



اثر تغییر اقلیم بر مقدار و شدت باران در شمال ایران

شهلا توانگر^۱، حمیدرضا مرادی^{۲*}، علیرضا مساح یوانی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۵/۰۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۴

برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

چکیده

تغییرات خصوصیات بارش تحت تاثیر تغییر اقلیم شامل تغییر تعداد روزهای مرطوب، مدت بارش، شدت بارش و هم چنین تغییر در مقدار بارش می‌باشد. هدف این تحقیق تعیین اثر تغییر اقلیم بر مقدار و شدت باران در سواحل جنوبی دریای خزر است. به همین منظور مولفه‌های بارش در سه دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰)، (۲۰۴۵-۲۰۶۵) و (۲۰۸۰-۲۰۹۹) در شمال ایران با استفاده از پیش بینی‌های مدل چرخش عمومی جو HadCM3، سناریوی انتشار A1B و همچنین مدل ریزمقیاس سازی LARS-WG پیش‌بینی گردید. براساس نتایج به‌طور کلی میانگین بارش ماهانه افزایش یافته اما الگوی مشخصی برای این تغییرات در مقیاس ماهانه در بین ایستگاه‌های مطالعاتی به دست نیامده است. تغییرات فصلی بارندگی طی دوره‌های آبی مورد مطالعه به گونه‌ای خواهد بود که در فصل زمستان افزایش و در فصل تابستان کاهش بارش را شاهد خواهیم بود. بررسی شدت بارش در قالب منحنی‌های IDF نیز نشان دهنده افزایش حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای طی دوره‌های آبی نسبت به دوره مشاهداتی در تمامی ایستگاه‌ها به استثناء ایستگاه بابل می‌باشد. بیشترین و کمترین میزان حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای طی دوره‌های مورد مطالعه و در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب مربوط به ایستگاه انزلی و سنگده می‌باشد. همچنین بیشترین میزان تغییرات حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای به میزان ۳۸/۳ درصد مربوط به ایستگاه گرگان در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و طی سال‌های ۲۰۸۰-۲۰۹۹ روی خواهد داد. کمترین میزان این تغییرات به میزان ۰/۸۸ درصد مربوط به ایستگاه بهشهر در دوره بازگشت ۵ سال و طی سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر بیانگر تشدید وقایع بارش و پیامدهای آن بر رواناب، نفوذ، فرسایش خاک و رسوب سواحل جنوبی دریای خزر در آینده می‌باشد که مستلزم برنامه‌ریزی جامع در راستای سازگاری با تغییرات اقلیمی پیش‌رو در منطقه شمال کشور خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس سازی، مدل LARS-WG، مدل HadCM3

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، Tel: 09181435181، Email: Sh.tavangar88@gmail.com

۲. *دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، hmrmodi1340@yahoo.com نویسنده مسئول

۳. دانشیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران، armassah@yahoo.com

مقدمه

سناریوهای اقلیمی مدل‌های سه بعدی جفت شده گردش عمومی جو-اقیانوس می‌باشند که به اختصار AOGCM^۲ نامیده می‌شوند (Wilby (2006 و Harris). مدل‌های AOGCM بر پایه قوانین فیزیکی که با روابط ریاضی ارائه می‌شوند، استوار می‌باشند که در یک شبکه سه بعدی با مقیاس مکانی افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر و ۱۰ تا ۲۰ لایه در جو و ۳۰ لایه در اقیانوس حل می‌گردند (کمال و مسیح بوانی، ۱۳۸۹). یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM در مطالعات ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای، بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی^۳ آن‌ها، به لحاظ مکانی و زمانی نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM وجود دارد که به این روش‌ها ریزمقیاس‌سازی گفته می‌شود. به طور کلی روش‌های ریزمقیاس‌سازی نهایی عبارت از استفاده از اطلاعات سلول اصلی (روش تناسبی^۴، درونیابی اطلاعات سلول‌های مجاور، روش‌های آماری^۵ و روش‌های دینامیکی^۶ می‌باشند. نظر به اثر مستقیم و غیرمستقیم تغییر در میزان و شدت بارندگی بر دیگر سیستم‌ها و منابع آب و خاک مطالعات متعددی در نقاط مختلف دنیا به آن پرداخته است. از جمله مطالعات که شدت بارش را نیز بررسی نمودند.

Willems and Vrac (2011) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های کوتاه مدت حدی کمتر از ۱۰ دقیقه در کشور بلژیک پرداختند. تغییرات آماری IDF نشان می‌دهد که بارش‌های شدید مورد استفاده در طراحی سیستم‌های زه‌کشی تا ۳۰ درصد در پایان قرن افزایش خواهد یافت. در کشور اخیراً پژوهش‌های مرتبط با بررسی اثر تغییر اقلیم بر مولفه‌های بارش انجام شده است. از آن جمله تحقیق کمال و مسیح بوانی (۱۳۸۹) که نوانات مقادیر متوسط متغیرهای

