

پیش‌یابی اثرات گرمایش جهانی بر شدت بارش در گیلان

مرضیه غیاث‌الحسینی^۱، احمدمزیدی*^۲، کمال امیدوار^۳، فرامرز خوش‌اخلاق^۴

^۱ دانشجوی دکتری مخاطرات آب و هوایی دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۲ دانشیار، گروه جغرافیا بخش برنامه ریزی محیطی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۳ استاد، گروه جغرافیا بخش برنامه ریزی محیطی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۴ دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

چکیده

مسئله اصلی در تغییر شرایط اقلیمی به خصوص تغییرات فرین‌های اقلیمی، خسارت‌های جبران‌ناپذیر آن بر طبیعت و زندگی بشر است؛ لذا ضروری است تغییرات آن‌ها بررسی و پیش‌نگری‌های معتبری از آینده برای برنامه‌ریزی‌های سازگاری با تغییر اقلیم ارائه گردد. ابتدا داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک رشت، انزلی، ماسوله، آستارا، منجیل، جیرنده، دیلمان و رودسر از سازمان هواشناسی اخذ و برای شبیه‌سازی بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۶۰ از مدل‌های CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7 برای بررسی شدت بارش شاخص‌های حداکثر بارش یک‌روزه (RX1day)، شدت بارش (SDII)، بارش روزهای خیلی مرطوب (R95P) و بارش روزهای فوق‌العاده مرطوب (R99P) استفاده شد. نتایج نشان داد در مقیاس سالانه شاخص SDII در استان احتمال افزایش خواهد داشت. در ایستگاه جیرنده (۲۳ درصد) و دیلمان (۱۷ درصد) مقدار این افزایش بیشتر از نوار ساحلی است. RX1day در مقیاس سالانه با میانگین ۱۲ درصد افزایش خواهد یافت. مقدار تغییرات در ایستگاه‌های مختلف در ماه‌های مختلف متفاوت بوده در مناطق ساحلی در پاییز و ماه آگوست بیشترین افزایش صورت خواهد گرفت؛ اما در ایستگاه‌های جیرنده و دیلمان بیشترین افزایش در تابستان صورت خواهد گرفت. R95P در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های منجیل، لاهیجان، دیلمان، جیرنده و آستارا حدود (۱۵ درصد) کاهش خواهد یافت. در اکثر ایستگاه‌ها مقدار این شاخص در ماه‌های جولای و آگوست افزایش و در زمستان کاهش خواهد یافت. R99P به‌طور کلی افزایش خواهد یافت؛ اما این مقدار افزایش در نوار ساحلی و در تابستان و پاییز بیشتر خواهد بود. همه این نتایج بیانگر احتمال تمرکز بارش‌ها در دوره آبی و افزایش وقوع بارش‌های سیل‌آسا در گیلان است.

کلمات کلیدی: پیش‌یابی، گرمایش جهانی، شدت بارش، استان گیلان

مقدمه

روند کنونی افزایش متوسط دمای جو و سطح زمین در اثر تولید و انتشار بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای را گرمایش جهانی گویند (مؤمنی، ۱۳۸۳) که موجب بروز نوسانات در رطوبت جوی، بارش و گردش سامانه‌های جوی و تغییرات شرایط جوی و اقلیمی می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که در نتیجه افزایش دما ظرفیت نگهداشت رطوبت جو تا ۷ درصد افزایش یافته است که منجر به افزایش حدهای بارشی و تغییر در چرخه هیدرولوژی می‌شود (دانکن^۱ و همکاران، ۲۰۱۳، جورجی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹، ونگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۷). انسان‌ها با بیابان‌زایی، جنگل‌زدایی و تبدیل زمین‌ها به مناطق مسکونی، استفاده بیش از حد گازهای گلخانه‌ای و از بین بردن پوشش گیاهی به تغییر ویژگی‌های سطح زمین در مقیاس‌های منطقه‌ای و در سطح قاره‌ها پرداخته‌اند. با از بین بردن پوشش گیاهی، خاک لخت و بی‌حفاظ می‌شود و به علت افزایش رواناب، کاهش ذخیره آب که به معنای کاهش تبادل گرمای نهان تبخیر است، موجب افزایش دمای سطح زمین می‌گردد. از سوی دیگر با افزایش آلبدو مقدار تابش خالص رسیده به زمین کاهش می‌یابد. به‌طور کلی انسان با بی‌توجهی به قوانین حاکم بر طبیعت و عدم شناخت مسائل زیست‌محیطی مرتبط با آن عامل اصلی تغییر اقلیم و گرمایش جهانی محسوب می‌گردد.

در بین عوامل تهدیدآمیزی که بشر را در قرن ۲۱ تهدید می‌کنند اکنون پدیده تغییر اقلیم در رتبه نخست قرار دارد. مسئله اصلی در تغییر شرایط اقلیمی به‌خصوص تغییرات فرین‌های اقلیمی از جمله فرین‌های بارشی، به دلیل پیامدهای بالقوه شدیدی که به دنبال دارند خسارت‌های جبران‌ناپذیر آن بر طبیعت و زندگی بشر است (زرین، ۱۴۰۱). بررسی تحقیقات و گزارش‌های علمی

نشان می‌دهد که فراوانی و شدت رویدادهای فرین اقلیمی در مقیاس جهانی افزایش یافته است (احمد و همکاران، ۲۰۱۸ و سان^۴ و همکاران (۲۰۲۱). هیئت بین‌دولت تغییر اقلیم در گزارش‌های پنجم خود تأکید کرده است رخدادهای فرین اقلیمی در آینده در سطح جهانی و منطقه‌ای افزایش خواهند یافت (IPCC, 2014)^۵.

مدل‌های گردش کلی جو (GCM) یک ابزار علمی دقیق و در دسترس در سطح جهانی برای به‌تصویر کشیدن تغییرات فرین‌های اقلیمی و بخصوص فرین‌های بارشی در گذشته و آینده هستند. آخرین نسخه این مدل‌ها هم‌اکنون تحت عنوان پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده فاز ششم (CMIP6) با طیف گوناگونی از سناریوهای انتشار SSP (که تعداد متفاوتی از مناطق اقتصادی و اجتماعی را در بر می‌گیرند) در دسترس هستند (IPCC, 2019). مدل‌های گردش عمومی قدرت تفکیک فضایی کمی دارند و برونداد این مدل‌ها نمی‌تواند مستقیماً برای پیش‌بینی و ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و نقطه‌ای مورد استفاده قرار گیرند و آن‌ها نیازمند ریزگردانی به لحاظ رفتار اقلیمی مشاهداتی منطقه یا ایستگاه مورد مطالعه هستند. دو روش آماری و دینامیکی برای ریزگردانی داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو وجود دارد. در روش دینامیکی معادلات حرکت هوا در شبکه‌های منظم افقی و قائم از عمق سطح زمین تا ارتفاع حدود پوشش شپهر حل می‌شوند. این معادلات شامل معادلات تکانه، بقای جرم، قانون عمومی گازها، قوانین ترمودینامیک و شناوری هستند. این روش شبیه مدل‌سازی مدل‌های گردش عمومی هستند؛ اما دارای تفکیک بالاتر و دقیق‌تری هستند. ریزگردانی به این روش مستلزم سامانه‌های پردازشی پرسرعت و صرف وقت زیاد است. روش دیگر ریزگردانی، آماری است که دو وجه تمایز عمده با روش دینامیکی دارد: اول نیازمند

⁴ Sun⁵ Intergovernmental Panel on Climate Change¹ Duncan² Giorgi³ Wang

کردند و دریافتند که فراوانی و شدت بارش‌های فرین در دوره آینده افزایش می‌یابد. آدری و همکاران (۲۰۱۹) و ابیدون^۳ و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی در شهرهای ساحلی آفریقا دریافتند که در دوره ۲۰۳۱-۲۰۶۵ دوره‌های خشک افزایش و دوره‌های مرطوب کاهش می‌یابد. گویال^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم تحت سناریوهای RCP به شبیه‌سازی تغییرات بارش تا پایان سال ۲۱۰۰ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بارش و حدهای بارشی در سراسر ایالت سیکم هند افزایش می‌یابد. مظفری و همکاران (۱۳۹۷)، با بررسی نمایه‌های حدی دما و بارش تربت‌حیدریه برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ دریافتند که میانگین بارش پنج‌روزه و شدت بارش در آینده افزایش خواهد یافت. راثو^۵ و همکاران (۲۰۲۰)، با بررسی تغییرات آتی فرین‌های بارشی طی دوره موسمی در شمال شرقی هند دریافتند شدت و فراوانی فرین‌های بارشی در بیشتر مناطق شبه‌جزیره جنوبی هند در هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در طول فصل موسمی افزایش می‌یابد. ژائو^۶ و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات فرین‌های دما و بارش را در مناطق خشک و نیمه‌خشک چین بر مبنای رویکرد چندمدلی در دوره تاریخی و پیش‌نگری شده آینده بر اساس برونداد مدل‌های ۵ CMIP بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که فرین‌های بارشی و شدت بارش افزایش خواهد یافت. داس^۷ و همکاران (۲۰۲۱)، به بررسی تغییرات خشکسالی در هند با داده‌های ۱۹ مدل مقیاس‌کاهی شده با پروژه NEX-GDDP پرداختند. نتایج بررسی ایشان نشان داد شدت و فراوانی خشکسالی برای دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت در بیشتر مناطق هند افزایش می‌یابد. واقفی و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه فرین‌های اقلیمی ایران در شرایط تغییر اقلیم بر اساس

رفتار مشاهداتی (گذشته) ایستگاه مورد مطالعه است، دوم اینکه مدل‌سازی در یک دوره حدود دو تا سه دهه در کسری از ثانیه انجام می‌شود. از این رو در دهه‌های اخیر به طور گسترده‌ای از روش ریزگردانی آماری در شبیه‌سازی‌های اقلیمی در سراسر جهان استفاده شده است. مدل‌های LARS-WG، SDSM، MAGICC، SCENGEN، NEX-GDDP چند نمونه از روش‌های ریزگردانی آماری هستند.

مطالعات علمی نشان‌دهنده این است که تنها راه مقابله با تغییر اقلیم، افزایش دانش در این زمینه است، شناخت آثار سوء پدیده تغییرات اقلیمی امری اجتناب‌ناپذیر است، ولی مهم‌تر از آن، آگاهی‌بخشی به وارثان زمین، برای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم در راستای کاهش آسیب‌پذیری، کنترل روند تخریب محیط‌زیست و بازسازی آسیب‌های وارد شده به طبیعت است. بدون تردید اتخاذ تمهیدات مناسب می‌تواند مواجه شدن با عواقب ناشی از وقوع تغییرات اقلیم را تا حد زیادی به تأخیر اندازد.

