر) مشاهده شد. با توجه به نتایج براساس هر سه سناریوی انتشار انتظار می‌رود که بارش ایستگاه‌های بابل‌سر، نوشهر، رامسر، رشت و آستارا به طور متوسط به ترتیب ۴۹، ۵۹، ۳۸، ۷۴ و ۵۷ میلی‌متر در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش داشته باشد. با توجه به پهنه‌بندی مقدار بارش دریافتی در سطح ناحیه تحت مطالعه در دوره آینده می‌توان اظهار داشت که تغییرات بارش در دوره آینده نیز دارای رفتار مکانی مشابهی نسبت به دوره پایه است، به گونه‌ای که در دوره آینده نیز همانند دوره پایه، بخش‌های غربی منطقه تحقیق به ویژه در گیلان مقادیر بارش بیشتری را دارد و به تدریج به سمت نیمه شرقی منطقه از مقدار بارش کاسته می‌شود (شکل ۴).

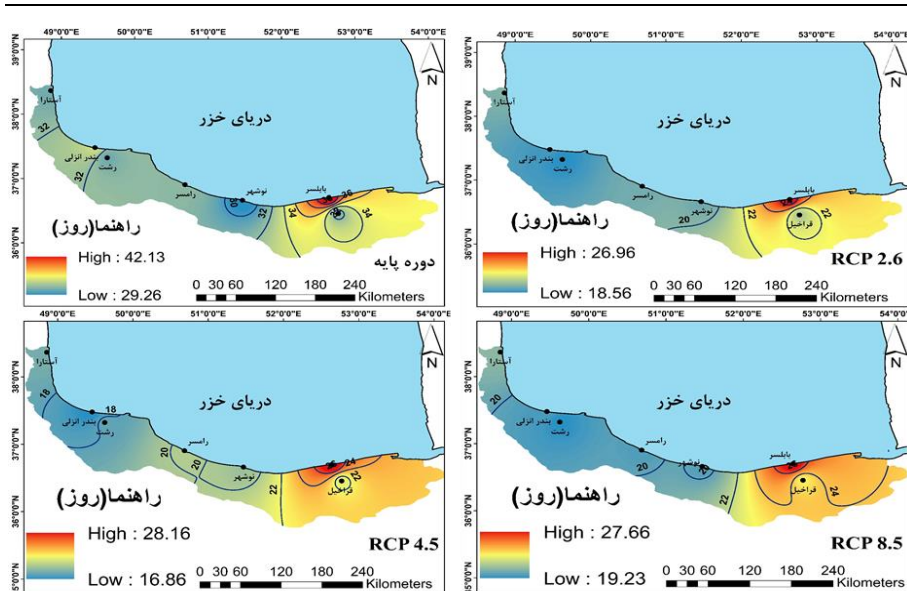


شکل ۴. پهنه‌بندی میانگین بارش شبیه‌سازی شده برای دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۵۰) در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) تحت سناریوهای مختلف

نمایه‌های حدی مدت

تعداد روزهای خشک متوالی (CDD)

با توجه به شکل ۵ در دوره پایه بیشترین تعداد نمایه با میانگین منطقه‌ای معادل ۳۴ روز در بخش شرقی منطقه تحقیق رخ داده است و به تدریج به سمت بخش‌های غربی منطقه، طول دوره خشک کمتر شده است. ایستگاه بابلسر حداکثر نمایه CDD را در دوره پایه معادل ۴۲ روز داشت. توزیع مکانی تعداد نمایه در دوره آینده حاکی از کاهش آن در منطقه تحقیق نسبت به دوره پایه بود. براساس نتایج همه سناریوهای انتشار به نظر می‌رسد که در ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، بندرانزلی، رامسر، رشت، قراخیل و نوشهر به ترتیب ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۲، ۱۲، ۱۰ و ۹ روز کاهش در تعداد نمایه نسبت به دوره پایه رخ دهد. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که ایستگاه بندر انزلی در دوره آینده کاهش چشمگیری در تعداد این نمایه دارد، به طوری که اختلاف میانگین نمایه در دوره‌های پایه و آینده حدود ۱۵ روز به دست آمد. تحلیل پراکنش نمایه در دوره مبین بیشترین تمرکز تعداد نمایه در بخش شرقی منطقه تحقیق به ویژه ایستگاه بابلسر با ۲۸ روز بود که به تدریج به طرف غرب منطقه از تعداد آن کاسته می‌شود. از این رو به نظر می‌رسد که بخش شرقی در مقایسه با بخش غربی منطقه همانند دوره پایه شاهد طول دوره خشک بیشتری در آینده باشد. از آنجا که تداوم دوره‌های خشک، سبب خشکسالی و به تبع آن کمبود آب و آسیب به بخش کشاورزی می‌شود، برنامه‌ریزی در این زمینه ضروری است.

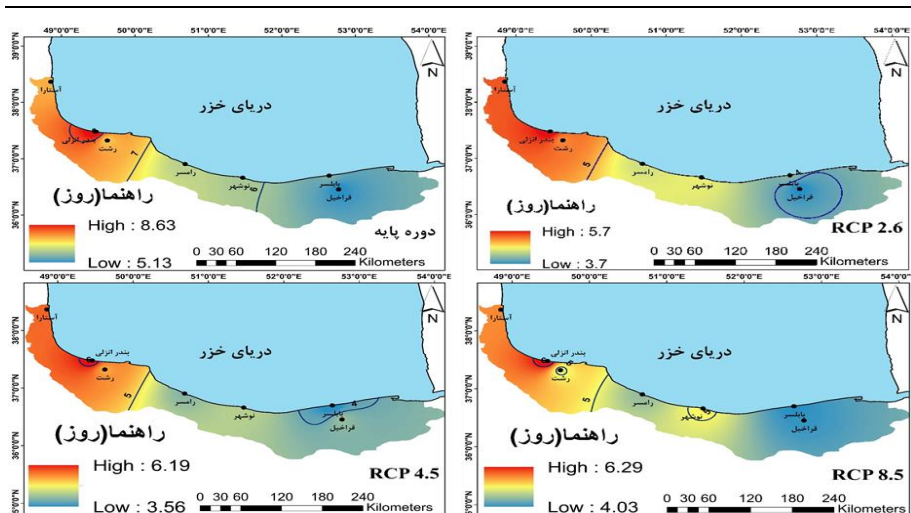


شکل ۵. پهنه‌بندی نمایه تعداد روزهای خشک متوالی در دوره‌های پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف

تعداد روزهای تر متوالی [CWD]

توزیع مکانی تعداد روزهای تر متوالی (شکل ۶) در سطح منطقه تحقیق در دوره پایه نشان داد که ایستگاه‌های واقع در بخش غربی بیشترین توالی روزهای تر را داشته‌اند، به طوری که بیشترین تعداد نمایه در ایستگاه بندرانزلی (به طور متوسط ۹ روز) مشاهده شد. در حالی که در ایستگاه‌های بخش شرقی طول دوره کمتر است، به طوری که توالی روزهای تر در ایستگاه قراخیل در برخی از سال‌ها فقط ۳ روز بود. میانگین نمایه در ایستگاه‌های آستارا، بندرانزلی، رشت، رامسر، بابلسر، نوشهر و قراخیل در دوره پایه به ترتیب به طور متوسط ۷/۳، ۹، ۷/۱، ۶/۲، ۵/۷، ۵/۱ و ۶ در دوره آینده به ترتیب به طور متوسط ۵/۶، ۶/۱، ۵/۱، ۴/۴، ۳/۹، ۴/۷ و ۴ روز به دست آمد. بنابراین انتظار می‌رود که در دوره آینده به طور متوسط حدود ۱ تا ۳ روز از تعداد روزهای تر متوالی در منطقه تحقیق نسبت به دوره پایه کاسته شود. با توجه به پهنه‌بندی این نمایه در منطقه تحقیق در دوره آینده می‌توان اظهار داشت که تغییرات تعداد روزهای متوالی در دوره آینده نیز دارای رفتار مکانی مشابهی نسبت به دوره پایه است.

