

ارزیابی عملکرد مدل SDSM در بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما

مهرآوه حصیرچیان^۱، باقر ذهبیون^۲، محمدرضا خزائی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۶

مقاله برگرفته از پایان نامه دکتری عمران-آب

چکیده

تغییر اقلیم و افزایش دمای کره زمین از مسائل مهم زیست محیطی بشر به حساب می آید که در سال های اخیر مطالعات زیادی را به خود اختصاص داده است. جهت ارزیابی آثار اقلیم آینده، از مدل های گردش عمومی (GCMs) برای شبیه سازی متغیرهای اقلیمی استفاده می شود. خروجی GCM ها بزرگ مقیاس هستند، لذا جهت مطالعه اثرات تغییر اقلیم در مقیاس حوضه نیاز به کاهش مقیاس داده ها است. مدل کاهش مقیاس آماری SDSM قبلا برای مطالعات تغییر اقلیم به کار رفته است، حال آنکه دامنه کار این مدل کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در این پژوهش، عملکرد مدل SDSM با استفاده از داده های بارش، دمای حداکثر و حداقل ایستگاه یاسوج و متغیرهای بزرگ مقیاس NCEP ارزیابی و سپس اثر تغییر اقلیم در دوره ۹۳-۲۰۶۷ با استفاده از خروجی های مدل CGCM3 تحت سناریوی A2 پیش بینی شد. ارزیابی دقیقی از عملکرد مدل در سه سطح روزانه، ماهانه و سالانه جهت بررسی نقاط قوت و ضعف مدل در ارزیابی آثار تغییر اقلیم انجام شد. نتایج نشان داد عملکرد مدل در مقیاس روزانه خوب است، اما در شبیه سازی توزیع بارش های روزانه حداکثر سالانه قابل قبول نیست؛ در مقیاس ماهانه و همچنین در بازتولید توزیع سالانه بارش در سطح اعتماد ۹۰٪ قابل قبول، اما نسبتا ضعیف است. عملکرد مدل در بازتولید توزیع سالانه دما قابل قبول نیست. در ارزیابی اثر تغییر اقلیم نتایج نشاد داد که در آینده میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهانه در همه ماه های سال تقریبا به صورت یکسان افزایش، میانگین بارش در فصل بهار کاهش و در فصل پاییز افزایش خواهد یافت. افزایش میانگین بارش و دمای سالانه به ترتیب ۵۲٪ و ۲/۷۶ درجه سانتیگراد پیش بینی می شود.

واژه های کلیدی: ارزیابی عملکرد، تغییر اقلیم، حوضه رودخانه بشار، کاهش مقیاس آماری، مدل SDSM.

^۱ دانشجوی دکتری عمران-آب، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. ۰۹۱۱۱۵۳۸۲۹۷.iran.m.hasirchian@yahoo.com

^۲ دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. ۰۹۱۲۳۸۴۶۲۴۶.iran.bagher@iust.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، ایران. ۰۹۱۲۴۴۵۰۵۷۹.iran.m_r_khazae@yahoo.com

مقدمه

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر متغیرهای اقلیمی کره زمین گردیده و پیش‌بینی می‌شود که این تغییرات در آینده نیز ادامه یابد. برای ارزیابی آثار تغییر اقلیم آینده بر منابع مختلف، ابتدا باید متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. به این منظور از مدل‌های گردش عمومی (GCMs) استفاده می‌شود. این مدل‌ها که در حال حاضر معتبرترین ابزار تولید سناریوهای اقلیمی هستند، قادرند متغیرهای اقلیمی آینده را تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی کنند (IPCC, 2007). از آنجایی که خروجی این مدل‌ها در مقیاس مکانی بزرگ شبکه‌بندی شده‌اند، بنابراین بین مقیاس خروجی این مدل‌ها و مقیاس مورد نیاز جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم و ارزیابی آنها، تطابق کافی وجود ندارد؛ لذا نیاز به کاهش مقیاس این داده‌ها برای مطالعات منطقه‌ای و به تبع آن توسعه روش‌های کاهش مقیاس است.