تاکنون فرین‌های بارشی یکی از مهم‌ترین موضوعات تحقیقاتی مورد توجه در اقلیم‌شناسی، هواشناسی و علوم مرتبط با منابع آب در سطح جهان و ایران بوده که با استفاده از داده‌ها و روش‌های مختلفی بررسی شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

کوپر^۱ (۲۰۱۹)، در تحقیقی به بررسی بارش‌های فرین در بانکوک پرداخت و به این نتیجه رسید که بارش‌های سنگین و خیلی سنگین تا پایان قرن نسبت به دوره پایه ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. سانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۹)، بارش‌های فرین را در کره جنوبی در دوره (۲۰۷۰-۲۰۹۹) با استفاده از سناریوی RCP8.5 بررسی

⁶ Zhao⁷ Das¹ Cooper² Sung³ Abiodun⁴ Goyal⁵ Rao

نتایج پنج مدل از سری مدل‌های CMIP5 به این نتیجه رسیدند که ایران در سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۴۹ با افزایش احتمال سیلاب روبه‌رو خواهد شد. کنترایی بروجردی و همکاران (۲۰۱۹) کارایی هفت مدل CMIP5 را برای فرین‌های بارش با داده‌های ماهواره‌ای در ایران بررسی کردند و دریافتند مدل HadGEM2-ES بهترین کارایی را در شبیه‌سازی شدت بارش ایران دارد. زرین و داداشی رودباری (۲۰۲۱)، به پیش‌نگری فرین‌های بارش آینده در ایران براساس روش همادی چندمدلی CMIP6 پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد بیشینه بارش یک‌روزه و شدت بارش در ایران تا پایان قرن حاضر افزایشی است.

در سال‌های اخیر تحقیقاتی با عنوان تغییر اقلیم و پایش و پیش‌نگری آن با استفاده از داده‌ها و روش‌های مختلف در نواحی خزری صورت گرفته است از جمله می‌توان به صادقی و همکاران (۱۳۹۸)، جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۵)، مرتضی پور و همکاران (۱۳۹۸)، بابائیان و همکاران (۱۳۹۶)، فاتحی و همکاران (۱۳۹۵)، افضل‌ی و حسامی کرمانی (۱۳۹۴)، کاظمی راد و محمدی (۱۳۹۴) اشاره کرد. در همه تحقیقات فقط چند ایستگاه در بخش ساحلی مورد مطالعه واقع شده و در بخش وسیعی از نواحی مرتفع استان مطالعه‌ای صورت نگرفته و ماهیت فرین‌های بارشی در دوره مشاهداتی و آینده

بررسی نشده است. باتوجه‌به اینکه این منطقه اهمیت زیادی در بخش زیست‌محیطی، کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی دارند؛ لذا در این پژوهش سعی شده است به اثرات گرمایش جهانی بر وضعیت شدت بارش استان گیلان بررسی کرده تا بتوان به تفاوت‌های اقلیمی و تغییرات در کل استان پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از داده‌های هشت ایستگاه سینوپتیک در استان گیلان استفاده شده است. عواملی مانند دوری و نزدیکی به دریای خزر، ورود توده‌های هوای مختلف، وسعت استان، توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی باعث تنوع شرایط اقلیمی در استان شده است. به‌طوری‌که در نوار ساحلی استان شرایط اقلیمی معتدل و در نواحی کوهستانی اقلیم سرد و نیمه‌خشک حاکم است؛ بنابراین در انتخاب این ایستگاه‌ها علاوه بر کامل بودن سری زمانی، پراکنش مناسب نیز مورد توجه و بررسی قرار گرفت تا همه بخش‌های استان را پوشش دهند. با توجه به نبود آمار طولانی مدت در همه ایستگاه‌ها، دوره مطالعاتی در ایستگاه‌های مختلف مشترک نبوده و در هر ایستگاه از دوره آماری موجود در بررسی و تحلیل‌های آماری استفاده گردید. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و دوره مورد مطالعه هر ایستگاه آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه در پژوهش

شماره	نام ایستگاه	دوره آماری مورد مطالعه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع ایستگاه (متر)
۱	رشت	۱۹۸۱-۲۰۲۱	۴۹/۶۲	۳۷/۳۲	-۸/۶
۲	بندر انزلی	۱۹۸۱-۲۰۲۱	۴۹/۴۵	۳۷/۴۸	-۲۳
۳	آستارا	۱۹۸۶-۲۰۲۱	۴۸/۸۵	۳۸/۳۶	-۲۱
۴	رودسر	۲۰۰۷-۲۰۲۱	۵۰/۳۲	۳۷/۱۲	-۲۲
۵	منجیل	۱۹۹۳-۲۰۲۱	۴۹/۴	۳۶/۷۲	۳۳۸
۶	دیلمان	۲۰۰۷-۲۰۲۱	۴۹/۹۱	۳۶/۸۸	۱۴۴۷
۷	ماسوله	۲۰۰۷-۲۰۲۱	۴۸/۹۸	۳۷/۱۵	۱۰۸۱
۸	چیرنده	۲۰۰۷-۲۰۲۱	۴۹/۸	۳۶/۴۸	۱۵۸۱

شاخص‌های حداکثر بارش روزانه، شاخص ساده شدت بارش، روزهای خیلی مرطوب و روزهای فوق‌العاده مرطوب انتخاب و با برنامه‌نویسی در محیط پایتون در مقیاس ماهانه و سالانه محاسبات انجام شد.

جهت بررسی چشم‌انداز و چگونگی تغییرات شدت بارش، از شاخص‌های ارائه شده توسط کارگروه تخصصی تغییر اقلیم، که سازمان هواشناسی جهانی این شاخص‌ها را شاخص‌های استاندارد فرین معرفی کرده و امکان مقایسه در سطح جهانی را فراهم می‌کند، استفاده شده است.

جدول ۲ نمایه‌های حدی منتخب برای تحلیل شدت بارش معرفی شده توسط کارگروه CCL/CLIVA

نمایه	نام نمایه	تعریف نمایه (واحد)
RX1day	حداکثر بارش روزانه	بیشترین مقدار بارش در یک روز میلیمتر
SDII	شاخص ساده شدت بارش	مقدار بارش ماهانه (سالانه) تقسیم بر تعداد روزهای با بارش بیشتر از یک میلیمتر (میلیمتر)
R95P	روزهای خیلی مرطوب	مجموع بارش بیشتر از صدک ۹۵ (میلیمتر)
R99P	روزهای فوق‌العاده مرطوب	مجموع بارش بیشتر از صدک ۹۹ (میلیمتر)

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (f_t - A_t) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (F_t - A_t)^2}{n}} \quad (2)$$

A_t و F_t در معادلات به ترتیب مقدار برآورد شده و مقدار مشاهداتی متغیر هستند و n تعداد نقاط شبکه با مقدار مشاهداتی است.

بحث و نتایج

درست‌سنجی و سنجش کارایی داده‌های شبیه‌سازی شده

توانمندی و کارایی عملکرد دو مدل MPIESM3 و CanESM5 در شبیه‌سازی بارش در دوره مشاهداتی (۲۰۲۱-۲۰۱۱) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج در جدول (۲) آورده شده است. نتایج سنجش ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان‌دهنده این است که مقدار خطا در بین ایستگاه‌های گیلان بین ۵.۹ تا ۲۲.۶ میلیمتر است. بیشترین خطا متعلق به ایستگاه منجیل است که می‌تواند به

برای شبیه‌سازی بارش در دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۱ از مدل‌های سری ششم گزارش IPCC استفاده شد. دو مدل CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP1-2.6 (خوش‌بینانه)، SSP2-4.5 (سناریوی میانه) و SSP3-7 (سناریوی بدبینانه) انتخاب و با استفاده از مدل LARS-WG ریزگردان شدند.

برای درست‌سنجی مدل‌های منتخب از سنجش آماری میانگین اریبی خطا (MBE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RSME) استفاده شد. سنجش MBE (رابطه ۱) برای بررسی اختلاف بین میانگین مقادیر مشاهداتی و مدل استفاده می‌شود و بیانگر انحراف از میانگین است. این مقدار می‌تواند مثبت یا منفی باشد که نشان‌دهنده برآورد کمتر یا بیشتر از میانگین داده‌ها است. سنجش RSME (رابطه ۲) یکی از سنجش‌های آماری است که معمولاً از آن برای بررسی دقت پیش‌بینی یک مدل در برابر داده‌های مشاهداتی استفاده می‌شود. هر چه مقدار به دست آمده کمتر باشد دقت مدل بیشتر است.

داشته اند. در ایستگاه رشت و رودسر نیز مقدار اریبی مدل MPIESM مثبت بوده اما در سایر ایستگاهها مقدار برآورد مدلها کمتر و با اریبی منفی همراه بوده است. بررسی نتایج به دست آمده نشان داد که هر دو مدل توانسته اند به خوبی مقادیر بارش را شبیه سازی کنند. دقت مدلها در سطح معنی داری ۰.۹۵ مورد تأیید است.