دورنمای تغییرات نمایه‌های بارش سواحل جنوبی دریای خزر در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ برای ... ۴۰۷



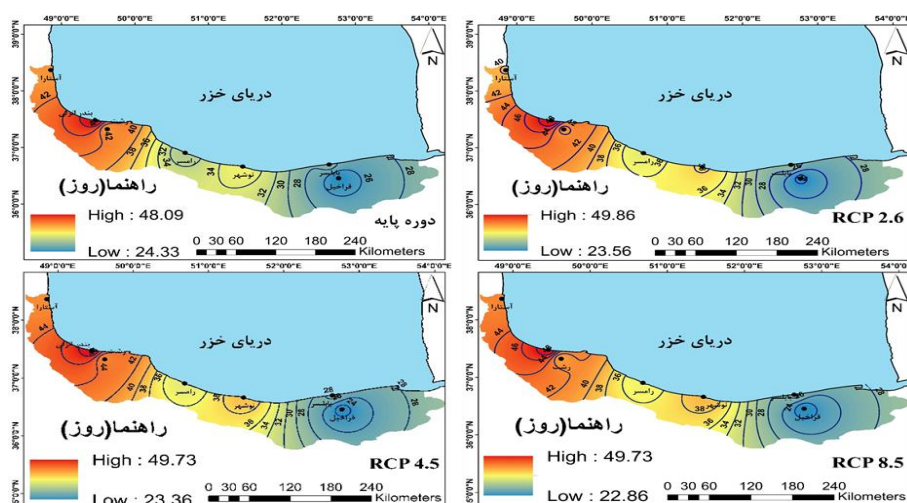
شکل ۶. پهنه‌بندی نمایه تعداد روزهای تر متوالی در دوره‌های پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف

نمایه‌های فراوانی

تعداد روزهای همراه با بارش سنگین ۱۰ میلی‌متر و بیشتر [R10]

پهنه‌بندی تعداد روزهای با بارش سنگین ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در سطح ناحیه تحت مطالعه (شکل ۷) گویای این است که در دوره‌های پایه و آینده (براساس سناریوهای انتشار مورد بررسی) بخش‌های غربی منطقه تحقیق با میانگین منطقه‌ای ۴۳ روز در دوره پایه و ۴۴ روز در دوره آینده، تعداد روزهای با بارش سنگین بیشتری دارد و به تدریج به سمت نیمه شرقی با میانگین منطقه‌ای ۳۰ روز در دوره پایه و ۳۱ روز در دوره آینده از تعداد آن کاسته می‌شود. همچنین مقایسه میانگین تعداد نمایه‌ها در دوره‌های پایه و آینده نشان داد که در دوره آینده به‌طور متوسط در ایستگاه‌های رشت و آستارا ۱ روز، در ایستگاه بندر انزلی ۲ روز و در ایستگاه‌های نوشهر و رامسر ۴ روز بر تعداد روزهای با بارش سنگین افزوده می‌شود. به‌طور کلی افزایش گازهای گلخانه‌ای با سرعت بخشیدن به چرخه آبشناسی موجب افزایش تعداد روزهای با بارش سنگین و بروز نوسان‌های اقلیمی می‌شوند. در ایستگاه بابلسر، میانگین نمایه در دوره‌های پایه و آینده به ترتیب ۲۸/۶۴ و ۲۸/۶۰ روز در سال بود. بنابراین به نظر می‌رسد که در ایستگاه بابلسر تعداد روزهای این نمایه در دوره آینده مشابه دوره پایه بوده و تغییر چندانی نداشته باشد. همچنین نتایج هر سه سناریوی انتشار حاکی از این بود که در ایستگاه قراخیل به‌طور متوسط ۱ روز از تعداد روزهای با بارش سنگین ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره آینده

کاسته می‌شود. در مجموع نتایج نشان داد که در مقیاس منطقه‌ای در دوره آینده فراوانی سالانه این نمایه در بخش‌های غربی و مرکزی منطقه تحقیق نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین به نظر می‌رسد که در دوره آینده تعداد روزهای بارش سنگین در بخش‌های شرقی-تر منطقه تحقیق واقع در استان مازندران نسبت به دوره پایه کاهش یابد. بیشترین تعداد نمایه در دوره‌های پایه و آینده به ترتیب با ۴۸ و ۵۰ روز متعلق به ایستگاه بندرانزلی بود (شکل ۷).

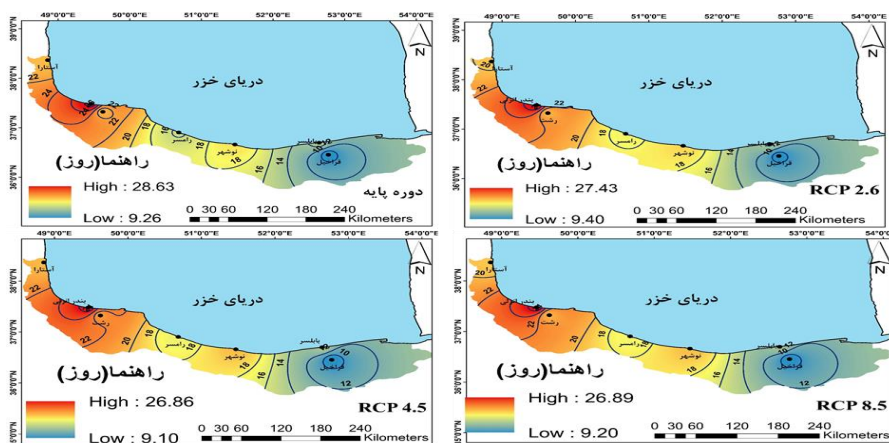


شکل ۷. پهنه‌بندی نمایه تعداد روزهای بارش سنگین ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره‌های پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف

تعداد روزهای بارش خیلی سنگین ۲۰ میلی‌متر و بیشتر [R20]