گسترش روز افزون فعالیت‌های صنعتی، افزایش جمعیت جهان، استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به خصوص CO₂ شده است. انتشار گازهای گلخانه‌ای، توازن انرژی زمین را برهم زده و موجب گرم شدن کره زمین می‌گردد. پدیده گرمایش جهانی^۱ و تغییر اقلیم حاصل از آن، با تغییر در دما و بارش اثرات قابل توجهی بر سامانه‌های مختلف نظیر منابع آب، کشاورزی و محیط زیست دارد. به گونه‌ای که می‌تواند به عنوان تهدیدی بزرگ بر سامانه‌های آبی در سراسر جهان قلمداد شود. این تهدیدات برای مناطق مختلف زمین متفاوت می‌باشند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تغییر اقلیم در قرن ۲۱ ادامه می‌یابد و افزایش مداوم انتشار گازهای گلخانه‌ای این اثرات را تشدید خواهد کرد (Steele- Dunne et al (2008). تغییرات اقلیم باعث تغییر در خصوصیات بارش شامل مقدار مدت، شدت، شکل و زمان بارش در مناطق مختلف کره زمین می‌شود که این مسئله می‌تواند چرخه هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز و فرایندهای فرسایش خاک و رسوبگذاری در مخازن سدها را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین باعث تغییر در حجم، زمان و مدت رواناب می‌شود که پیامد این اتفاق در عرض مدیریت منابع آب، تغییرات بسیاری را به وجود خواهد آورد (کمال، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه میزان تأثیر عوامل انسانی در افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییر اقلیم در آینده کاملاً مشخص و قطعی نیست این تغییرات در قالب سناریوهای انتشار که در برگیرنده طیف وسیعی از تغییرات اقتصادی-اجتماعی می‌باشد، ارائه می‌شوند. این سناریوها مربوط به یکی از چهار گروه اصلی یعنی A1، A2، B1 و B2 می‌باشند. IPCC (2007). در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید

^۴Proportional
^۵Statistical
^۶Dynamical

^۱Global warming
^۲Atmosphere-Ocean General Circulation Model
^۳Resolution

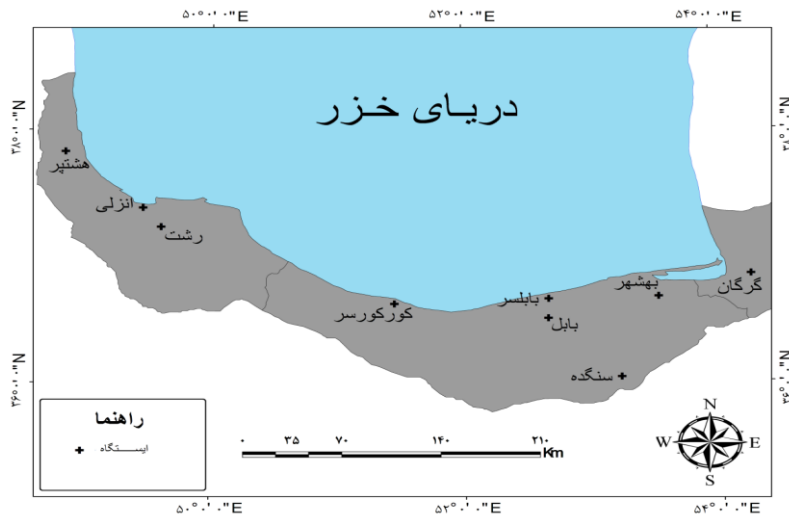


با توجه به اهمیت این موضوع و وقوع سیل‌های مخرب در منطقه شمال کشور در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر مقدار بارندگی و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران به‌عنوان شدت موثر در فرسایش خاک مورد بررسی قرار گرفت و تغییرات آن برای سه دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۵-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با مدل HadCM3 و سناریوی انتشار A1B پیش‌بینی گردید.

مواد و روش‌ها:

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۶۰۸۰۲ کیلومتر در محدوده عرض جغرافیایی ۴۷' ۳۵° تا ۲۷' ۳۸° شمالی و طول جغرافیایی ۵۳' ۴۸° تا ۲۲' ۵۶° شرقی در حاشیه جنوبی دریای خزر می‌باشد که سه استان گلستان، مازندران و گیلان را در بر دارد. اقلیم شمال ایران مدیترانه‌ای با آب و هوای معتدل و مرطوب است. میزان بارش سالانه بطور متوسط بین ۱۸۱۵ میلی‌متر در غرب تا ۶۰ میلی‌متر در شرق متغییر است. درجه حرارت متوسط سالانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. اراضی جنگلی، مراتع و زمین‌های حاصلخیز برای باغداری و زراعت از ویژگیها و توانهای طبیعی این سرزمین می‌باشد که آن را به قطب کشاورزی کشور تبدیل کرده است (شکل ۱).

دما و بارش حوزه قره سو در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی با استفاده از مدل HadCM3، سناریو A2 مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. نتایج نشان داد که محدوده عدم قطعیت مربوط به نوسانات اقلیمی منطقه در ماه‌های مختلف سال بین ۰/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش برای دما و بین ۱۰- تا ۲۰ میلی‌متر تغییر برای بارش خواهد بود. دل‌قندی و موذن‌زاده (۱۳۹۵) تاثیرات تغییر اقلیم بر دما و بارش در ایران و در ۲۱ ایستگاه سینوپتیک، با استفاده از ۱۵ مدل AOGCM و تحت ۳ سناریو ارائه‌شده A2، A1B و B1 در دو دوره آتی (۲۰۴۵-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که در دوره آتی دوم تحت سناریوی بحرانی A2 در کل مناطق به استثناء استان گیلان و اردبیل، کاهش بارندگی را شاهد خواهیم بود. نتایج بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که اثر تغییر اقلیم بر مقدار بارش در مناطق مختلف متفاوت بوده و نیازمند تحقیقات منطقه‌ای می‌باشد. بطوری که این تغییرات در ایران نیز هم جهت نبوده و در اقلیم‌های مختلف متفاوت است. از سوی دیگر بررسی اثر تغییر اقلیم بر خصوصیات بارش مخصوصاً شدت بارش که در فرآیندهای تشکیل رولناب و فرسایش خاک حائز اهمیت می‌باشد در دنیا کمتر مورد توجه قرار گرفته است و در ایران نیز مطالعه‌ای گزارش نشده است. لذا



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در شمال کشور

زمانی ۳۰ ساله از داده‌های روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش و تابش می‌باشد. داده‌های مربوط به مقدار بارش به صورت روزانه، ماهانه و سالانه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کل کشور و سازمان منابع آب تهیه گردید. برای تهیه منحنی‌های شدت-مدت و فراوانی از بارندگی ۲۴ ساعته ایستگاه‌های مورد مطالعه با توجه به حداکثر هم-پوشانی داده‌ها در طول دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۰۰ استفاده گردید.