دلیل موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی پیچیده منطقه باشد. مقدار خطای مدل CANESM5 بیشتر از مدل MPIESM3 است. یکی دیگر از سنجه های آماری برای سنجش کارایی مدلها MBE بوده است. نتایج این سنجه نشان می دهد که مقدار اریبی مدلها در ایستگاههای دیلمان و جیرنده (به جز CANESM5, SSP3-7 و MPIESM3, SSP2-4.5) مثبت بوده یعنی برآورد بیشتر

جدول ۳. نتایج سنجه های کار آبی و دقت داده های شبیه سازی شده نسبت به داده های مشاهداتی (۲۰۲۱-۲۰۱۰)

ماسوله	دیلمان	جیرنده	منجیل	رودسر	رشت	انزلی	آستارا	مشاهداتی	
۱۰۰۴	۴۲۴	۳۳۴	۲۳۴	۱۵۰۰	۱۳۳۰	۱۸۶۵	۱۴۲۷	مشاهداتی	MPIESM3 SSP1-2.6
۹۶۹	۴۴۱	۳۳۸	۲۲۵	۱۵۶۸	۱۴۳۲	۱۷۵۴	۱۴۱۹	شبیه سازی شده	
۹۸	۳۸	۲۸	۴۳	۱۲۵	۱۲۳	۱۹۵	۱۶۳	RMSE	
-۸۸	۲۴	۲۷	-۳۷	۶۹	۷۸	-۱۷۱	-۸۸	MBE	
۱۰۰۴	۴۲۴	۳۳۴	۲۳۴	۱۵۰۰	۱۳۳۰	۱۸۶۵	۱۴۲۷	مشاهداتی	MPIESM3 SSP2-4.5
۹۶۶	۴۳۴	۳۳۳	۲۲۳	۱۵۳۴	۱۴۳۹	۱۷۸۹	۱۳۹۹	شبیه سازی شده	
۱۲۱	۳۴	۲۱	۴۳	۹۸	۱۴۳	۱۹۵	۱۲۱	RMSE	
-۱۰۷	۲۱	-۱۶	-۳۷	۷۱	۹۵	-۱۶۸	-۷۸	MBE	
۱۰۰۴	۴۲۴	۳۳۴	۲۳۴	۱۵۰۰	۱۳۳۰	۱۸۶۵	۱۴۲۷	مشاهداتی	MPIESM3 SSP3-7
۹۶۶	۴۳۹	۳۳۷	۲۲۳	۱۵۲۴	۱۴۶۰	۱۷۶۴	۱۴۱۶	شبیه سازی شده	
۱۰۳	۳۵	۳۸	۴۵	۸۹	۱۳۸	۱۸۶	۱۱۷	RMSE	
-۱۰۱	۲۳	۲۱	-۴۲	۶۸	۹۷	-۱۵۳	-۸۳	MBE	
۱۰۰۴	۴۲۴	۳۳۴	۲۳۴	۱۵۰۰	۱۳۳۰	۱۸۶۵	۱۴۲۷	مشاهداتی	CANESM5 SSP1-2.6
۹۱۸	۴۳۸	۳۳۶	۲۲۳	۱۴۱۶	۱۳۱۳	۱۷۷۱	۱۴۴۱	شبیه سازی شده	
۱۳۴	۴۶	۳۵	۵۳	۱۴۱	۱۸۷	۲۰۸	۱۵۹	RMSE	
-۱۱۲	۳۳	۱۹	-۴۶	-۹۹	-۱۲۲	-۱۷۱	-۹۵	MBE	
۱۰۰۴	۴۲۴	۳۳۴	۲۳۴	۱۵۰۰	۱۳۳۰	۱۸۶۵	۱۴۲۷	مشاهداتی	CANESM5 SSP2-4.5
۹۹۵	۴۴۵	۳۴۲	۲۲۹	۱۴۲۸	۱۳۰۴	۱۸۱۹	۱۴۴۴	شبیه سازی شده	
۸۷	۴۹	۴۷	۳۴	۱۳۶	۱۸۲	۲۰۸	۱۵۶	RMSE	
-۸۵	۳۲	۲۸	-۲۶	-۱۰۷	-۱۲۲	-۱۷۱	-۹۶	MBE	
۱۰۰۴	۴۲۴	۳۳۴	۲۳۴	۱۵۰۰	۱۳۳۰	۱۸۶۵	۱۴۲۷	مشاهداتی	CanESM5 SSP3-7
۹۷۳	۴۳۲	۳۳۱	۲۱۹	۱۳۸۲	۱۲۹۵	۱۷۶۱	۱۴۴۹	شبیه سازی شده	
۱۱۴	۳۶	۳۴	۴۳	۱۵۸	۱۹۸	۲۱۱	۱۷۶	RMSE	
-۹۶	۲۲	-۲۳	-۳۸	-۱۲۸	-۱۳۵	-۱۷۴	-۱۰۷	MBE	

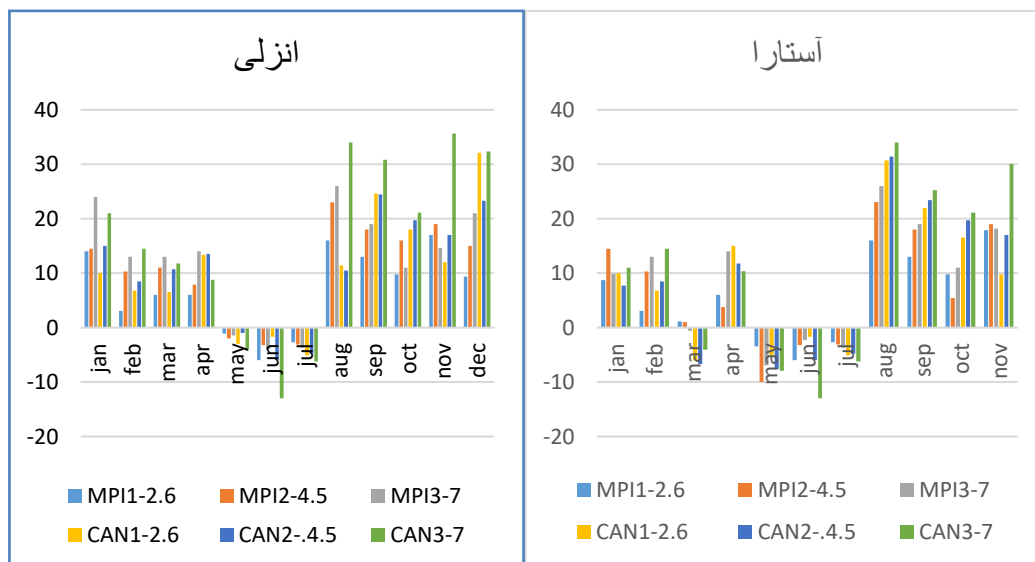
نمایه‌های شدت بارش

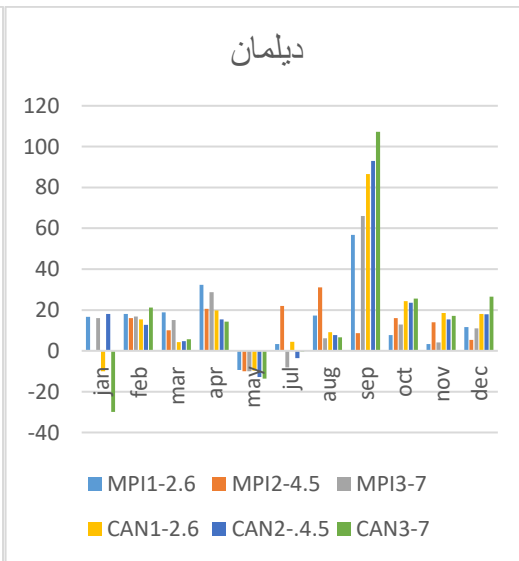
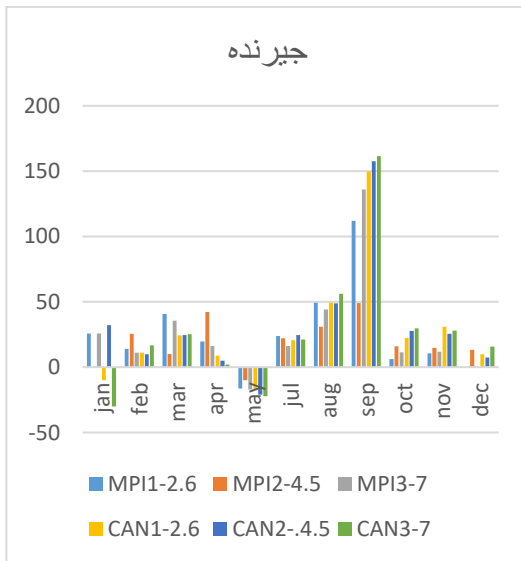
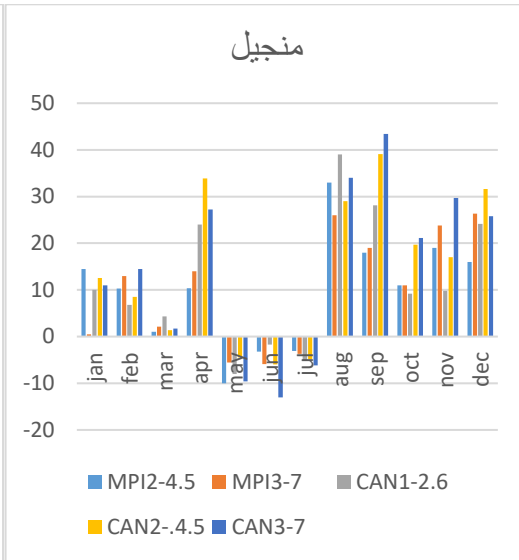
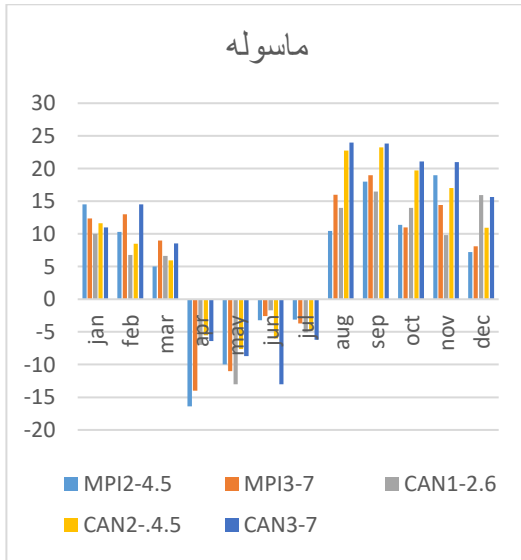
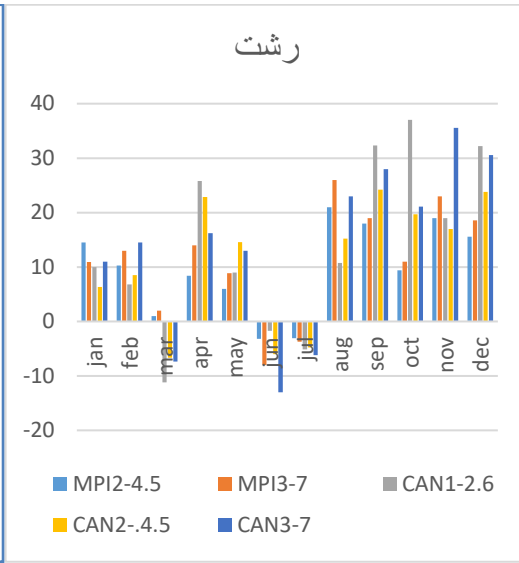
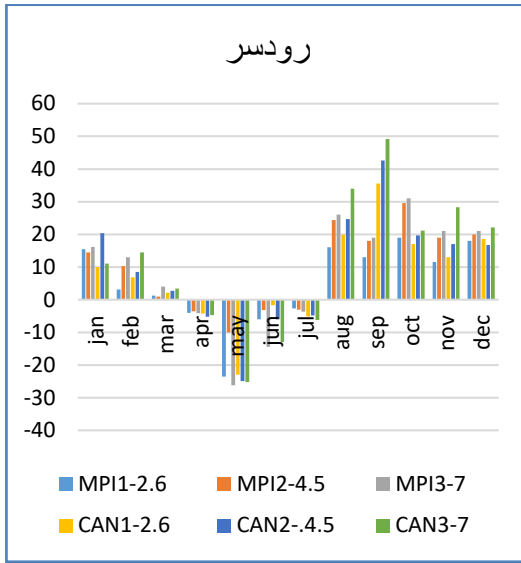
شاخص ساده شدت بارش SDII

دردوره مشاهداتی بیشترین شدت بارش در نوار ساحلی و مناطق پربارش استان مانند ایستگاه انزلی، آستارا و رودسر و کمترین شدت بارش سالانه در ایستگاه منجیل و جیرنده ثبت شده است (شکل ۲، راست). از نظر زمانی نیز در مناطق ساحلی و جلگه بیشترین شدت بارش در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر اما در مناطق مرتفع در ماه‌های نوامبر و دسامبر و فصل زمستان بیشترین شدت بارش تجربه شده است.