در شکل ۸ پهنه‌بندی تعداد روزهای بارش خیلی سنگین ۲۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره‌های پایه و آینده تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5، و RCP8.5 نشان داده شده است. کمترین تعداد روزهای این نمایه مربوط به ایستگاه قراخیل واقع در بخش شرقی منطقه با متوسط ۹ روز در دوره پایه و آینده بود. با توجه به میانگین تعداد روزهای این نمایه در دوره پایه و آینده در ایستگاه قراخیل به نظر می‌رسد که در این ایستگاه تعداد نمایه نیز در دوره آینده مشابه دوره پایه بوده و تغییر چندانی نداشته باشد. در ایستگاه قراخیل از نظر فراوانی وقوع بیشترین تعداد نمایه در دوره پایه با تعداد ۱۶ روز در سال ۱۹۹۷ و در دوره آینده نیز با تعداد ۱۵، ۱۴، و ۱۶ روز به ترتیب در سال‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۳۸ (به ترتیب براساس سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، و RCP8.5) مشاهده شد. همچنین مقایسه میانگین تعداد نمایه‌ها نشان

داد که در دوره آینده به‌طور متوسط در ایستگاه‌های بابلسر، رشت و آستارا ۱ روز و ایستگاه بندرانزلی ۲ روز از تعداد روزهای بارش خیلی سنگین کاسته شود. افزون‌بر این، براساس نتایج به نظر می‌رسد که در دوره آینده در ایستگاه رامسر به‌طور متوسط ۱ روز و در ایستگاه نوشهر به‌طور متوسط ۰/۳ روز بر تعداد روزهای بارش خیلی سنگین افزوده شود که با توجه به مقدار اندک به‌دست‌آمده برای ایستگاه نوشهر چندان شایان توجه نیست. در مجموع نتایج حاکی از افزایش بسیار نامحسوس و اندک این نمایه بارشی در مناطق ساحلی استان مازندران در دوره آینده نسبت به دوره پایه است. با توجه به شکل ۸ همانند نمایه بارش سنگین، بیشترین تعداد این نمایه در دوره‌های پایه و آینده به‌ترتیب ۲۹ و ۲۷ روز و مربوط به ایستگاه بندرانزلی بود.

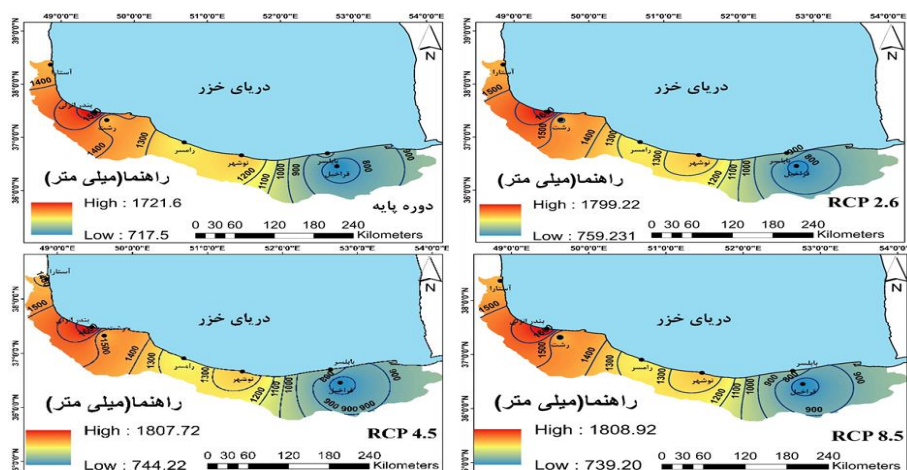


شکل ۸. پهنه‌بندی نمایه تعداد روزهای بارش سنگین ۲۰ میلی‌متر و بیشتر در دوره‌های پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف

نمایه‌های شدت

مجموع بارش سالانه در روزهای بارش بیش از ۱ میلی‌متر [PRCPTOT] مقایسه میانگین شاخص مجموع بارش سالانه در روزهای بارش بیش از ۱ میلی‌متر (PRCPTOT) در دوره پایه با دوره آینده براساس سناریوهای انتشار RCP 4.5، RCP 2.6 و RCP 8.5 نشان داد که مقدار بارش سالانه همه ایستگاه‌های بررسی شده در دوره آینده افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۹ در دوره آینده نیز همانند دوره پایه از مقدار شاخص مجموع بارش سالانه از غرب به شرق کاسته می‌شود. براساس هر سه سناریوی انتشار، بیشترین حد شاخص

PRCPTOT در دوره‌های پایه و آینده به ترتیب ۴۲۱/۶ و ۱۸۰۵ میلی‌متر در ایستگاه بندرانزلی و کمترین حد شاخص به ترتیب ۷۴ و ۷۴۸ میلی‌متر در ایستگاه قراخیل بود.

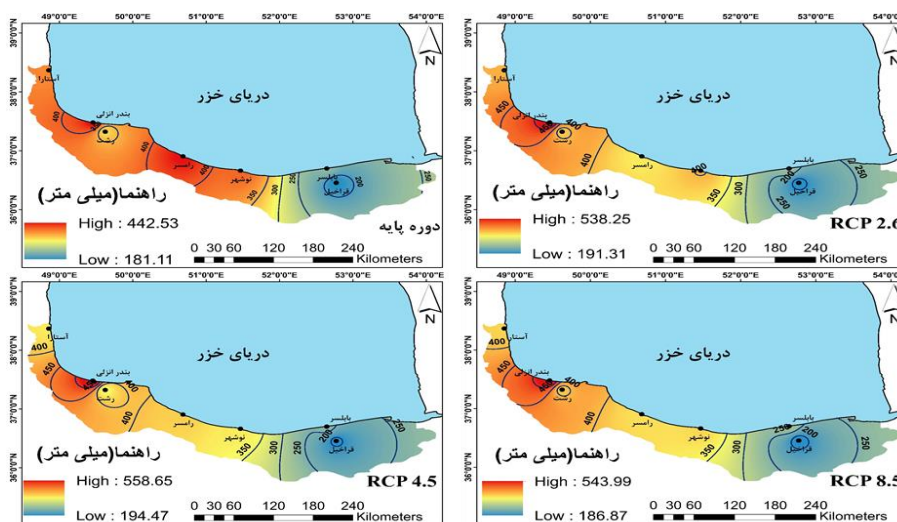


شکل ۹. پهنه‌بندی شاخص مجموع بارش سالانه در روزهای با بارش بیش از ۱ میلی‌متر در در دوره پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف

روزهای خیلی مرطوب [R95P]

این نمایه بیانگر مجموع مقدار بارش روزهایی از سال است که مقدار بارش بیش از صدک ۹۵ ام در دوره‌های پایه و آینده باشد. نتایج نشان داد که در دوره پایه شدت این نمایه در بخش‌های غربی شامل بخش بزرگی از استان گیلان و بخش‌های ساحل غربی استان مازندران بیش از بخش‌های شرقی منطقه تحقیق است. ایستگاه‌های بندرانزلی (۴۴۳ میلی‌متر) و قراخیل (۱۸۱ میلی‌متر) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار نمایه را در دوره پایه داشتند. مطابق با الگوی تعداد روزهای خیلی مرطوب در دوره پایه، در دوره آینده نیز بیشترین مقدار این نمایه با متوسط بارش ۵۴۷ میلی‌متر مربوط به ایستگاه بندرانزلی و کمترین میزان آن با متوسط بارش ۱۹۱ میلی‌متر مربوط به ایستگاه قراخیل بود. به‌طور کلی در دوره آینده نیز همانند دوره پایه، بخش‌های غربی منطقه تحقیق بیشترین مقدار این نمایه را دارند. واکنش سیر تغییرات نمایه در دوره آینده تحت سناریوهای انتشار RCP2.5، RCP4.5، RCP8.5 نیز حاکی از افزایش آن نسبت به دوره پایه برای ایستگاه‌های بابل، قراخیل، بندرانزلی، رشت و آستارا بود. همچنین براساس خروجی مدل CanECM2 و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 به نظر می‌رسد