داده‌های مورد نیاز تحقیق: سازمان هواشناسی جهانی (WMO) به منظور هماهنگی در انتخاب دوره پایه در مطالعات مختلف تغییر اقلیم و امکان مقایسه آن‌ها، دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ را به عنوان دوره پایه و در صورت نبود آمار دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ در نظر گرفته است. از اینرو در بخش مطالعه تغییر اقلیم و خصوصیات بارش، دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ انتخاب گردید. متغیرهای اقلیمی مورد نیاز مدل LARS-WG شامل سری



جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی تحقیق

ایستگاه (سینوپتیک)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا(متر)	تحت نظر
انزلی	۴۹° ۲۸'	۳۷° ۲۸'	-۲۶/۲	سازمان هواشناسی کشور
بایل	۵۲° ۴۰'	۳۶° ۳۱'	۰	سازمان منابع آب
بابلسر	۵۲° ۳۹'	۳۶° ۴۳'	-۲۱/۰	سازمان هواشناسی کشور
بهشهر	۵۳° ۳۲'	۳۶° ۴۱'	۲۰	سازمان منابع آب
هشتپر	۴۸° ۵۰'	۳۷° ۵۰'	۱۰۰	سازمان منابع آب
رشت	۴۹° ۳۶'	۳۷° ۱۵'	-۳	سازمان منابع آب
گرگان	۵۴° ۱۶'	۳۶° ۵۱'	۱۳/۳	سازمان هواشناسی کشور
سنگده	۵۳° ۱۴'	۳۶° ۰۳'	۱۳۵۰	سازمان منابع آب
کورکورسر	۵۱° ۲۸'	۳۶° ۳۹'	-۱۰	سازمان منابع آب

در طول دوره آماری محاسبه شد. برای تهیه شدت بارش در پایه‌های زمانی مختلف از روی داده‌های بارش ۲۴ ساعته از رابطه ۱ استفاده شد.

$$P_T = 0.489P_{24}T^{0.225} \quad (1)$$

منحنی‌های IDF: به منظور استخراج منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی با استفاده از آمار موجود هر ایستگاه، بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته در هر سال برای دوره آماری مورد نظر و ایستگاه‌های موجود بدست آمد. در مرحله بعد بیشینه شدت بارندگی برای پایه های زمانی ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۶، ۱۲ ساعت با استفاده از بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته هر سال و برای هر ایستگاه،

ریزمقیاس سازی:

در این تحقیق از روش آماری با استفاده از مدل LARS-WG که توسط (Racsko et al., 1991) ارائه شده، به منظور ریزمقیاس سازی استفاده شده است. LARS-WG از یک توزیع نیمه تجربی^۱ برای تقریب زدن توزیع‌های احتمال دوره‌های خشک و تر، بارش، دمای حداقل و حداکثر و تابش خورشید روزانه استفاده می‌کند. توزیع نیمه تجربی همچون تابع توزیع احتمال تجمعی^۲ تعریف شده است. تعداد طبقات استفاده شده در توزیع نیمه تجربی برابر ۲۳ می‌باشد که در مقایسه با $n=10$ که در نسخه قبلی استفاده شده بود، نمایش صحیح تری از توزیع مشاهده شده ارائه می‌دهد. مراحل تولید سناریوهای اقلیم روزانه توسط مدل LARS-WG در سه گام واسنجی^۳ (تحلیل داده‌های هواشناسی مشاهده شده برای تعیین مشخصه‌های آماری)، مدل صحت‌سنجی^۴ (ارزیابی توانایی مدل برای شبیه‌سازی اقلیم) و تولید داده‌های هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش) برای هر تعداد سال دلخواه بر طبق سناریوی تغییر اقلیم خاص در آینده شبیه‌سازی می‌شوند (Barrow و Semenov., 2002). روش ریزمقیاس‌سازی مدل LARS-WG به دو دلیل از سایر روش‌ها متمایز است. ابتدا واریانس متغیر بارندگی و میانگین بارندگی را ارائه می‌دهد و دوم اینکه مدل داده‌های بارش روزانه را نمایش می‌دهد، همچنین تعداد روزهای خشک و تر و میزان بارندگی در روزهای مرطوب را ارائه می‌کند. این داده‌ها برای تعیین حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای مناسب می‌باشد. در این مرحله تعیین تعداد سال‌های تولید داده ۳۰ ساله از دمای حداقل، دمای حداکثر، تابش و بارش روزانه بر اساس نتایج مدل HadCM3 و نیز میانگین مدل (تحت سناریوی آنتشار) در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ تولید و شبیه‌سازی شد. فلوچارت مراحل کار در قالب شکل ۲ آمده است.

که در رابطه ۱ P_{24} : بارندگی ۲۴ ساعته به میلی‌متر، T پایه زمانی موردنظر به ساعت

P_T : بارندگی برای پایه زمانی موردنظر به میلی‌متر.

سپس با استفاده از توزیع آماری گمبل (مقادیر حد نوع یک که برای مدل کردن بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار داده‌های مشخص بکار می‌رود)، مقادیر بیشینه شدت بارندگی برای هر پایه زمانی، برای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۱۰۰ ساله با استفاده از روابط (۲) و (۳) بدست آمد (موحد دانش، ۱۳۶۶):

$$x = \bar{x} + s(0.78y - 0.45) \quad (2)$$

$$y = -\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})) \quad (3)$$

که در رابطه ۲ و ۳ x : مقدار متغیر به ازای احتمال مورد نظر، \bar{x} : میانگین متغیرهای مشاهده شده، s : انحراف از معیار نمونه در متغیرهای مشاهده شده، T : دوره بازگشت (سال)، y : متغیر کوچک شده است. برای استفاده از توزیع آماری گمبل، میانگین و انحراف معیار شدت بارندگی برای دوره آماری و هر پایه زمانی بدست آمد. سپس مقدار y با توجه به دوره بازگشت تعیین و رابطه مورد استفاده برای هر دوره بازگشت محاسبه گردید. به این ترتیب، با به کارگیری روابط بالا، منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی سالانه هریک از ایستگاه‌ها و مقدار شدت ۳۰ دقیقه‌ای در دوره پایه محاسبه شد.