بررسی داده‌های شبیه‌سازی شده دو مدل CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۶۰ در سطح ایستگاه‌های استان نشان می‌دهد به طور کلی در مقیاس سالانه شدت بارش در استان افزایش خواهد یافت. میانگین مقدار افزایش شدت بارش در ایستگاه جیرنده (۲۳ درصد)، دیلمان (۱۷ درصد) و ایستگاه‌های واقع در نوار ساحلی (۱۰ درصد) خواهد بود در واقع مقدار شدت

بارش در ایستگاه‌های کوهستانی بیشتر از نوار ساحلی خواهد بود. در مقیاس ماهانه مقدار شدت بارش در دوره آینده نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه آستارا در ماه‌های مارس، می، ژوئیه و ژولای، ایستگاه انزلی و منجیل در ماه‌های می، ژوئیه و ژولای، ایستگاه‌های رشت در ماه‌های مارس، ژوئیه و ژولای، ایستگاه‌های رودسر و ماسوله در ماه‌های آوریل، می، ژوئیه و ژولای، ایستگاه جیرنده در ماه می و ژانویه و ایستگاه دیلمان در ماه می و ژولای کاهش پیدا خواهد کرد. به جز ماه‌های ذکر شده، مقدار شدت بارش در سایر ماه‌ها افزایش خواهد یافت. بیشترین مقدار افزایش شدت بارش در نوار ساحلی در فصل پاییز است. اما این مقدار افزایش در دو ایستگاه کوهستانی جیرنده و دیلمان در فصل تابستان علی‌الخصوص در ماه سپتامبر تجربه خواهد شد (شکل ۱). این موضوع می‌تواند بیانگر احتمال افزایش بارش‌های سیلابی در سال‌های آینده در استان گیلان باشد.



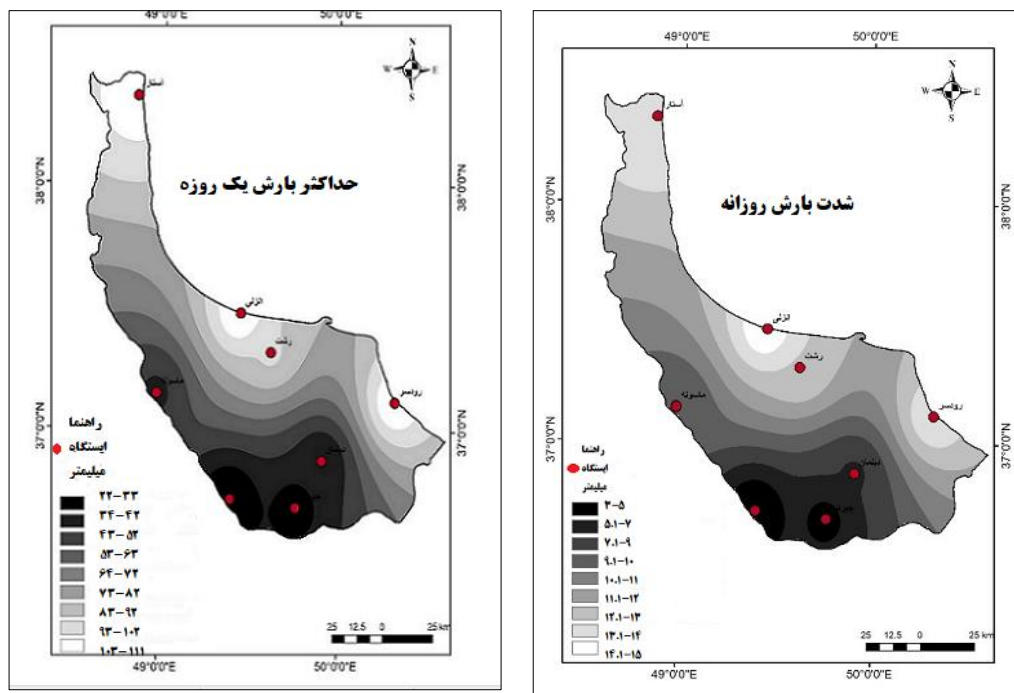


شکل ۱. درصد تغییرات ماهانه شدت بارش شبیه سازی شده مدل CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP3-7 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۶۰ نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه‌های گیلان

حداکثر بارش روزانه RX1day

این نمایه حداکثر بارش ۲۴ ساعته در هر ماه یا سال است که با بررسی آن می‌توان از وضعیت بارش سیلابی در یک منطقه اطلاعاتی را بدست آورد. پراکنش مقدار این شاخص در دوره مشاهداتی نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه‌های نوار ساحلی مانند آستارا، انزلی، رودسر و لاهیجان با میانگین سالانه ۱۰۶ میلیمتر می‌باشد. با فاصله گرفتن از بخش ساحلی مقدار این نمایه کمتر می‌شود و کمترین مقدار آن در ایستگاه منجیل با میانگین ۲۲/۷ میلیمتر ثبت شده است (شکل ۲، چپ).

موضوع می‌تواند بیانگر نقش دریای خزر و ورود توده‌های هوای مختلف در تامین رطوبت بارش‌ها در این بخش از استان باشد. از نظر زمانی در ایستگاه‌های نوار ساحلی بیشترین مقدار حداکثر روزانه در به ترتیب در اکتبر، سپتامبر و نوامبر و در ماه می کمترین مقدار این شاخص اتفاق می‌افتد. اما در ایستگاه نواحی مرتفع این الگو تغییر کرده و از ماه ژوئن تا سپتامبر کمترین مقادیر ثبت شده است.



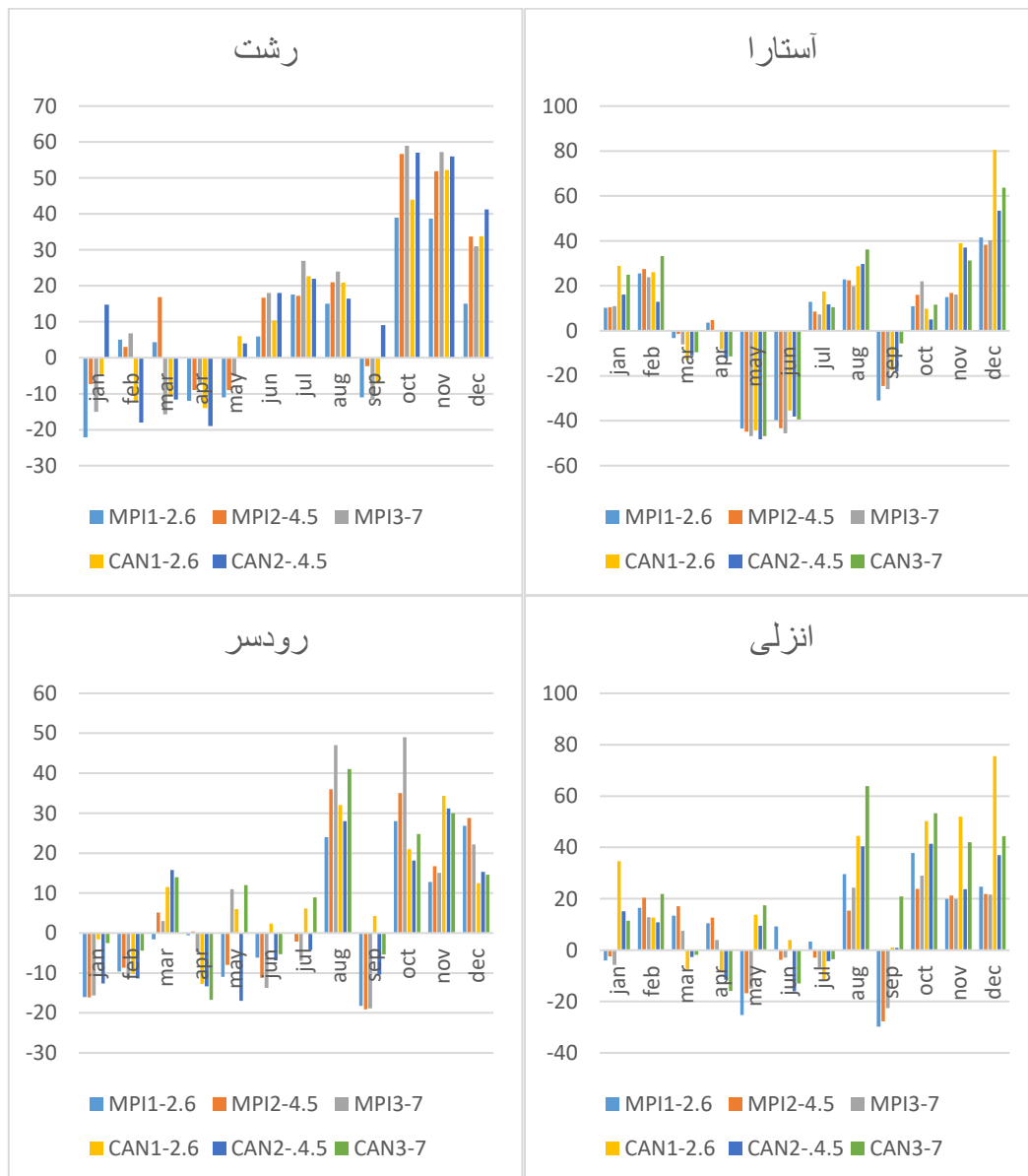
شکل ۲. توزیع فضایی شاخص ساده شدت بارش (چپ) و حداکثر بارش یک روزه (راست) در استان گیلان دوره مشاهداتی