روش‌های متعددی برای کاهش مقیاس توسعه یافته‌اند که به دو دسته کلی کاهش مقیاس آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند (Beecham et al., 2014). کاهش مقیاس آماری به سه گروه اصلی کلاسه‌بندی هواشناسی^۱، تولید داده‌های اقلیمی^۲ و روش‌های رگرسیونی تقسیم می‌شوند (Fowler et al., 2007; Khan et al., 2006). هر یک از این گروه‌ها، دسته‌ای از روش‌ها را در بر می‌گیرند، که اغلب بر این مفهوم استناد دارند که اقلیم منطقه‌ای تابعی از حالت جوی بزرگ مقیاس است. این تابع ممکن است به صورت تابعی استوکستیک یا جبری بین متغیرهای بزرگ مقیاس جوی (پیش‌بینی کننده‌ها)^۳ و متغیرهای منطقه‌ای (پیش‌بینی شونده‌ها)^۴ بیان شود (Fowler et al., 2007). کاهش قیاس دینامیکی با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای اقلیم (RCMs)^۵ انجام می‌شود. مدل‌های منطقه‌ای اقلیم از شرایط مرزی خروجی‌های GCM

استفاده می‌کنند و با طرز کاری شبیه GCMها، فرآیندهای اتمسفریک را برای یک منطقه‌ی محدود تشریح می‌کنند (Prudhomme et al., 2003). RCMs علاوه بر محدودیت در شبیه‌سازی صحیح بارش‌های حدی و الگوهای زمانی و مکانی بارش، از نظر محاسباتی بسیار پرهزینه و زمان‌بر بوده و خروجی‌های آن‌ها، معمولاً در هنگام نیاز در دسترس نیست. تکنیک کاهش مقیاس توسط WGs، همبستگی بین متغیرها را حفظ می‌کند (Semenov et al., 1998; Khazaei et al., 2013). اغلب محققان برای کاهش مقیاس داده‌های اقلیمی از روش‌های آماری استفاده می‌کنند (Wilks, 1999, 1992). یکی از دلایل استفاده از این مدل‌ها، عملکرد سریع و دسترسی به مدل‌های آماری است (Coulibaly and Shi, 2005). در دستورالعمل وزارت راه کانادا، برای کاهش مقیاس داده‌های مدل‌های گردش عمومی کانادایی^۶ (CGCMs)، مدل SDSM را به عنوان مدلی که آزمایش خود را برای تولید سناریوهای اقلیمی بارش به‌خوبی پس داده‌است، توصیه نمودند (Khan et al., 2006). SDSM، LARS-WG و شبکه عصبی را برای کاهش مقیاس بارش، دمای حداقل و حداکثر روزانه مقایسه کردند. ایشان برای منطقه‌ای در کانادا میانگین و واریانس مقادیر کاهش مقیاس شده را با داده‌های مشاهداتی مقایسه کردند. همچنین عملکرد مدل‌ها در بازتولید میانگین ماهانه دوره‌های خشک و تر و توزیع تجمعی میانگین ماهانه بارش بررسی نمودند. نتایج نشان داد که مدل SDSM توانسته‌است خصوصیات مختلف آماری داده‌های مشاهداتی را بهتر از سایر مدل‌ها در مقادیر کاهش مقیاس شده حفظ نماید. Chu et al. (2010)، مدل SDSM را در شبیه‌سازی دمای هوا، تبخیر، بارش و همچنین برخی رویدادهای حدی دما و بارش در ۱۱ ایستگاه هواشناسی در حوضه رودخانه‌های چین ارزیابی نمودند. نتایج نشان‌دهنده‌ی قابلیت

^۵Regional Climate Models^۶Canadian Global Circulation Models^۷Statistical DownScaling Model^۱Weather Classification Methods^۲Weather Generators^۳Predictors^۴Predictands

SDSM با مدل‌های کاهش‌مقیاس دیگر مقایسه شده است، اما ارزیابی جامع عملکرد این مدل کمتر توجه شده است. در این پژوهش عملکرد مدل SDSM در ایستگاه یاسوج برای دامنه وسیعی از ویژگی‌های متغیرهای اقلیمی از جمله میانگین، واریانس، چولگی و نسبت روز تر برای بارش، میانگین و واریانس برای دمای حداکثر و حداقل؛ در سه مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه؛ توزیع مقادیر حدی و توزیع مقادیر سالانه بررسی و سپس اثر تغییر اقلیم بر این متغیرها ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