تولید سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM:

در این تحقیق، از خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوی انتشار A1B مربوط به چهارمین گزارش ارزیابی IPCC (AR4) استفاده شده است.

³Calibration

⁴Validation

¹ Semi-empirical distribution

² Cumulative probability distribution function



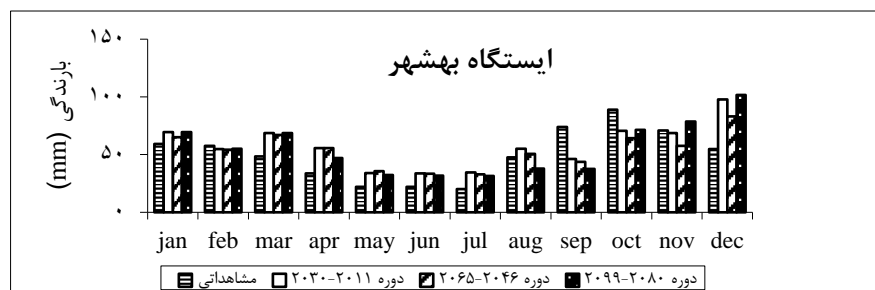
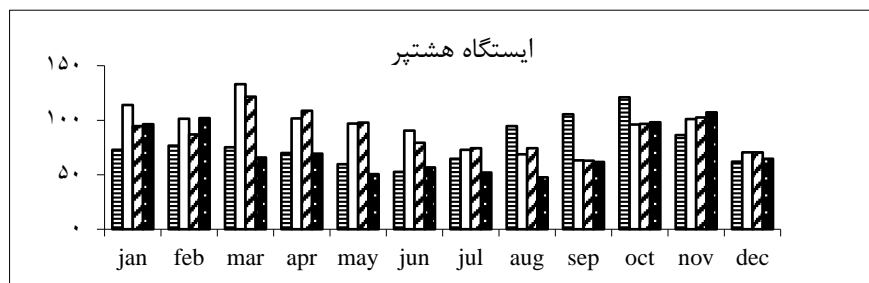
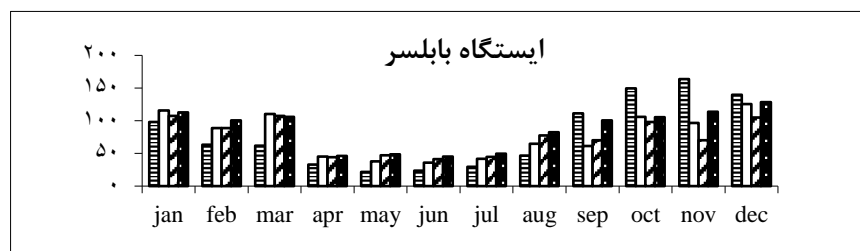
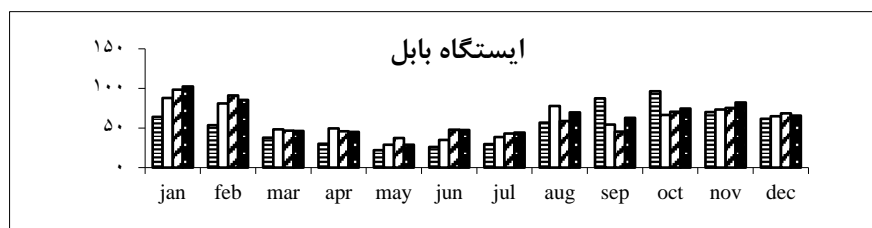
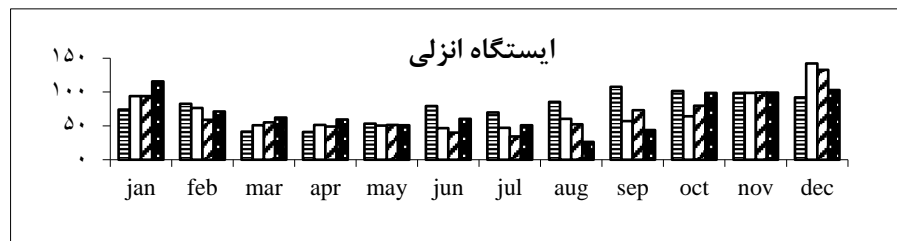
شکل (۲): فلوچارت مراحل کار