که در دوره آینده از مقدار این نمایه در بخش‌های ساحل غربی استان مازندران نسبت به دوره پایه کاسته شود (شکل ۱۰). بر این اساس انتظار می‌رود که ایستگاه نوشهر در بخش غربی استان مازندران تحت سناریوی RCP2.6، ۵ میلی‌متر افزایش و تحت سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب ۲۵ و ۱۷ میلی‌متر کاهش در میزان روزهای خیلی مرطوب نسبت به دوره پایه داشته باشد. برای ایستگاه رامسر نیز تحت سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب ۷۵، ۷۶ و ۶۳ میلی‌متر کاهش در مقدار این نمایه نسبت به دوره پایه مشاهده شد. به‌طور کلی در مقیاس منطقه‌ای براساس نتایج همه سناریوهای انتشار انتظار می‌رود که در بخش مرکزی منطقه تحقیق شامل ایستگاه‌های رامسر و نوشهر، کاهش نمایه نسبت به دوره پایه و به سمت شرق و غرب منطقه، افزایش آن رخ دهد. این افزایش در سواحل غربی به مراتب چشمگیرتر از بخش شرقی است (شکل ۱۰).

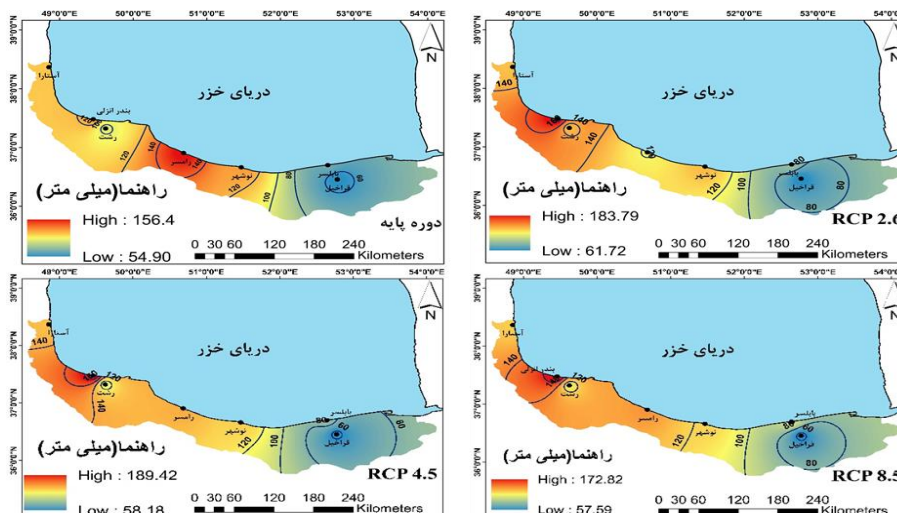


شکل ۱۰. پهنه‌بندی نمایه روزهای خیلی مرطوب در دوره‌های پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف

روزهای بی‌نهایت مرطوب [R99P]

روزهای بی‌نهایت مرطوب نمایانگر مجموع بارش‌های روزانه بالاتر از صدک ۹۹ در دوره‌های پایه و آینده است. براساس خروجی مدل CanECM2 و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انتظار می‌رود که در ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، بندرانزلی، رشت و قراخیل، این نمایه به ترتیب ۱۳، ۲۳/۴، ۵۶/۱، ۲۳/۴ و ۴/۳ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش یابد. برای ایستگاه نوشهر براساس سناریوی RCP8.5 ۶ میلی‌متر کاهش و براساس سناریوهای RCP2.6 و

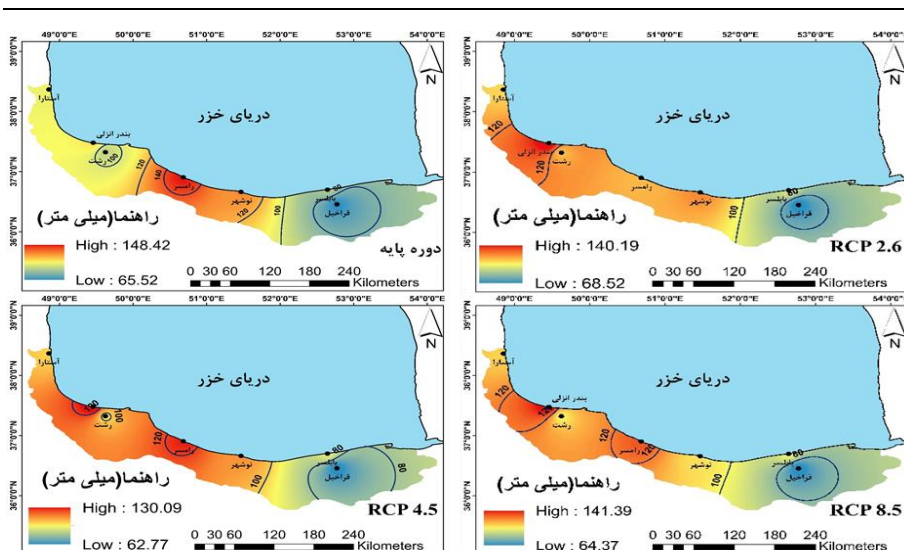
RCP4.5 به طور متوسط ۶ میلی متر افزایش نسبت به دوره پایه مشاهده شد. براساس نتایج هر سه سناریو انتظار می رود که در ایستگاه رامسر، این نمایه به طور متوسط ۲۶ میلی متر نسبت به دوره پایه کاهش یابد. با توجه به شکل ۱۱ در دوره پایه، بیشترین مقدار نمایه در بخش های غربی استان مازندران به ویژه ایستگاه رامسر با متوسط بارش ۱۵۶/۴ میلی متر متمرکز بوده است که متعاقباً براساس نتایج هر سه سناریوی انتشار در دوره آینده هسته بیشینه نمایه به سمت ایستگاه بندر انزلی جابه جا شده است. بنابراین انتظار می رود که در دوره آینده بیشترین مقدار این نمایه در بخش های غربی تر منطقه تحقیق به ویژه ایستگاه بندرانزلی با متوسط بارش ۱۸۲ میلی متر رخ دهد. همه ایستگاه های بررسی شده در دوره های پایه و آینده در طول یک یا چند سال، میزان صفر را برای این نمایه دارا بودند. در این میان در بین ایستگاه های تحت مطالعه، ایستگاه قراخیل با متوسط ۵۵ میلی متر در دوره پایه و ۵۹/۲ میلی متر در دوره آینده کمترین مقدار نمایه را در دوره های پایه و آینده دارا بود. به طور کلی در مقیاس منطقه ای براساس نتایج همه سناریوهای انتشار، انتظار می رود که همانند نمایه روزهای خیلی مرطوب، در بخش مرکزی منطقه تحقیق شامل ایستگاه های رامسر و نوشهر کاهش در شمار روزهای بی نهایت مرطوب نسبت به دوره پایه رخ دهد و به سمت بخش شرق و غرب منطقه تحقیق افزایش آن رخ دهد که به مراتب این افزایش در سواحل غربی منطقه (استان گیلان) بیشتر است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. پهنه بندی نمایه روزهای بی نهایت مرطوب در دوره های پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف

حداکثر بارش روزانه [Rx1day]

این نمایه بیانگر حداکثر بارش ۲۴ ساعته است. همواره در طول سال مقدار بارندگی یک روز بیش از دیگر روزهای سال است که آن را حداکثر بارش ۲۴ ساعته در آن سال می‌نامیم. تحلیل پراکنش مقدار این نمایه در دوره پایه نشان داد که سواحل غربی استان مازندران حداکثر بارش روزانه بیشتری را دارا بوده که به تدریج به سمت شرق و غرب منطقه تحقیق از آن کاسته شده است. ایستگاه‌های رامسر با متوسط بارش ۱۴۸/۴ میلی‌متر و قراخیل با متوسط بارش ۶۵/۵ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار این نمایه را در بین ایستگاه‌های بررسی شده در دوره پایه دارا بودند. میانگین این نمایه در ایستگاه‌های آستارا، بندرانزلی، رشت و بابلسر در دوره پایه به ترتیب به‌طور متوسط ۱۰۳/۸، ۱۱۱/۸، ۹۳/۶ و ۸۹ میلی‌متر و در دوره آینده براساس نتایج هر سه سناریوی انتشار به ترتیب به‌طور متوسط ۱۰۴/۶، ۱۳۷/۲، ۱۰۲/۸ و ۹۵/۵ میلی‌متر به‌دست آمد. بنابراین براساس خروجی مدل CanECM2 و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انتظار می‌رود که در ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، بندرانزلی و رشت مقدار این نمایه به ترتیب ۰/۸، ۶/۶، ۲۴/۴ و ۹/۲ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش یابد. همچنین براساس نتایج هر سه سناریوی انتشار، برای ایستگاه‌های نوشهر و رامسر به ترتیب ۱۷ و ۲۸ میلی‌متر کاهش در مقدار نمایه نسبت به دوره پایه انتظار می‌رود. برای ایستگاه قراخیل براساس سناریوی RCP2.6 ۳ میلی‌متر افزایش و براساس سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 ۲ میلی‌متر کاهش در مقدار نمایه نسبت به دوره پایه به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که همانند نمایه R99P هسته پیشینه رخداد حداکثر بارش روزانه در دوره آینده به بخش‌های غربی‌تر ناحیه به‌ویژه ایستگاه بندرانزلی با حداکثر بارش روزانه ۱۴۰، ۱۳۰ و ۱۴۱/۴ به ترتیب براساس سناریوهای RCP 2.6، RCP4.5 و RCP8.5 کشیده می‌شود. به‌طور کلی با توجه به پهنه‌بندی حداکثر بارش روزانه در سطح ناحیه تحت مطالعه در دوره آینده به نظر می‌رسد که حداکثر بارش روزانه نسبت به دوره پایه در بخش‌های غربی منطقه تحقیق افزایش و در بخش‌های شرقی و مرکزی کاهش داشته باشد (شکل ۱۲).

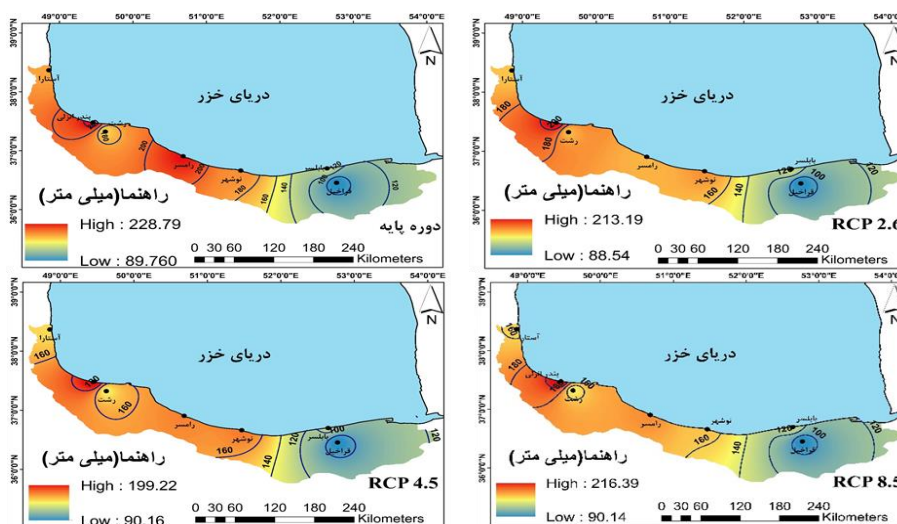


شکل ۱۲. پهنه‌بندی نمایه حداکثر بارش روزانه در دوره‌های پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف

حداکثر بارش پنج روز متوالی [Rx5day]

این نمایه بیانگر تداوم فعالیت سامانه‌های بارش‌زا یا ناپایداری است که ۵ روز در منطقه دوام دارند. مقایسه میانگین این نمایه در دوره‌های پایه و آینده نشان داد که حداکثر بارش پنج‌روزه در همه ایستگاه‌ها در دوره آینده نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. از این‌رو براساس نتایج مدل CanECM2 و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انتظار می‌رود که در دوره آینده ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، بندرانزلی، رامسر، رشت، قراخیل و نوشهر به ترتیب ۲۵/۴، ۵/۳، ۱۹/۲، ۴۹/۹، ۱۴/۳، ۰/۱ و ۱۸/۸ میلی‌متر کاهش در مقدار بارش پنج‌روزه نسبت به دوره پایه داشته باشند. ایستگاه‌های بندرانزلی با متوسط بارش ۲۲۸/۸ میلی‌متر و قراخیل با متوسط بارش ۸۹/۷ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار این نمایه را در بین ایستگاه‌های تحت مطالعه در دوره پایه دارا بودند. با توجه به شکل ۱۳ همانند دوره پایه در دوره آینده نیز بخش‌های غربی منطقه تحقیق شامل استان گیلان و بخش‌های ساحل غربی استان مازندران مقادیر بارش پنج‌روزه بیشتری داشتند و به تدریج به سمت نیمه شرقی منطقه تحقیق از مقدار آن کاسته شد. مطابق با الگوی بارش پنج‌روزه در دوره پایه، در دوره آینده نیز بیشترین بارش پنج‌روزه با متوسط بارش ۲۰۹ میلی‌متر مربوط به ایستگاه بندرانزلی و کمترین آن با متوسط بارش ۸۹/۶ میلی‌متر مربوط به ایستگاه قراخیل بود. به‌طور کلی با توجه به پهنه‌بندی حداکثر بارش پنج روز متوالی در سطح ناحیه تحت بررسی در دوره آینده به نظر می‌رسد که حداکثر