مدل SDSM

مدل SDSM برای ارزیابی آثار تغییر اقلیم در مقیاس محلی در سال ۲۰۰۰ ارائه شد. این مدل می‌تواند به‌عنوان یک روش دوگانه از مدل‌های تولید استوکستیک داده‌های اقلیمی و روش‌های پایه رگرسیونی توصیف شود. زیرا در آن از الگوهای بزرگ-مقیاس گردش عمومی و متغیرهای رطوبت جوی به صورت خطی برای تولید پارامترهای اقلیمی در مقیاس محلی (مثل وقوع بارش و مقدار آن) استفاده می‌گردد (Wilby et al., 2003). علاوه بر این مدل از روش‌های استوکستیک برای تورم مصنوعی واریانس داده‌های روزانه کاهش‌مقیاس شده، به‌هدف تطبیق بیشتر با داده‌های مشاهداتی استفاده می‌شود (Wilby et al., 2002). پیش‌بینی‌کننده‌ها از میان متغیرهای بازتحلیلی مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) انتخاب می‌شوند. متغیرهای NCEP به انضمام متغیرهای ثانویه که از فشار هوا در سطوح مختلف محاسبه شده اند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. لیست این متغیرها در مقالات متعددی ارائه شده است (DibiKe et al., 2008; Wilby and Dawson, 2013). متغیرهای مناسب می‌توان از آنها جهت کاهش‌مقیاس داده‌های اقلیمی استفاده کرد. برای انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌ها، رابطه‌ای با حداکثر ضریب همبستگی بین

مناسب SDSM در کاهش‌مقیاس بود. اما در شبیه‌سازی رویدادهای حدی خطای سیستماتیک وجود داشت. در مجموع نتایج حاصل قابل قبول تشخیص داده شد.

(Liu et al., 2011) اثرات تغییر اقلیم بر حوضه رودخانه زرد در انتهای قرن بیست و یکم را پیش‌بینی نمودند. برای تبدیل داده‌ها به مقیاس منطقه‌ای از دو مدل SDSM و دیگری ترکیبی از درونیابی دو متغیره خطی و دلتا برای تولید سری‌های زمانی روزانه بارش و دما در دوره زمانی فعلی و آتی، بهره گرفتند. نتایج نشان داد که عملکرد مدل SDSM بهتر از مدل ترکیبی است. علاوه بر آن، میانگین دمای هوا و بارش در اقلیم آتی افزایش خواهد داشت. Koch and Cherie (2013) دو مدل آماری SDSM و LARS-WG را برای کاهش‌مقیاس متغیرهای دما و بارش در حوضه رودخانه نیل مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که هر دو مدل با دقت قابل قبولی متغیرهای اقلیمی را شبیه‌سازی می‌کند. برای اقلیم آتی هر دو مدل افزایش در دمای حداقل و حداکثر، برای بارش براساس زیرحوضه و فصول سال نتایج متفاوت حاصل شد.

در میان روش‌های آماری کاهش‌مقیاس، SDSM بسیار مورد توجه بوده است و بیش از ۵۰۰ ارجاع در مقالات ISI دارد. از مزایای این روش عبارتند از: ۱- همبستگی بین متغیرهای اقلیمی در ضمن کاهش-مقیاس حفظ می‌شود که برای مطالعات ارزیابی آثار هیدرولوژیکی تغییر اقلیم ضروری است. ۲- با تولید سری‌های طولانی مدت، از عدم قطعیت نوسانات اقلیمی کاسته می‌شود. ۳- در مقایسه با روش‌های دینامیکی، به زمان و هزینه محاسباتی اندکی نیاز دارد. ۴- به‌عنوان یک روش مناسب برای کاهش‌مقیاس خروجی‌های مدل‌های GCM به رسمیت شناخته شده است. اما هر روش کاهش‌مقیاس ممکن است محدودیت کاربرد مشخصی داشته باشد و نتایجش در آن حدود، معتبر باشد. اگرچه در مطالعات گذشته عملکرد مدل

¹ Bilinear- Interpolation and Delta

² National Centers for Environmental Prediction

(al., 2003).