نتایج و بحث

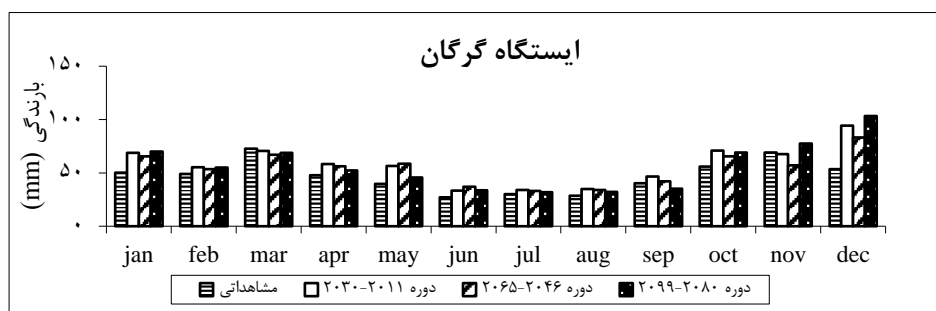
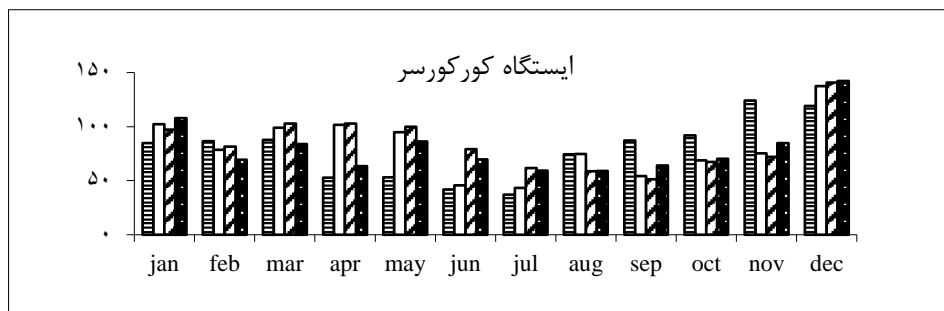
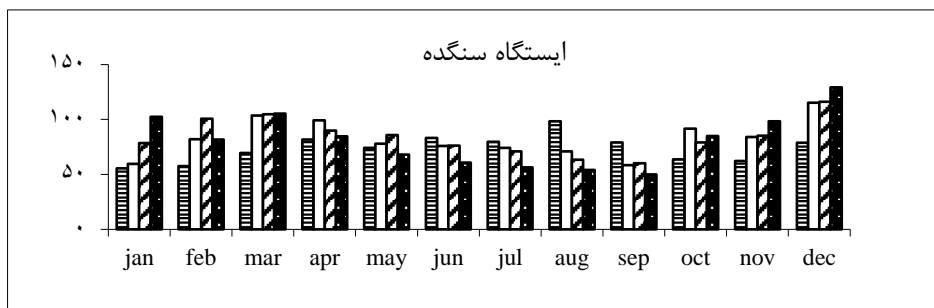
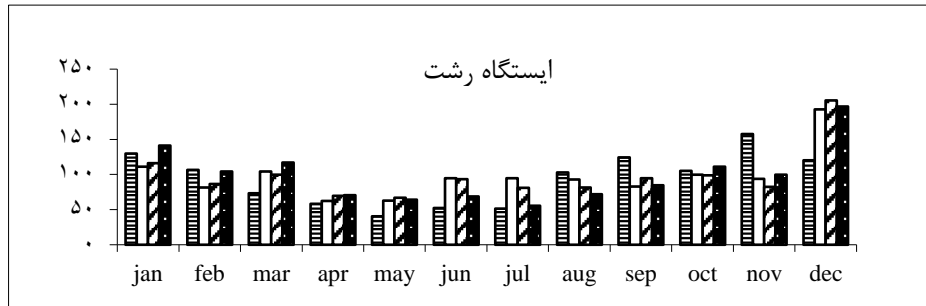
بررسی تغییرات مقادیر بارندگی در دوره مشاهداتی و دوره‌های آینده

نتایج حاصل از مقایسه مقدار بارندگی ماهانه دوره مشاهداتی و دوره‌های تولید شده (۲۰۸۰-۲۰۹۹)، (۲۰۴۵-۲۰۶۵، ۲۰۱۱-۲۰۳۰) در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۳ مشخص می‌شود که میزان بارش از ۳۴/۵ تا ۱۸۸/۶ میلی‌متر در بین ایستگاه‌های مختلف متغیر می‌باشد. بیشترین میزان افزایش بارش (۱۸۸/۶ میلی‌متر) در ایستگاه رشت در ماه دسامبر و در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ اتفاق خواهد افتاد و کمترین بارش در ایستگاه گرگان در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ به میزان ۳۴/۵ میلی‌متر در ماه جولای اتفاق خواهد افتاد. با بررسی تغییرات بارندگی در ایستگاه‌های مورد

مطالعه در سه دوره مورد پیش‌بینی مشخص می‌شود که وضعیت بارش در فصل بهار در ایستگاه‌های مورد مطالعه به استثنای ایستگاه انزلی افزایش خواهد بود. مقدار بارش در فصل تابستان در تمامی ایستگاه‌ها به استثنای ایستگاه گرگان و بابل سرکاهی است که با گزارش سوم هیات بین‌المللی تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱، مبنی بر این که در منطقه ایران، بارش در زمستان افزایش و در تابستان کاهش نشان می‌دهد، مطابقت دارد. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۳ مشخص می‌شود که میزان بارش از ۳۴/۵ تا ۱۸۸/۶ میلی‌متر در بین ایستگاه‌های مختلف متغیر می‌باشد. بیشترین میزان افزایش بارش (۱۸۸/۶ میلی‌متر) در ایستگاه رشت در ماه دسامبر و در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ اتفاق خواهد افتاد و کمترین بارش در ایستگاه گرگان در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ به میزان ۳۴/۵ میلی‌متر در ماه جولای اتفاق خواهد افتاد.



شکل (۳): مقادیر بارندگی ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره مشاهداتی و دوره‌های آبی بر اساس مدل HadCM3 و سناریوی A1B



ادامه شکل (۳): مقادیر بارندگی ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره مشاهداتی و دوره‌های آبی بر اساس مدل