بارش پنج روز متوالی در منطقه تحقیق به‌ویژه بخش‌های غربی استان مازندران نسبت به دوره پایه کاهش داشته باشد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. پهنه‌بندی نمایه حداکثر بارش ۵ روز متوالی در دوره‌های پایه و آینده تحت سناریوهای مختلف

نتیجه‌گیری

نتایج همه پارامترهای آماری خطاسنجی، کارایی مدل را تأیید کردند. در همین زمینه سجاد خان و همکاران [۳۵] و چیمبا و همکاران [۲۰] نیز به کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش تأکید کردند. واکاوی نتایج شبیه‌سازی داده‌های بارش برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ با استفاده از پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس CanECM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد که مقدار بارش در سطح ناحیه تحت مطالعه در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) کاهش نمی‌یابد و براساس یافته‌های به‌دست‌آمده به‌نظر می‌رسد که در سطح منطقه تحقیق مقدار بارش در طول دوره آینده به‌طور متوسط ۲۰ تا ۷۰ میلی‌متر نسبت به دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۱۵) افزایش یابد. بررسی پژوهش‌ها در زمینه شبیه‌سازی بارش در استان‌های حاشیه دریای خزر نشان‌دهنده افزایش بارش در طول دوره آینده در بیشتر ایستگاه‌ها بود که از جمله می‌توان به پژوهش‌های بیات‌ورکشی و فصیحی [۴]، خورشیددوست و

همکاران [۶]، دسترنج و همکاران [۷] و احمدی و همکاران [۱] اشاره کرد که به افزایش بارش در بیشتر ایستگاه‌های بررسی شده اشاره کردند.

تحلیل شاخص‌های حدی بارش در طول دوره‌های پایه و آینده نشان داد که مقدار شاخص مجموع بارش سالانه در روزهای با بارش بیش از ۱ میلی‌متر در تمام ایستگاه‌های تحت بررسی در دوره آینده افزایش می‌یابد. براساس پژوهش خورشیددوست و همکاران [۶] براساس نتایج خروجی مدل Hadcm3 تحت سناریوهای A2 و B2 مقدار شاخص مجموع بارش سالانه در روزهای با بارش بیش از ۱ میلی‌متر در دوره آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۱) در ایستگاه‌های انزلی، گرگان و نوشهر کاهش و در ایستگاه‌های آستارا، رامسر و رشت افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که بخش شرقی در مقایسه با بخش غربی منطقه تحقیق همانند دوره پایه شاهد تعداد روزهای خشک متوالی بیشتری در دوره آینده است. انتظار می‌رود که در همه ایستگاه‌های تحت مطالعه، تعداد روزهای خشک متوالی در دوره آینده نسبت به دوره پایه کاهش یابد. شاخص تعداد روزهای خشک متوالی می‌تواند شاخص مناسبی برای خشکسالی باشد که بیشتر بر جوامع گیاهی و اکوسیستم‌ها اثرگذار است. از این رو با توجه به اینکه شغل بیشتر ساکنان بخش شرقی منطقه تحقیق، کشاورزی، زراعت و باغداری است، ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب می‌تواند مؤثر باشد. نتایج شاخص تعداد روزهای تر متوالی در دوره‌های پایه و آینده حاکی از این بود که در دوره آینده به‌طور متوسط حدود ۱ تا ۳ روز از تعداد روزهای تر متوالی در سطح منطقه تحت مطالعه نسبت به دوره پایه کاسته می‌شود. تغییرات تعداد روزهای متوالی در دوره آینده نیز دارای رفتار مکانی مشابهی نسبت به دوره پایه است، به‌گونه‌ای که در دوره آینده نیز همانند دوره پایه، بخش‌های غربی منطقه تحقیق به‌ویژه در ایستگاه بندرانزلی توالی روزهای تر بیشتری خواهند داشت و اقلیم مرطوب‌تری را نسبت به بخش شرقی شاهد خواهند بود که با یافته‌های فتاحی و همکاران [۹] مطابقت دارد.

همچنین نتایج نشان داد که در مقیاس منطقه‌ای در دوره آینده فراوانی سالانه تعداد روزهای با بارش سنگین ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در بخش‌های غربی و مرکزی منطقه نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همچنین به نظر می‌رسد که در دوره آینده تعداد روزهای با بارش سنگین در بخش‌های شرقی‌تر منطقه در استان مازندران نسبت به دوره پایه کاهش یابد. اوجی و غفاریان [۲] نیز در پژوهش خود افزایش بارش‌های سنگین در سواحل و بخش غربی سواحل جنوبی دریای خزر را گزارش کردند. کوهشاهی و همکاران [۱۱] به روند افزایشی تعداد روزهای همراه با بارش سنگین ۱۰ میلی‌متر در بخش غربی استان مازندران و روند کاهشی آن در بخش شرقی استان مازندران در طول دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۷ تأکید کردند. گویال و همکاران [۲۵] در پژوهش خود به افزایش تعداد

روزهای با بارش سنگین در ناحیه بسیار مرطوب سیکیم در شمال هیمالیا در طول دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۶ اشاره کردند. همچنین نتایج حاکی از افزایش بسیار نامحسوس و اندک تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین ۲۰ میلی‌متر و بیشتر در مناطق ساحلی استان مازندران در دوره آینده نسبت به دوره پایه است که با یافته‌های فتاحی و همکاران [۹] مطابقت دارد. انتظار می‌رود در منطقه تحقیق، تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین در دوره آینده مشابه دوره پایه بوده و تغییر چندانی نداشته باشد. در همین زمینه جعفرزاده و همکاران [۵] در پژوهش خود در زمینه تغییرات الگوی بارش‌های سنگین ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر و بیشتر از آن در طول دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت مدل Lars-WG به کاهش بارش‌های سنگین ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در ایستگاه‌های منطقه (به غیر از ایستگاه آستارا) و افزایش بارش‌های خیلی سنگین ۲۰ میلی‌متر تأکید داشتند. رنجبر و همکاران [۸] روند مثبت روزهای همراه با بارش سنگین و خیلی سنگین را در سواحل جنوبی دریای خزر به‌ویژه سواحل غربی استان مازندران گزارش کردند. همچنین براساس نتایج همه سناریوهای انتشار، انتظار می‌رود که در دوره آینده نمایه‌های روزهای خیلی مرطوب و بی‌نهایت مرطوب، در بخش مرکزی منطقه شامل ایستگاه‌های رامسر و نوشهر نسبت به دوره پایه کاهش یابد و به سمت بخش شرق و غرب منطقه تحقیق افزایش تعداد روزهای بی‌نهایت مرطوب رخ دهد که به‌مراتب این افزایش در سواحل غربی منطقه (استان گیلان) بیشتر خواهد بود. در همین زمینه رحیمزاده و همکاران [۳۱] نیز مقادیر زیاد روزهای خیلی مرطوب و بی‌نهایت مرطوب در ایستگاه‌های غربی سواحل جنوبی دریای خزر را گزارش کردند. همچنین نتایج نشان داد که در دوره پایه، بخش‌های مرکزی منطقه (ایستگاه رامسر) حداکثر بارش روزانه بیشتری نسبت به بخش غربی و شرقی داشت که با یافته‌های رنجبر و همکاران [۸] مطابقت دارد. براساس نتایج به‌دست‌آمده به نظر می‌رسد که در دوره آینده هسته بیشینه رخداد حداکثر بارش روزانه به بخش‌های غربی‌تر ناحیه به‌ویژه ایستگاه بندرانزلی با حداکثر بارش روزانه ۱۴۰، ۱۳۰، و ۱۴۱/۴ به‌ترتیب براساس سناریوهای RCP 2.6، RCP4.5، و RCP8.5 کشیده شود. در همین زمینه فتاحی و همکاران [۹] نیز بر کاهش حداکثر بارش روزانه در استان مازندران در دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۱۱) تأکید داشتند. همچنین نتایج نشان داد که حداکثر بارش پنج روز متوالی در سطح منطقه به‌ویژه بخش‌های غربی استان مازندران نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد.