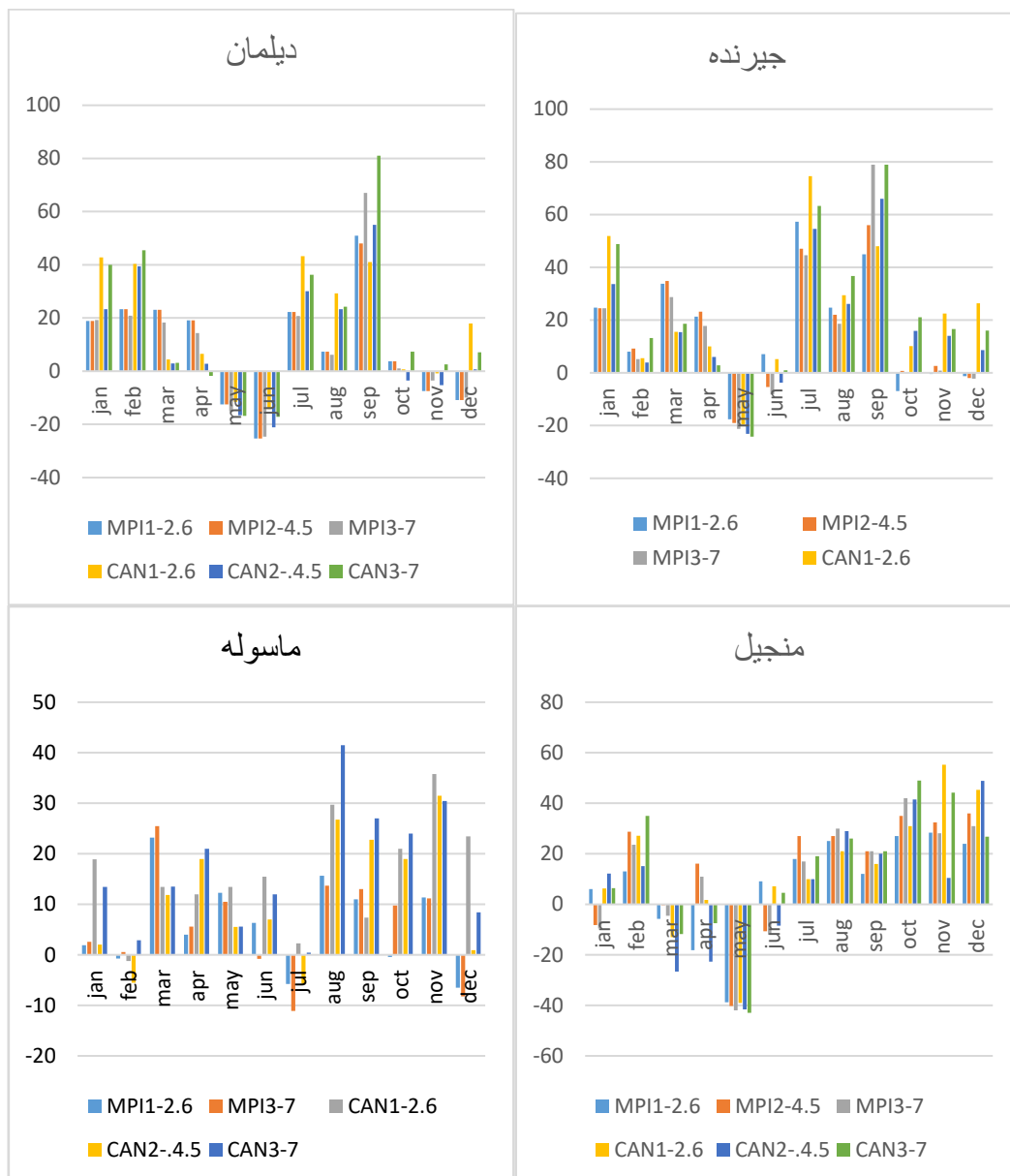
یک‌روزه در گیلان در مقیاس سالانه به طور میانگین حدود ۱۲ درصد افزایش خواهد یافت. مقدار تغییرات در ایستگاه‌های مختلف در ماه‌های مختلف متفاوت بوده در مناطق ساحلی در فصل پاییز و ماه آگوست بیشترین

بررسی داده‌های شبیه سازی شده دو مدل CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، 2.6 و SSP3-7 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۶۰ در سطح ایستگاه‌های استان نشان می‌دهد حداکثر بارش

کمیت در فصل زمستان نیز در این دو ایستگاه ۲۳ درصد است که قابل توجه می‌باشد. ولی در ماه‌های می و ژوئیه در ایستگاه‌های دیلمان و جیرنده، در ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئیه، در ایستگاه‌های انزلی و آستارا، در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل و می و در ایستگاه‌های رشت و رودسر و منجیل مقدار این شاخص کاهش خواهد یافت (شکل ۳).

افزایش صورت خواهد گرفت. با توجه به اینکه در گیلان تمرکز بارش در دوره مشاهداتی در فصل پاییز می‌باشد افزایش این نمایه در دوره آینده نشانگر افزایش شدت بارش سیلابی در این فصل باشد که می‌تواند خسارت‌های زیادی را در بخش‌های مختلف وارد کند. در دو ایستگاه کوهستانی جیرنده و دیلمان بیشترین افزایش در فصل تابستان صورت خواهد گرفت. البته مقدار افزایش این





شکل ۳. درصد تغییرات ماهانه حداکثر بارش یک روزه شبیه سازی شده مدل CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP1-SSP3-7 و SSP2-4.5,2.6 نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه‌های گیلان