HadCM3 و سناریوی A1B

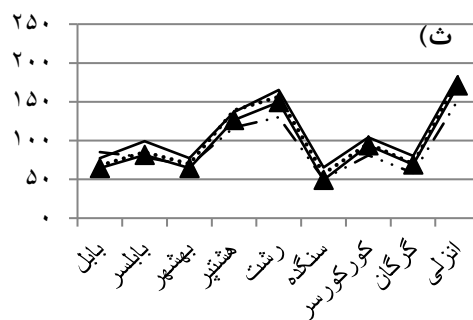
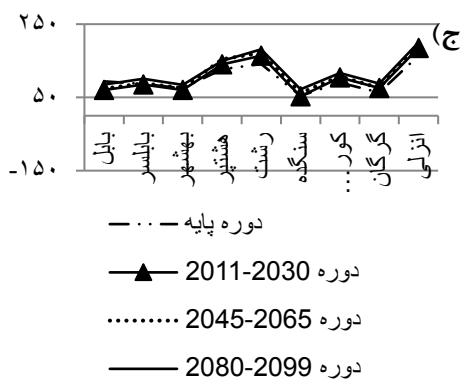
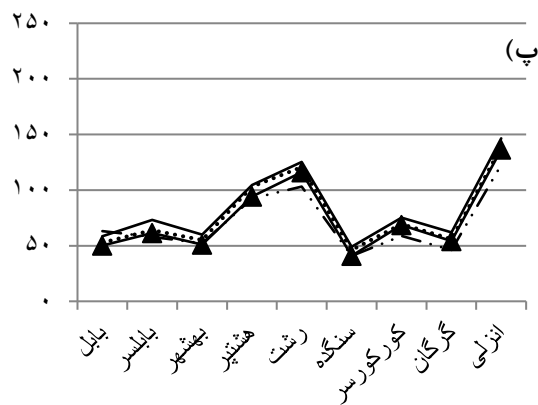
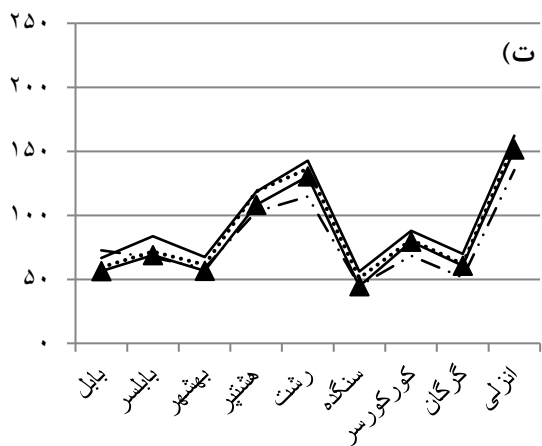
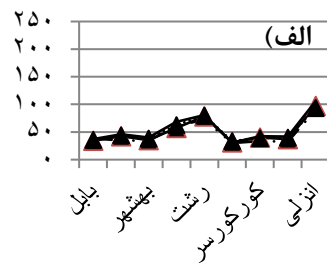
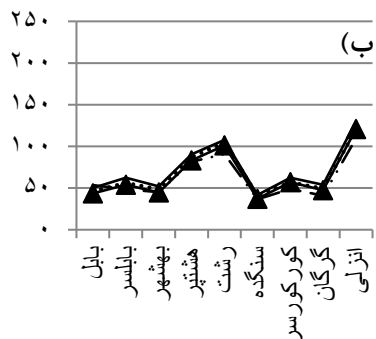
آن‌ها مرکز هوای سرد است با گرمایش جهانی تضعیف شده و مسیر حرکت آن‌ها به عرض‌های شمالی‌تر رانده می‌شود. بنابراین، منطقه مورد مطالعه در تابستان کمتر تحت تاثیر کم‌فشارهای دینامیک قرار گرفته و با کاهش بارش همراه می‌گردد.

وضعیت بارشی فصل پاییز در تمامی ایستگاه‌ها به استثناء ایستگاه‌های انزلی، بابل، بابلسر و کورکورسر افزایشی است. همچنین مقدار بارش در فصل زمستان در تمامی ایستگاه‌ها افزایشی است. علت افزایش بارش در فصل سرد به این دلیل است که با افزایش گرما، اگرچه کم‌فشارهای دینامیک تضعیف می‌گردند اما مسیر حرکت آن‌ها به عرض‌های شمالی‌تر سوق داده می‌شود. لذا کم‌فشارهایی که در مناطق مرکزی و جنوبی ایران در شرایط معمول فعال هستند با گرم شدن هوا مسیرهای شمالی‌تر را طی کرده و در نتیجه باعث ریزش بارش بیشتر در خطه شمالی کشور می‌گردد. دلیل دوم آن که با گرم شدن هوا ظرفیت نگهداری رطوبت هوا نیز افزایش می‌یابد. بنابراین در فصل سرد سال به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در سال‌های آتی نسبت به دوره مشاهداتی، انتظار می‌رود مقدار و شدت بارش در منطقه مورد مطالعه افزایش یابد. اگرچه در این میان اثر محلی کوه‌های مرتفع البرز در مجاورت منبع رطوبتی عظیم دریای خزر و دریای سیاه در شرایط بارشی منطقه انکارناپذیر می‌باشد. این نتایج با تحقیقات (کمال و مساح بوانی، ۱۳۸۹) مبنی بر افزایش بارندگی در دوره‌های آتی در اثر پدیده تغییر اقلیم مطابقت دارد.

بررسی تغییرات شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای در دوره مشاهداتی و دوره‌های آینده

در این قسمت تغییرات شدت حداکثر ۳۰ دقیقه‌ای در دوره مشاهداتی و دوره‌های آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۵، ۲۰۸۰-۲۰۹۹) در قالب منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی براساس مدل HadCM3 و سناریوی A1B برای ۹ ایستگاه مطالعاتی به دست آمده و نتایج آن در شکل ۴ آورده شده است. همچنین تغییرات شدت حداکثر ۳۰ دقیقه‌ای ایستگاه‌های مورد مطالعه، طی دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در شکل ۵ نمایش داده شده است.