به‌طور کلی نتایج نشان داد که دورنمای تغییرات بارش در منطقه خزری افزایشی خواهد بود. این افزایش بارش در سواحل غربی منطقه خزری به‌ویژه در فصل پاییز چشمگیرتر است. بنابراین این احتمال وجود دارد که این منطقه مرطوب‌تر از قبل شود. از این‌رو نظر به موارد ذکر شده ارائه یک راهکار مدیریتی برای ذخیره آب در طول شرایط سیلاب و استفاده از آن در طول شرایط خشکسالی ضروری است.

منابع

- [۱]. احمدی، مهدی؛ قرمز چشمه، باقر؛ و قاسمیه، هدی (۱۳۹۶). «ارزیابی اثر تغییر اقلیم، تحت تأثیر عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس‌گردانی، مطالعه موردی حوضه قرآن تالار»، مهندسی منابع آب، ش ۱۰، ص ۱۱-۲۴.
- [۲]. اوجی، روح‌اله؛ و غفاریان، پروین (۱۳۹۷). «شناسایی و برآورد بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر براساس نظریه مقدار فرین»، *اقیانوس‌شناسی*، ش ۳۴، ص ۳۹-۴۸.
- [۳]. اوجی، روح‌اله؛ فرج‌زاده اصل، منوچهر؛ قویدل، یوسف؛ و مساح بوانی، علیرضا (۱۳۹۶). «ارزیابی ریزگردانی تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی مدل آماری اس‌دی‌اس‌ام با استفاده از شاخص‌های حدی دما و بارش (مطالعه موردی: غرب میانی ایران)»، *فیزیک زمین و فضا*، ش ۱، ص ۱۹۳-۲۰۸.
- [۴]. بیات‌ورکشی، مریم؛ و فصیحی، روزین (۱۳۹۷). «تحلیل نتایج ریزمقیاس‌نمایی فراسنج‌های آب‌وهوایی برای آینده ایران»، *جغرافیا و پایداری محیط*، ش ۲۶، ص ۷۳-۸۷.
- [۵]. جعفرزاده، فاطمه؛ خورشیددوست، علی‌محمد؛ ساری صراف، بهروز؛ و قرمز چشمه، باقر (۱۳۹۷). «پیش‌بینی بارش‌های سنگین سواحل جنوبی دریای خزر تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره ۱۴۰۸-۱۳۸۹»، *علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*، ش ۴۲، ص ۱۳۰-۱۲۱.
- [۶]. خورشیددوست، علی‌محمد؛ ساری صراف، بهروز؛ قرمز چشمه، باقر؛ و جعفرزاده، فاطمه (۱۳۹۶). «برآورد و تحلیل مقادیر آینده بارش‌های نواحی خزری با به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو»، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ش ۴۷، ص ۲۲۸-۲۱۳.
- [۷]. دسترنج، علی؛ شهبازی، علی؛ محسنی ساروی، محسن؛ صالح‌نسب، ابوطالب؛ و شیرکوه، جعفری (۱۳۹۵). «مدل‌سازی اقلیم و مقایسه تغییرات پارامترهای اقلیمی در جبهه شمالی و جنوبی البرز با استفاده از مدل SDSM»، *علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*، ش ۳۲، ص ۱۱-۲۷.
- [۸]. رنجبر، فیروز؛ محمدی، حسین؛ عزیزی، قاسم؛ و خوش‌اخلاق، فرامرز (۱۳۹۶). «تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش روزانه در ایران»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ش ۱، ص ۲۱-۳۷.
- [۹]. فتاحی، ابراهیم؛ بابایی فینی، ام‌السلومه؛ و قاسمی، الهه (۱۳۹۳). «بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند نمایه‌های حدی بارش ایران زمین»، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ش ۳، ص ۸۵-۱۰۳.

- [۱۰]. کامبوزیا، جعفر؛ رحیمی مقدم، سجاد؛ و دیهیم‌فرد، رضا (۱۳۹۶). «برآورد پارامترهای مربوط به برخی ارقام غالب ذرت دانه‌ای در کشور به‌منظور استفاده در مدل مکانیزم‌گرای APSIM»، تولید گیاهان زراعی، ش ۱، ص ۱۴۷-۱۲۹.
- [۱۱]. کوهشاهی، سجاد روزبه؛ شاهدی، کاکا؛ و علیپور، اعظم (۱۳۹۷). «بررسی شاخص‌های حدی بارش به‌عنوان نشانه تغییر اقلیم در استان مازندران»، هفتمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، تهران.
- [۱۲]. مظفری، غلامعلی؛ عسکری‌زاده، محمد؛ کوهی، منصوره؛ و رضایی‌پور، آذر (۱۳۹۷). «چشم‌انداز نوسانات نمایه‌های فرین بارش و دما در شهر تربت حیدریه با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG برای دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱»، اندیشه جغرافیایی، ش ۱۹، ص ۶۰-۷۹.