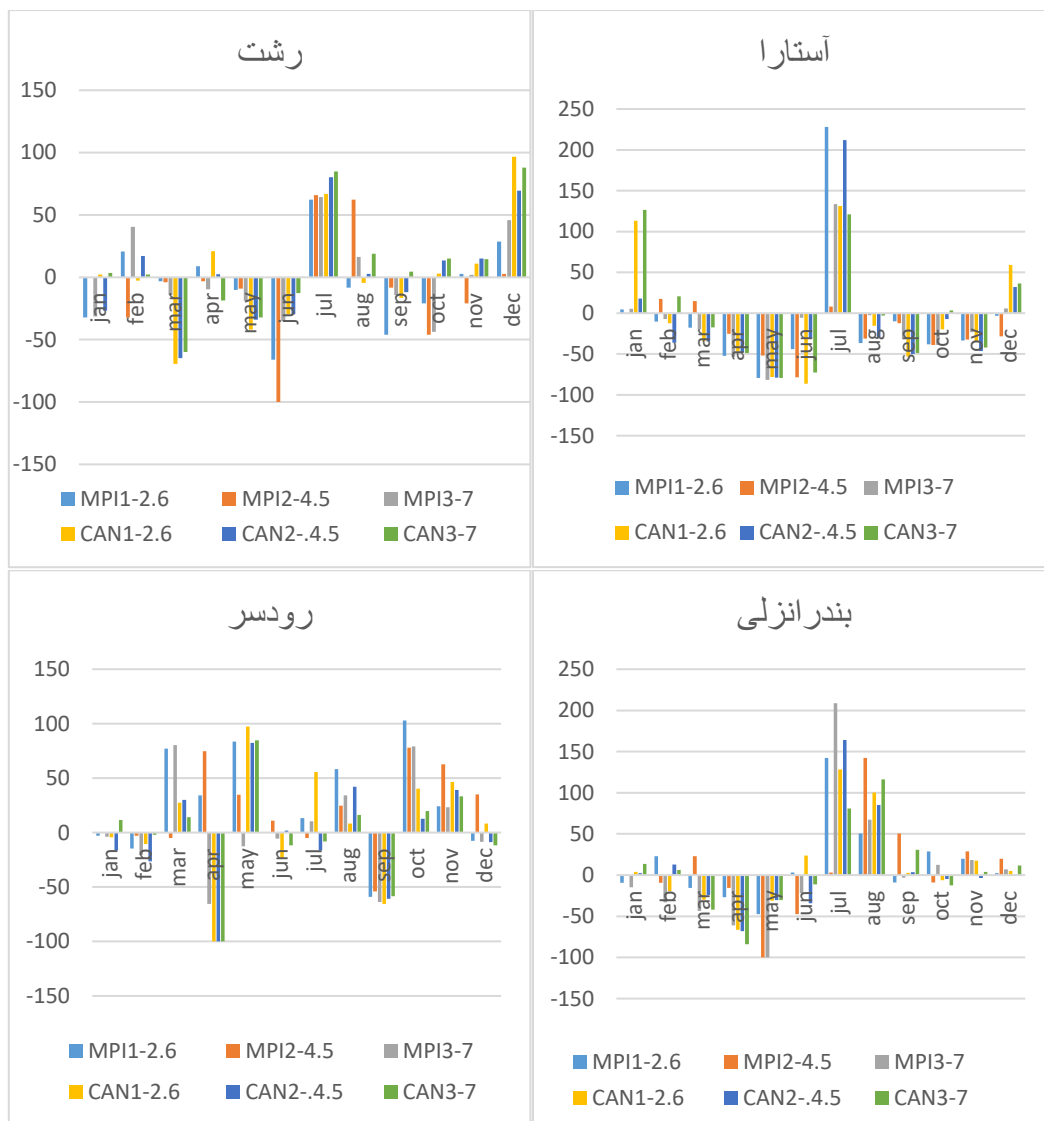
روزهای خیلی مرطوب R95p

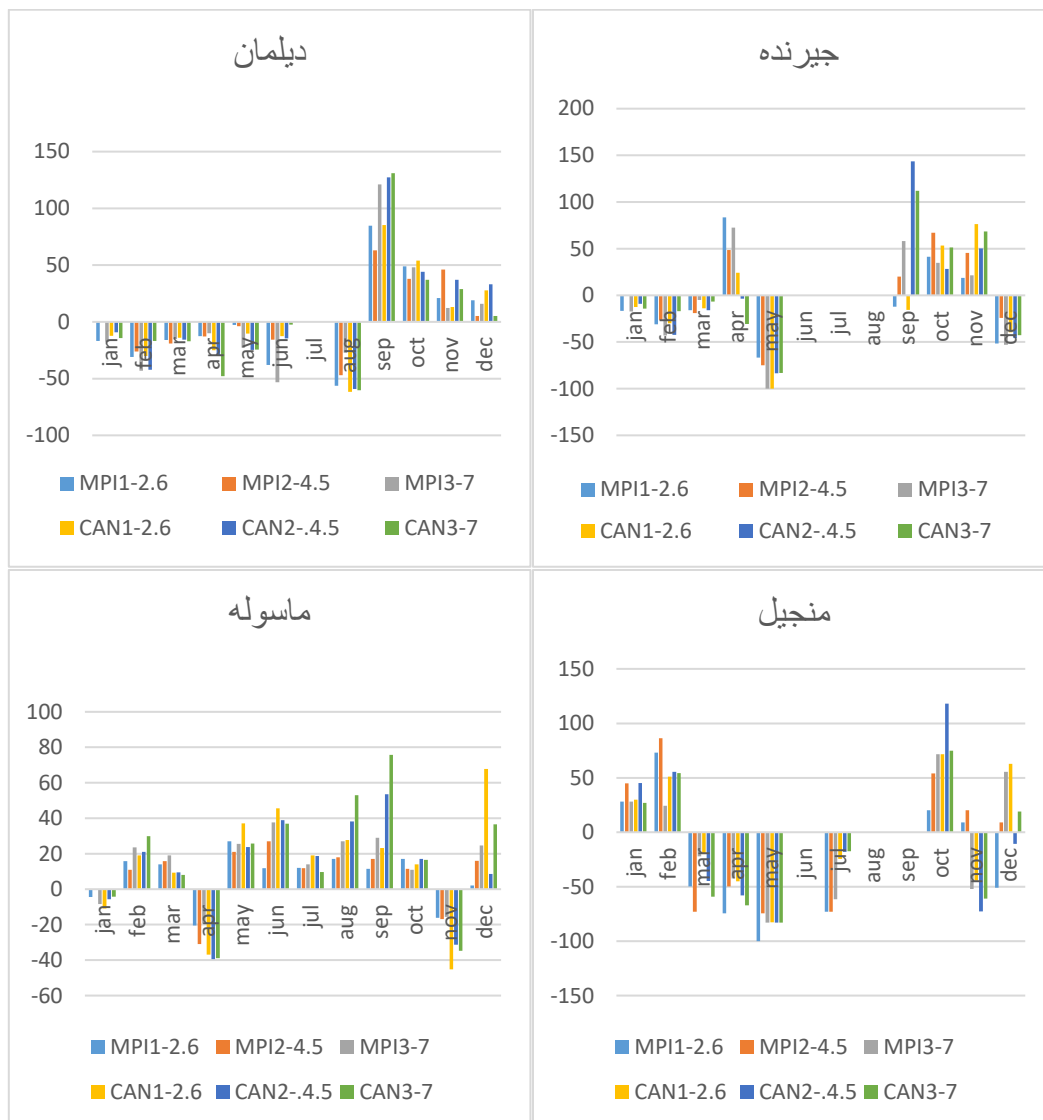
منجیل، جیرنده و دیلمان مشاهده می‌شود (شکل ۵، راست). از نظر زمانی نیز تفاوت‌هایی بین ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. به طور کلی بیشترین مقدار در ایستگاه‌های ساحلی در فصل پاییز و در ایستگاه‌های مناطق مرتفع در ماه‌های دسامبر، مارس و آوریل ثبت گردیده است.

به مجموع بارش دهک ۹۵ در هر ایستگاه روزهای خیلی مرطوب گفته می‌شود که با توجه به ماهیت نسبی و مقایسه‌ای خود با داده‌های همان ایستگاه می‌تواند از کارایی ویژه‌ای برخوردار باشد. بیشترین مقدار این شاخص در استان در مناطق جلگه‌ای مانند ایستگاه‌های رشت، انزلی و لاهیجان و کمترین مقدار در ایستگاه

تجربه خواهد کرد. مقدار شاخص در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های منجیل، لاهیجان، دیلمان، جیرنده و آستارا حدود (۱۵ درصد) کاهش خواهد یافت. در اکثر ایستگاه-ها مقدار این شاخص در ماه‌های ژولای و آگوست افزایش و در فصل زمستان کاهش خواهد یافت (شکل ۴).

بررسی داده‌های شبیه‌سازی شده دو مدل SSP1-CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP3-7 و SSP2-4.5,2.6 در دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۱ در سطح ایستگاه‌های استان نشان می‌دهد شاخص روزهای خیلی مرطوب در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف به دلیل ماهیت و موقعیت اقلیمی و جغرافیایی تغییرات متفاوتی را



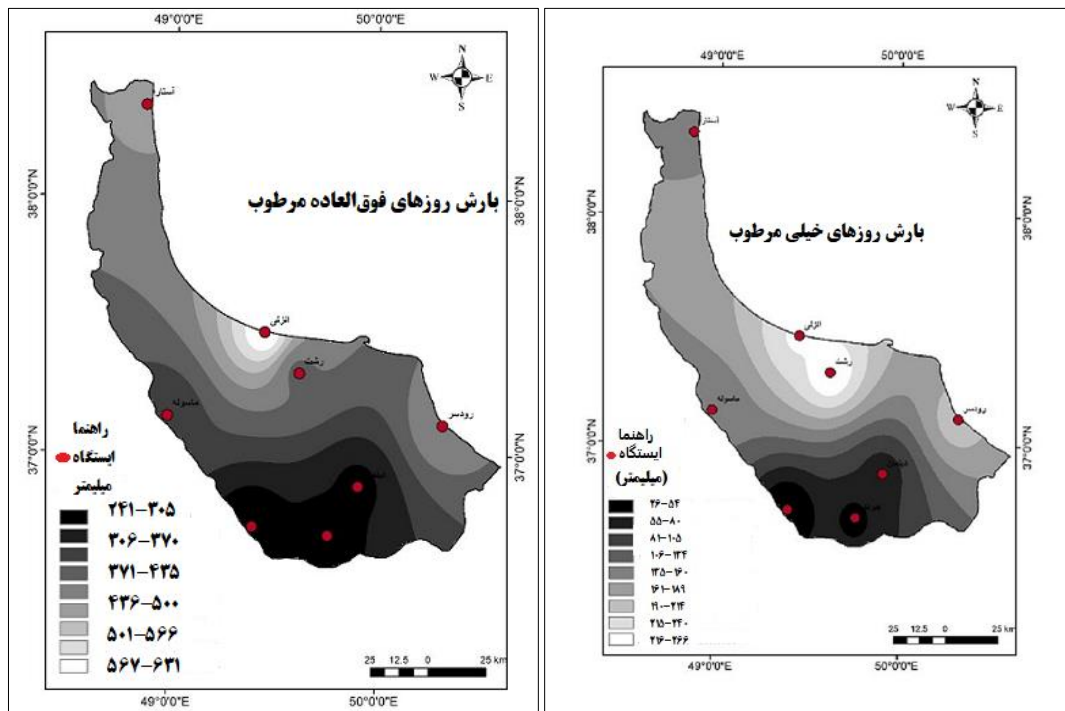


شکل ۴. درصد تغییرات ماهانه بارش روزهای خیلی مرطوب شبیه‌سازی شده مدل CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP1-2.6 و SSP2-4.5,2.6 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۶۰ نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه‌های استان گیلان

شاخص روزهای فوق‌العاده مرطوب R99P

به مجموع بارش دهک ۹۹ در هر ایستگاه روزهای فوق‌العاده مرطوب گفته می‌شود. بیشترین مقدار این شاخص از نظر مکانی در ایستگاه بندرانزلی با میانگین سالانه ۶۳۱ میلی‌متر و آستارا با میانگین سالانه ۳۸۰ میلی‌متر و کمترین مقدار در ایستگاه منجیل با میانگین سالانه ۴۴.۶

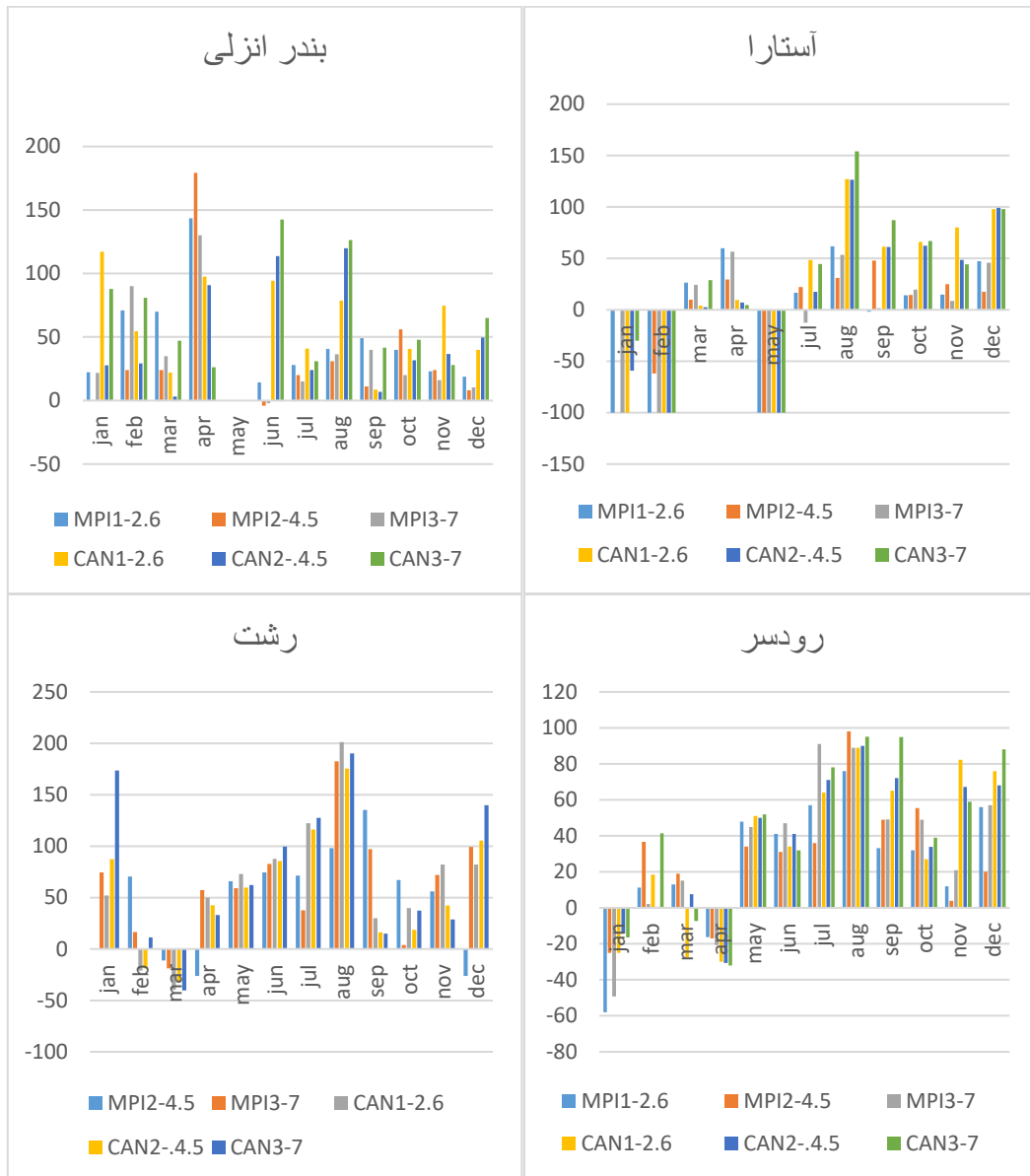
میلی‌متر و جیرنده با میانگین سالانه ۶۷/۶ میلی‌متر مشاهده شده است (شکل ۵، چپ). از نظر زمانی نیز بیشترین مقدار به ترتیب در ماه‌های اکتبر، سپتامبر، نوامبر و دسامبر و کمترین در ماه‌های می، جون و آوریل اتفاق می‌افتد.