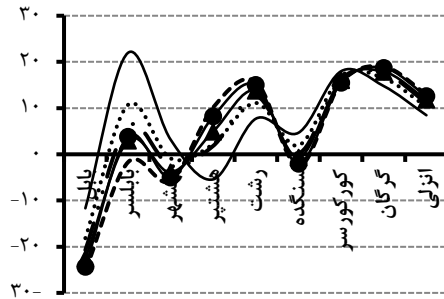
با بررسی تغییرات ماهانه بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که براساس برآورد مدل، تغییر بارندگی ماهانه در ماه‌های مختلف سال و در ایستگاه‌های مختلف متفاوت بوده است. به این ترتیب تغییرات مشخصی برای بارندگی ماهانه بین ایستگاه‌های مختلف را نمی‌توان پیش‌بینی کرد. ولی در مجموع مقدار بارندگی اغلب در فصل‌های زمستان و پاییز در دوره‌های آتی مورد مطالعه نسبت به دوره پایه، افزایش می‌یابد که منطبق با افزایش بارندگی ناشی از افزایش میزان ابرناکی است. این امر با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه که معمولاً در فصل‌های مختلف سال متاثر از جریانات مختلف جوی می‌باشد و نیز دسترسی به منبع رطوبتی دریای خزر در شمال و کوه‌های بلند البرز در جنوب توجیه‌پذیر است. با بررسی تغییرات بارندگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سه دوره مورد پیش‌بینی مشخص می‌شود که وضعیت بارش در فصل بهار در ایستگاه‌های مورد مطالعه به استثناء ایستگاه انزلی افزایشی خواهد بود. مقدار بارش در فصل تابستان در تمامی ایستگاه‌ها به استثناء ایستگاه گرگان و بابلسر کاهش می‌یابد که با گزارش سوم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱، مبنی بر اینکه در منطقه ایران، بارش در زمستان افزایش و در تابستان کاهش نشان می‌دهد، مطابقت دارد. کاهش بارش در تابستان به دو دلیل توجیه‌پذیر است: الف) به علت تقویت پرفشار جنب حاره بر شدت و وسعت این پرفشار افزوده می‌شود، چون تسلط پرفشار جنب حاره در منطقه شمال کشور در فصل تابستان اتفاق می‌افتد. لذا انتظار می‌رود که با رویداد تغییر اقلیم، مقدار بارش در ماه‌های گرم سال کاهش یابد که نتایج حاصله در این تحقیق بیانگر درستی مطلب بالاست. می‌باشد. دلیل دوم اینکه سیستم‌های باران‌زا از نوع دینامیک هستند. در سیستم‌های دینامیک، پرفشارها مرکز هوای گرم و کم‌فشارها مرکز هوای سرد می‌باشند. با گرم شدن هوا پرفشارهای دینامیک تقویت در حالیکه کم‌فشارها تضعیف می‌گردند. با افزایش گرما چون پرفشارهای دینامیک مرکز هوای گرم‌اند، بنابراین بر شدت و وسعت منطقه تحت تاثیر این پرفشارها افزوده می‌شود. از سوی دیگر سیستم‌های کم‌فشار دینامیک که هسته



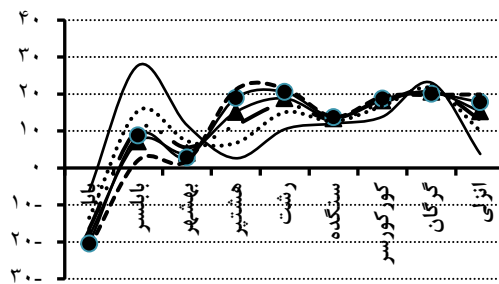
— دوره پایه
 ▲ دوره 2011-2030
 دوره 2045-2065
 — دوره 2080-2099

شکل (۴): مقادیر شدت حداکثر بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره بازگشت‌های الف) ۲، ب) ۵ و پ) ۱۰ ساله در دوره‌های مشاهداتی و آتی

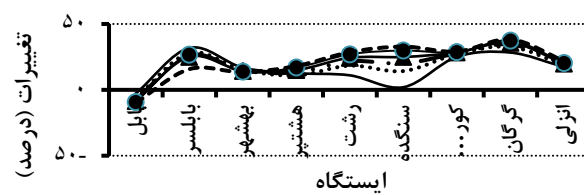
(الف)



(ب)



(ج)



— دوره بازگشت ۲ سال
..... دوره بازگشت ۵ سال

شکل (۵): تغییرات شدت حداکثر ۳۰ دقیقه‌ای ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله بین دوره‌های مشاهده‌ای (الف) و (ب) ۲۰۱۱-۲۰۳۰ (ب) ۲۰۴۵-۲۰۶۵ و (ج) ۲۰۸۰-۲۰۹۹



مطالعه بستگی دارد. این پیش‌بینی‌ها با افزایش شدت‌های مشاهده شده در بارش‌های ثبت شده در سال‌های اخیر مطابقت دارد. علت این امر افزایش درجه حرارت و نیروهای تابشی در شدت وقوع تعدادی از فرآیندهای جوی است که در محاسبات فرآیندهای مرتبط با این عوامل لحاظ نمی‌شوند.

نتیجه‌گیری

کاهش بارش در فصل تابستان در بخش مدیریت منابع آب و محصولات کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد. کاهش بارش در تابستان و افزایش دما در اثر پدیده تغییر اقلیم، افزایش نیاز آبی در جوامع و محصولات کشاورزی را به دنبال خواهد داشت که نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب به منظور مواجهه با مشکلات پیش‌رو خواهد بود.

تحقیق حاضر بیانگر تشدید وقایع بارش و پیامدهای آن بر رواناب، نفوذ، فرسایش خاک و رسوب در آینده می‌باشد که تعدیل عواقب این تغییرات مستلزم برنامه‌ریزی جامع در راستای سازگاری با تغییرات اقلیمی پیش‌رو در منطقه شمال کشور خواهد بود. باید توجه داشت که نتایج این تحقیق حاصل از یک مدل گردش عمومی جو و یک سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده است. به عبارت دیگر تأثیر عدم قطعیت مربوط به مدل گردش عمومی جو و سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای بر مولفه‌های بارش در این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفته که می‌توان در تحقیقات بعدی مورد تأکید قرار گیرد. همچنین به منظور دستیابی به میزان تغییرات اقلیم و اثرات آن در منطقه شمال کشور، مدل‌های منطقه‌ای که توپوگرافی و ویژگی‌های خط ساحلی در آن لحاظ شده، بویژه برای تعیین الگوی بارش مورد نیاز است.