- [13]. Abiodun, B.; Adegoke, J.; Abatan, A.; Ibe, C.; Egbebiyi, T.; Engelbrecht, F.; & Pinto, I (2017).
- [14]. "Potential impacts of climate change on extreme precipitation over four African coastal cities", *Climatic Change*, N 143 (3-4), pp: 399-413.
- [16]. Adeyeri, O.; Lawin, A.; Laux, P.; Ishola, K. & Ige, S. (2019). "Analysis of climate extreme indices over the Komadugu-Yobe basin, Lake Chad region: Past and future occurrences", *Weather and Climate Extremes*, N 23, pp: 1-21.
- [17]. Adeyeri, O.; Ishola, K. & Okogbue, E(2017). "Climate change and coastal floods: the susceptibility of coastal areas of Nigeria". *J. Coast. Zone Manag.* N 20, pp: 443.
- [18]. Ahmad, I.; Zhang, F.; Tayyab, M.; Anjum, M.; Zaman, M.; Junguo, Liu; Farid, H. & Saddique, Q(2018). "Spatiotemporal analysis of precipitation variability in annual, seasonal and extreme values over upper Indus River basin", *Atmospheric Research*, N 213, pp: 346-360.
- [19]. Alexander, L.; Fowler, H.; Bador, M.; Behrangi, A.; Donat, M.; Dunn, R.; Funk, C.; Goldie, J.; Lewis, E.; Rogé, M.; Seneviratne, S. & Venugopal, V. (2019). "On the use of indices to study extreme precipitation on sub-daily and daily timescales", *Environment Research Letters*, N 14, pp: 1-12.
- [20]. Azizzadeh, M.R.; & Javan, K.H. (2018). "Temporal and spatial distribution of extreme precipitation indices over the lake Urmia Basin, Iran", *Environmental Resources Research*, N 1, pp: 25-40.
- [21]. Barbero, R.; Foweler, H.; Blenkinsop, S.; Westra, S.; Moron, V.; Lewis, E.; Chan, S.; Lenderink, G.; Kendon, E.; Guerreiro, S.; Li, X.; Villalobos, R.; Ali, H.; & Mishra, V. (2019). "A synthesis of hourly and daily precipitation extremes in different climatic regions", *Weather and Climate Extremes*, N 26, pp: 1-20.
- [22]. Cheema, S. B.; Rasul, G.; Ali, G.; & Kazmi, D. H. (2011). "A comparison of minimum temperature trends with model projections", *Pakistan Journal of Meteorology*, N 8(15), pp: 39-52.

- [23]. Cooper, R. (2019). "Projection of future precipitation extremes across the Bangkok Metropolitan Region", *Heliyon*, N 5, pp: 1-19.
- [24]. Duncan, J. M. A.; Biggs, E. M.; Dash, J.; & Atkinson, P. M. (2013). "Spatio temporal trends in precipitation and their implications for water resources management in climate-sensitive Nepal". *Applied Geography*, N 43, pp: 138–146.
- [25]. GE, F.; Zhu, S.H.; Peng, T.; Zhao, Y.; Sielmann, F.; Fraedich, K.; Zhi, X.; Liu, X.; Tang, W.; & Ji, L. (2019). "Risks of precipitation extremes over Southeast Asia: does 1.5 °C or 2 °C global warming make a difference?" *Environment Research Letters*, N 14, pp: 1-12.
- [26]. Giorgi, F.; Raffaele, F.; & Coppola, E. (2019). "The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections", *Earth System Dynamics*, N 10, pp: 73-89.
- [27]. Goyal, M.; Goswami, U.; & Hazra, B. (2018). "Copula-based probabilistic characterization of precipitation extremes over North Sikkim Himalaya", *Atmospheric Research*, N 212, pp: 273-284.
- [28]. Guo, X.; Huang, J.; Luo, Y.; Zhao, Z.; & Xu, Y. (2016). "Projection of precipitation extremes for eight global warming targets by 17 CMIP5 models", *Nat Hazards*, N 84, pp:2299–2319.
- [29]. Li, Z.; Li, X.; Wang, Y.; & Quiring, S. (2019). "Impact of climate change on precipitation patterns in Houston, Texas, USA", *Anthropocene*, N 25, pp: 1-14.
- [30]. Maity, P.; Pichuka, S.; Prasad, R.; & Kunstmann, H. (2017). "Development of a method to identify change in the pattern of extreme streamflow events in future climate: Application on the Bhadra reservoir inflow in India", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, N 9, pp: 236-246.
- [31]. Myhre, G.; Alterskjær, K.; Stjern, C.; Hodnebrog, Q.; Marelle, L.; Samset, B.; Sillmann, J.; Schaller, N.; Fischer, E.; Schulz, M.; & Stohl, A. (2019). "Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming", *Nature research*, N1, pp:1-10
- [32]. Nkemelang, T.; New, M.; & Zaroug, M. (2018). "Temperature and Precipitation Extremes under current, 1.5°C and 1 2.0°C Global Warming above Pre-Industrial Levels over Botswana, 2 and Implications for Climate Change Vulnerability", *Environment Research Letters*, N 13, pp: 1-20.
- [33]. Rahimzadeh, F.; Asgari, A.; & Fattahi., E. (2009). "Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades", *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, N 29, 329-343.
- [34]. Pervez, M.; & Henebry, G. (2014). "Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation—Downscaled from GCM predictors", *Journal of Hydrology*, N 517, pp: 120-134.
- [35]. Rogelj, J.; den Elzen, M.; Höhne, N.; Fransen, T.; Fekete, H.; Winkler, H.; & Meinshausen, M. (2016). "Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C". *Nature*, N 534, pp: 631-639.

- [36]. Ruiz-Alvarez, O.; Singh, V.; Enciso-Medina, J.; Ontiveros-Capurata, R.; & Costa dos Santos, C. (2019). "Observed trends in daily extreme precipitation indices in Aguascalientes, Mexico", *Meteorological Applications*, N 1, pp: 1-20.
- [37]. Sajjad Khan, M.; Coulibaly, P.; & Dibike, Y. (2006). "Uncertainty analysis of statistical downscaling methods", *Journal of Hydrology*, N 319, pp: 357-382.
- [38]. Su, B.; Sun, H.; Wang, A.; Zhai, J.; Huang, J.; Wang, Y.; Wen, Sh.; & Zeng, X. (2018). "Impacts of global warming of 1.5 °C and 2.0 °C on precipitation patterns in China by regional climate model (COSMO-CLM)", *Atmospheric Research*, N 203, pp: 83-94.
- [39]. Subba, S.; Ma, Y.; & Ma, W. (2019). "Spatial and Temporal Analysis of Precipitation Extremities of Eastern Nepal in the Last Two Decades (1997–2016)", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, N 14, pp: 7523-7539.
- [40]. Sung, J.; Kwon, M.; Jeon, J.; & Seo, S. (2019). "A Projection of Extreme Precipitation Based on a Selection of CMIP5 GCMs over North Korea", *Sustainability*, N 11, pp: 1-17.
- [41]. Tangang, F.; Supari, S.; Chung, J. X.; Cruz, F.; Salimun, E.; Ngai, S. T.; Juneng, L.; Antisirisomboon, J.; Santisirisomboon, J.; Ngo-Duc, T.; Phan-Van, T.; Narisma, G.; Singhruck, P.; Gunawan, D.; Idrian, E.; Sopaheluwakan, A.; Nikulin, G.; Yang, H.; Remedio, A. R. C.; Sein, D.; & Hein-Griggs, D. (2018). "Future changes in annual precipitation extremes over Southeast Asia under global warming of 2°C", *APN Science Bulletin*, N8 (1), pp: 3-8.
- [42]. Westra S.; Alexander, L.V.; & Zwiers, F.W. (2013) "Global increasing trends in annual maximum daily precipitation". *J Climate*, N 11, pp: 3904–3918
- [43]. Xiong, J.; Yong, Z.; Wang, Z.; Cheng, W.; Li, Y.; Zhang, H.; Ye, C.; & Yang, Y. (2019). "Spatial and Temporal Patterns of the Extreme Precipitation across the Tibetan Plateau (1986–2015)", *Water*, N 11, pp: 1-24.