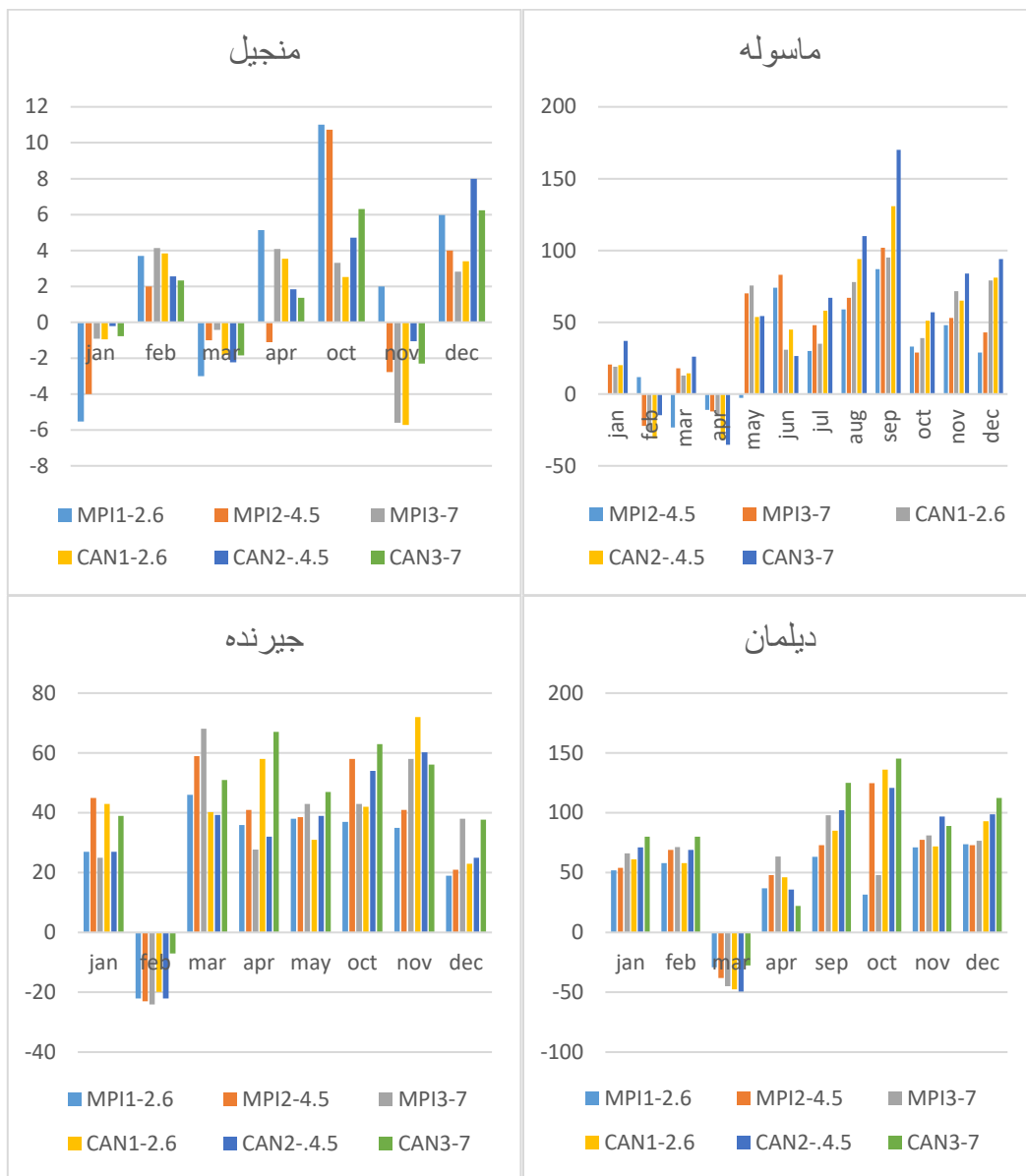


شکل ۵. توزیع فضایی شاخص R95P (راست) و شاخص R99P (چپ) در استان گیلان در دوره مشاهداتی

کاهش خواهد یافت. اما به‌طور کلی مقدار این شاخص با میانگین ۱۰ درصد افزایش خواهد یافت. این مقدار افزایش در نوار ساحلی و در فصل تابستان و پاییز بیشتر خواهد بود. با توجه به اینکه تعداد روزهای بارشی در استان کاهشی خواهد بود بنابراین شدت این شاخص بیشتر خواهد شد که نشانگر افزایش شدت بارش‌های سیل‌آسا در استان می‌باشد. کمترین تغییرات را در ایستگاه منجیل شاهد خواهیم بود (شکل ۶).

بررسی داده‌های شبیه‌سازی شده دو مدل CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۶۰ در سطح ایستگاه‌های استان نشان می‌دهد شاخص روزهای فوق‌العاده مرطوب در ایستگاه جیرنده در ماه فوریه، ایستگاه دیلمان در ماه مارس، ایستگاه رشت در ماه مارس و فوریه، ایستگاه رودسر در ماه ژانویه، مارس و آوریل، ایستگاه ماسوله در ماه فوریه و آوریل، ایستگاه منجیل در ماه ژانویه، مارس و نوامبر نسبت به دوره مشاهداتی





شکل ۶. درصد تغییرات بارش روزهای فوق لعاده مرطوب شبیه‌سازی شده مدل CanESM5 و MPIESM3 و سناریوهای SSP1-SSP3-7 و SSP2-4.5,2.6 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۶۰ نسبت به دوره مشاهداتی در ایستگاه‌های گیلان

نتیجه‌گیری

گزارش تغییر اقلیم (CMIP6) پرداخته شده است. براساس نتایج پارامترهای آماری خطاسنجی RSME و MBE میزان اریبی مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش بین ۶ تا ۱۳ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد تایید می‌باشد.

بر اساس نتایج مدل‌ها احتمال افزایش شاخص SDII در مقیاس سالانه در استان گیلان وجود دارد. در دو

تغییرات فرین‌های اقلیمی موجب خسارت‌های جبران‌ناپذیر بر بخش‌های مختلف زندگی بشر و طبیعت وارد می‌کند. با مطالعه وضعیت فرین‌های اقلیمی می‌توان برنامه‌ای جهت سازگاری با این تغییرات و کاهش خطرات ناشی از آن ارائه داد. در این مطالعه به پیش‌یابی شدت بارش با استفاده از سناریوها و مدل‌های سری ششم

ایستگاه کوهستانی جیرنده (میانگین ۲۳ درصد) و دیلمان (۱۷ درصد) مقدار این افزایش بیشتر از نوار ساحلی است میانگین افزایش شدت بارش در ایستگاه‌های ساحلی ۱۰ درصد می‌باشد. از نظر زمانی بیشترین مقدار افزایش شدت بارش در نوار ساحلی در فصل پاییز اما در دو ایستگاه کوهستانی در فصل تابستان علی‌الخصوص در ماه سپتامبر تجربه خواهد شد. این موضوع با پژوهش زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۱)، که دریافتند در آینده در سراسر ایران شدت بارش در حدود ۴ تا ۱۳ درصد افزایش خواهد یافت مطابقت دارد. شاخص RX1day در گیلان در مقیاس سالانه حدود ۱۲ درصد افزایش خواهد یافت. مقدار تغییرات در ایستگاه‌های مختلف در ماه‌های مختلف متفاوت بوده در مناطق ساحلی در فصل پاییز و ماه آگوست بیشترین افزایش صورت خواهد گرفت. با توجه به اینکه بیشترین بارش‌های دریافتی در نوار ساحلی در فصل پاییز است افزایش این شاخص در فصل پاییز نشانگر افزایش وقوع سیل در این موقع از سال است. در نتیجه تمهیداتی جهت کاهش حجم سیلاب و خسارت-های ناشی از آن، از جمله لایه‌روی مسیل‌ها و رودخانه‌ها، آبخیزداری و سیل بند باید صورت گیرد. اما در دو ایستگاه کوهستانی جیرنده و دیلمان بیشترین افزایش در فصل تابستان صورت خواهد گرفت. البته مقدار افزایش در فصل زمستان نیز در این دو ایستگاه قابل توجه (۲۳ درصد) است. شاخص R959 در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف به دلیل ماهیت و موقعیت اقلیمی و جغرافیایی تغییرات متفاوتی را تجربه خواهد کرد. مقدار شاخص در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های منجیل، لاهیجان، دیلمان، جیرنده و آستارا حدود (۱۵ درصد) کاهش خواهد یافت. در اکثر ایستگاه‌ها مقدار این شاخص در ماه‌های ژوئیه و آگوست افزایش و در فصل زمستان کاهش خواهد یافت. شاخص R99P به‌طور کلی افزایش خواهد یافت اما این مقدار افزایش در نوار ساحلی و در فصل تابستان و پاییز بیشتر خواهد بود. با توجه به اینکه تعداد روزهای

بارشی در استان کاهش خواهد بود بنابراین شدت این شاخص بیشتر خواهد شد که نشانگر افزایش شدت بارش‌های سیل‌آسا در استان می‌باشد. کمترین تغییرات را در ایستگاه منجیل شاهد خواهیم بود. افزایش شاخص‌های روزهای خیلی مرطوب و فوق‌العاده مرطوب با مطالعه بابائیان و همکاران (۱۳۹۶)، رنجبر و همکاران (۱۳۹۹)، رحیم زاده و همکاران (۲۰۰۹)، صادقی و همکاران (۱۳۹۸) و اوجی و غفاریان (۱۳۹۹) هماهنگ است.