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۴ و بررسی میزان حداکثر بارش ۳۰ دقیقه‌ای در قالب منحنی‌های IDF در دوره مشاهداتی و سه دوره مورد بررسی (۲۰۹۹-۲۰۸۰، ۲۰۴۵-۲۰۶۵، ۲۰۱۱-۲۰۳۰) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نمایانگر افزایش شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه در تمامی ایستگاه‌ها به استثناء ایستگاه بابل می‌باشد، که با تحقیقات (Varc., 2011) و Willems) مبنی بر افزایش شدت بارش در قالب منحنی‌های IDF مطابقت دارد. بیش‌ترین و کمترین میزان حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای طی دوره‌های مورد مطالعه و در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب مربوط به ایستگاه انزلی و سنگده می‌باشد. با توجه به شکل ۵ مشخص می‌شود بیشترین نوسانات طی دوره‌های مورد مطالعه مربوط به دوره بازگشت ۲ سال می‌باشد. همچنین بیشترین میزان تغییرات حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای به میزان ۳۸/۳ درصد مربوط به ایستگاه گرگان در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله طی سال‌های ۲۰۸۰-۲۰۹۹ می‌باشد و کمترین میزان این تغییرات به میزان ۰/۸۸ درصد مربوط به ایستگاه بهشهر در دوره بازگشت ۵ سال و طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ می‌باشد. سوابق تحقیق بیانگر این مطلب است که افزایش بارش سالیانه در بسیاری از مناطق با افزایش شدت و فراوانی بارش‌های سنگین همراه خواهد بود، که با نتایج این تحقیق مبنی بر افزایش شدت حداکثر ۳۰ دقیقه‌ای بارش به‌عنوان یکی از وقایع حادی مورد بحث در دوره‌های آینده مورد بررسی (۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۵، ۲۰۹۹-۲۰۸۰) همخوانی دارد. همچنین نتایج این تحقیق با گزارشات IPCC (۲۰۰۷) مبنی بر افزایش شدت حوادث بارندگی در قرن ۲۱، مطابقت دارد. تغییر در متوسط بارندگی در طول روزهای مرطوب عموماً باعث تغییر در شدت بارندگی خواهد شد. بنابراین افزایش یا کاهش شدت بارش در طول دوره‌های آینده به تغییرات میزان بارش در دوره‌های مورد



منابع

- دلقندی، م.، ر. مودن‌زاده. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات مکانی-زمینی بارش و دمای ایران تحت شرایط تغییر اقلیم با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار. اکو هیدرولوژی، ۳(۳): ۳۲۱-۳۳۱.
- نیکبخت شهبازی، ع.ر. ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات بارندگی و دما در حوضه آبریز سد کارون ۳. محیط زیست و مهندسی آب، ۳(۲): ۱۴۳-۱۳۳.
- کمال، ع.ر.، ع.ل. مساح‌یوانی. ۱۳۸۹. تاثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی. مجله آب و خاک، ۲۴(۵): ۹۲۰-۹۳۱.
- موحد دانش، ع. ۱۳۶۶. مقدمه‌ای بر هیدرولوژی، انتشارات عمیدی، ۴۰۲.
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers in Climate Change 2007. Solomon S, Qin D, Manning Racsco, P., L. Szeidl and M. Semenov. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. Ecol. Model., 57(1): 27-41.
- Semenov, M.A., and E.M. Barrow. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
- Steele-Dunne, S., P. Lynch, R. McGrath, T. Semmler, S. Wang, J. Hanafin and P. Nolan. 2008. The impacts of climate change on hydrology in Ireland. J. Hydrol., 356(1): 28-45.
- Wilby, R. L. and I. Harris. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resour. Res., 42(2), W02419.
- Willems, P., and M. Vrac. 2011. Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change. J. Hydrol., 402(3): 193-205.



Climate change effect on the rainfall amount and intensity in the southern coast of the Caspian Sea

Shahla Tavangar¹, Hamid Reza Moradi², Ali Reza Massah Bavani³

Abstract:

Rainfall properties is impacted by climate change that includes change in number of wet days, duration, intensity and amount of precipitation. This article shows impact of climate change on intensity and rainfall amount in south coast of Caspian Sea. In this research, rainfall is estimated by the aid of HadCM3, A1B and LARS-WG for triple periods 2011-2030, 2045-2065 and 2080-2099. According to estimation results, average precipitation will increase but there is not any evident pattern for monthly scale in study stations. Additionally, according to results, seasonal rainfall changes will increase in winter and in contrary, it will decrease in summer. Intensity simulation results by IDF curves determine that maximum 30-minute intensity will increase in future periods in compares with observational periods except Babol station. In addition, the maximum and minimum 30-minutes intensities in studied return periods, 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years are belonged to Anzali and Sangdeh, respectively. Furthermore, maximum 30-minutes intensities in studied return period of 100 years will be %38 will occur in Gorgan in 2080-2099 and minimum will be %0.88 that will occurred in Behshahr in -۲۰۳۰ 2011 Finally, this research shows that precipitation events will exacerbate in future periods, which will have consequence in runoff, percolation, sediment and soil erosion in south coast of Caspian Sea that it needs to proper planning for more adaption to climate change in Iran northern region.

Keyword: climate change, Downscaling, LARS-WG Model, HadCM3 Model

. MSc. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, TMU.¹

. Associate, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, TMU.²

. Associate, Department of Water Engineering, College Aboureihan, Tehran University.³