نتایج این پژوهش نشان داد در دوره آتی شدت بارش در استان گیلان تحت تاثیر گرمایش جهانی افزایش می‌یابد که بیانگر احتمال تمرکز بارش‌ها، افزایش رخداد‌های حدی بارشی و افزایش وقوع سیل در استان گیلان می‌باشد. از این رو ارائه راهکارهای مدیریتی و اجرایی مانند بازنگری در استانداردها و دستورالعمل‌های طراحی و ساخت تاسیسات و ابنیه زیربنایی، توسعه برنامه‌های آبخیزداری و آبخیزداری جهت کاهش سرعت و حجم سیل، تغذیه آب‌های زیرزمینی و ذخیره‌سازی آب و استفاده در مواقع خشکسالی و کمبود آب، حفظ و تقویت پوشش گیاهی و جنگلی و جلوگیری از تغییر کاربری زمین جهت کاهش خسارت‌های ناشی از سیل ضروری می‌باشد.

منابع

۱. اوجی، ر. و غفاریان، پ. (۱۳۹۹). شناسایی و برآورد بارش‌های فرین سواحل جنوبی دریای خزر بر اساس نظریه مقدار فرین. اقیانوس‌شناسی، ۹(۳۴)، ۳۹-۴۸.
۲. افضل، و. و حسامی کرمانی، م. (۱۳۹۴). چشم انداز تغییرات اقلیم به روش ریزمقیاس‌نمایی آماری چندمکانی (مطالعه موردی گیلان). مجله آب و خاک، ۵(۳۰)، ۱۶۹۹-۱۶۸۶.
۳. بابائیان، ا.، فهیمی نژاد، ا.، باعقیده، م.، کریمیان، م.، مدیریان، ر. و بیاتانی، ف. (۱۳۹۶). چشم انداز اقلیم حوضه جنوبی دریای خزر تحت شرایط گرمایش جهانی، مطالعه موردی: مدل گردش کلی HadCM3. مخاطرات محیط طبیعی، ۶(۱۴)، ۱۷-۳۴.

۴. جعفرزاده، ف. (۱۳۹۶). در کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو در تحلیل بارش های سنگین نواحی خزر. پایان نامه دکتری، دانشگاه تبریز.
۵. رنجبر، ف. و اوچی، ر. (۱۳۹۹). اثرات گرمایش جهانی بر روند فرین‌های دمای روزانه در ایستگاه‌های منطقه خزری. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، (۳)۱، ۱۳۹۹، ۲۱-۳۴.
۶. زرین آ، داداشی رودباری ع. و صالح آبادی، ن. (۱۴۰۰). بررسی بی‌هنجاری و روند دمای ایران در پهنه‌های مختلف اقلیمی با استفاده از مدل‌های جفت شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم (CMIP6). مجله ژئوفیزیک ایران، (۱)۱۵، ۳۵-۵۴.
۷. زرین، آ، و داداشی رودباری، ع. (۱۴۰۱). پیش‌نگری شدت بارش در ایران با به کارگیری رویکرد همادی چند مدلی با استفاده از داده‌های مقیاس کاهی شده NEX-GDDP. مجله ژئوفیزیک ایران، (۱)۱۶، ۴۷-۶۸.
۸. صادقی، ح، محمدی، ح، شمسی پور، ع، بازگیر، س، کریمی احمدآبادی، م، و صوفی‌زاده، س. (۱۳۹۸). دورنمای تغییرات نمایه‌های بارش سواحل جنوبی دریای خزر در دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۱ برای کاهش مخاطرات. مدیریت مخاطرات محیطی، (۴)۶، ۳۹۵-۴۲۱.
۹. فاتحی، ا، جباریان امیری ب، و محمدزاده ن. (۱۳۹۵). ریزمقیاس نمایی مدل گردش عمومی جو و کاربرد آن در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گیلان. محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، (۱)۶۹، ۱۴۳-۱۵۸.
۱۰. کاظمی‌راد، ل، محمدی، ح. (۱۳۹۴). ارزیابی مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی استان گیلان. جغرافیا و مخاطرات محیطی، (۱۶)، ۷۳-۵۵.
۱۱. مرتضی پور، س، و اسعدی اسکویی، ا. (۱۳۹۸). مطالعه تغییر اقلیم در استان گیلان با استفاده از نمایه‌های اقلیمی فرین در فراسنج بارش و تعدادی دیگر از فراسنج‌ها. نشریه هواشناسی و علوم جو، (۳)۲، ۲۲۹-۲۴۵.
۱۲. مظفری، غ، عسکری‌زاده، م، کوهی، م، و رضایی‌پور، آ. (۱۳۹۷). چشم انداز نوسانات نمایه‌های فرین بارش و دما در شهر تربت حیدریه با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG برای دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱. اندیشه جغرافیایی، (۱۹)، ۷۹-۶۰.
۱۳. مومنی فراهانی، ف. (۱۳۸۳). اثر گلخانه ای و نقش آن در گرمایش جهانی. تهویه مطبوع، (۲۳)، ۱-۱۸.
14. Abiodun, B., Adegoke, J., Abatan, A., Ibe, C., Egbebiyi, T., Engelbrecht, F. & Pinto, I. (2017). Potential impacts of climate change on extreme precipitation over four African coastal cities. Climatic Change, 143 (3-4), 399-413.
15. 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, (23), 1-21.
16. Ahmad, I., Zhang, F., Tayyab, M., Anjum, M., Zaman, M., Junguo, Liu, Farid, H. & Saddique, I. (2018). Spatiotemporal analysis of precipitation variability in annual, seasonal extreme values over upper Indus River basin. Atmospheric Research, (213), 346-360.
17. Cooper, R. (2019). Projection of future precipitation extremes across the Bangkok Metropolitan Regionl. Heliyon, (5), 1-19.
18. Das, S., Das, J., and Umamahesh, N. V. (2021). Identification of future meteorological drought hotspots over Indian region: A study based on NEX-GDDP data. International Journal of Climatology, <https://doi.org/10.1002/joc.714>.
19. Giorgi, F., Raffaele, F., & Coppola, E. (2019). The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections. Earth System Dynamics, (10), 73-89.
20. Goyal, M., Goswami, U., & Hazra, B. (2018). Copula based probabilistic characterization of precipitation extremes over North Sikkim Himalaya. Atmospheric Research, (212), 273-284.
21. IPCC, (2014). Climate change 2014: The physical science basis, in Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. (eds.), Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change: Cambridge University Press, Cambridge.
22. IPCC, (2019). Summary for policymakers; in Masson. Delmotte, L., Zhai, p., Portner, H., Skea, J., Shukla, A. The water field, Global Warming of 1.5 C; World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
23. Katiraei-Boroujerdy, P. S., Akbari Asanjan, A., Chavoshian, A., Hsu, K. L., & Sorooshian, S. (2019). Assessment of seven CMIP5 model precipitation extremes over Iran based on a satellite-based climate data set. International Journal of Climatology, 39(8), 3505-3522.
24. Rao, K. K., Kulkarni, A., Patwardhan, S., Kumar, B. V., & Kumar, T. (2020). Future changes in precipitation extremes during northeast monsoon over south peninsular India. Theoretical and Applied Climatology, 142(1), 205-217.
25. Rahimzadeh, F.; Asgari, A.; & Fattahi, E. (2009). Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. International Journal OF Climatology, (29), 243-258.
26. Sun, Q., Zhang, X., Zwiers, F., Westra, S., & Alexander, L. V., (2021). A global, continental, and regional analysis of changes in extreme precipitation. Journal of Climate, 34(1), 243-258.
27. Sung, J., Kwon, M., Jeon, J., & Seo, S. (2019). A Projection of Extreme Precipitation Based on a

30. Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2021). Projection of future extreme precipitation in Iran based on CMIP6 multi-model ensemble. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(1), 643-660.
31. Zhao, C., Gong, J., Wang, H., Wei, S., Song, Q., & Zhou, Y. (2020). Changes of temperature and precipitation extremes in a typical arid and semiarid zone: Observations and multi-model ensemble projections. *International Journal of Climatology*, 40(12), 5128-5153.
- Selection of CMIP5 GCMs over North Korea. *Sustainability*, (11), 1-17.
28. Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., & Abbaspour, K. C., (2019). The future of extreme climate in Iran, *Scientific Reports*, 9(1), 1-11.
29. Wang, X., Yang, T., Li, X., Shi, P., & Zhou, X. (2017). Spatio-temporal changes of precipitation and temperature over the Pearl River basin based on CMIP5 multi-model ensemble. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(5), 1077-1089.

Predicting the effects of global warming on precipitation intensity in Gilun

Marzieh Ghyashosieni ¹, Ahmad Mazidi ^{2*}, Kamal Omidvar ³, Faramarz Khoshakhlagh ⁴

¹ Ph.D. student of Climatology Hazards Yazd University, Iran

² Associate Professor, Department of Geography, Yazd University, Iran

³ Professor of Geography Department of Yazd University, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: mazidi@yazd.ac.ir

Received: 11 September 2024, Accepted: 02 December 2024

ABSTRACT

The main issue in the change of climate conditions, especially the changes in climate extremes, is its irreparable damage to nature and human life. Therefore, it is necessary to examine their changes and provide reliable predicts of the future for climate change adaptation planners. First, the daily precipitation data of the synoptic stations of Rasht, Anzali, Masuleh, Astara, Manjil, Jirandeh, Deylaman and Rodsar were obtained from the Meteorological Organization and for the simulation of precipitation in the period 2021-2060 from the CanESM5 and MPIESM3 models and the SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP3 -7 scenarios. And to Analysis the intensity of precipitation, the indicators of one-day maximum precipitation (RX1day), precipitationintensity (SDII), precipitation of very wet days (R95P) and precipitation of extremely wet days (R99P) were used.

The results showed that the SDII index in the province will likely increase on an annual scale. In Jirandeh (23%) and Dillman (17%) stations, this increase is higher than the Coastal areas. RX1day will grow at an average annual rate of 12% and the biggest increase will take place in the coastal areas in autumn and August; But in Jirandeh and Deylaman stations, the biggest increase will take place in summer. R95P will decrease by about (15%) on an annual scale in Manjil, Lahijan, Deylaman, Jirande and Astara stations. In most stations, the value of this index will increase in July and August and decrease in winter. R99P will generally increase; But this amount of increase will be more in the coastal strip and in summer and autumn. All these results indicate the possibility of concentration of rains in the coming period and increase in the occurrence of heavy rains in Gilun.

Keywords: Predicting, global warming, precipitation intensity, Gilun

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ghyashosieni, M. , Mazidi, A. , Omidvar, K. and Khoshakhlagh, F. (2024). Predicting the effects of global warming on precipitation intensity in Gilun. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science.*, 7(1): 1- 20. Doi: 10.22034/2645-7261.2025.477963.1231

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