منطقه تحقیق و داده‌ها

در این مطالعه از آمار ایستگاه یاسوج در حوضه رودخانه بشار از سرشاخه‌های رودخانه کارون استفاده شده است. این ایستگاه در مرکز حوضه پاتاوه با مساحت ۲۸۰۰ کیلومتر مربع واقع بوده و مشخصات آن در جدول (۱) ارائه شده است. در این ایستگاه داده‌های بارش و دمای حداکثر و حداقل روزانه سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۷۴ در دسترس است. میانگین بارش این ایستگاه در دوره مشاهداتی ۸۹۰ میلی‌متر در سال و میانگین دمای آن ۱۴/۳ درجه سانتیگراد است.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل SDSM

در این تحقیق از نرم افزار SDSM نسخه ۴,۲,۹ استفاده شد. متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ‌مقیاس مشاهداتی (NCEP) طی سال‌های واسنجی، انتخاب و وارد مدل شد. از بین ۲۶ متغیر پیش‌بینی‌کننده موجود، سه متغیر که در ترکیب با یکدیگر مقدار بارش را طی ۱۲ ماه سال به صورت بهینه مدل می‌کردند، برگزیده شدند. برای دمای حداکثر و حداقل نیز این عمل جداگانه تکرار شد.

به منظور ارزیابی عملکرد مدل لازم است سری زمانی تولید شده و مشاهداتی با یکدیگر مقایسه شوند. لذا پس از واسنجی مدل، ۱۰۰ سری هم‌طول با سری‌های مشاهداتی، توسط مدل واسنجی شده، تولید و سپس آماره‌های هر سری تولید شده محاسبه شد. میانگین و حدودی که ۹۰٪ آماره سری‌های تولید شده در آن قرار دارد (حدود اطمینان ۹۰٪)، با آماره‌های متناظر سری مشاهداتی مقایسه شد. قرارگیری آماره‌های سری مشاهداتی در حدود تعیین شده، حاکی از نکویی عملکرد مدل، در سطح احتمال مورد نظر است (Kilsby et al., 2007; Khazaei et al., 2013). این آزمون در خصوص آماره‌هایی از قبیل میانگین، واریانس، چولگی و نسبت روز تر برای بارش، میانگین و واریانس برای دمای حداکثر و حداقل؛ در سه

سری مشاهداتی روزانه منطقه و متغیرهای بزرگ‌مقیاس مشاهداتی منطقه (NCEP) برقرار می‌شود. سپس با استفاده از این رابطه و با به کارگیری متغیرهای بزرگ-مقیاس آینده مدل GCM به جای متغیرهای NCEP، سناریوهای روزانه کاهش مقیاس شده دوره آتی منطقه (از جمله سری زمانی بارش و دمای روزانه) تولید می‌شود.

توسعه مدل بارش (رابطه بارش مشاهداتی ایستگاهی و متغیرهای NCEP) برای هر ماه شامل دو گام متمایز است. در اولین گام وقوع یا عدم وقوع بارش در هر روز، در گام بعد مقدار بارش در هر روز بارانی تعیین می‌شود. در گام نخست، احتمال وقوع یک روز تر W_i ، توسط رابطه (۱) مدل می‌شود.

$$W_i = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j X_{ij} \quad (0 \leq W_i \leq 1) \quad (1)$$

که در آن، i نشان‌دهنده زمان (روز)، W_i احتمال شرطی وقوع یا عدم وقوع بارش در روز i ، X_{ij} متغیرهای پیش‌بینی‌کننده جوی نرمال شده است. بارش زمانی رخ می‌دهد که عدد i (که از توزیع یکنواخت بین صفر تا یک بصورت تصادفی برداشته می‌شود) کوچکتر یا مساوی W_i باشد. در گام دوم، برای یک روز تر مقدار بارش P_i توسط رابطه (۲) مدل می‌شود. K (معمولاً ۰/۲۵) تبدیل مقادیر بارش روزانه به منظور مطابقت بهتر با توزیع نرمال است.

$$(p_i)^k = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j X_{ij} + e_i \quad (2)$$

برای فرآیندهایی مثل دما و یا سرعت باد، رابطه خطی مستقیم بین پیش‌بینی‌شونده (U_i) و پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب X_{ij} برقرار است (رابطه (۳)).

$$U_i = \gamma_0 + \sum_{j=1}^n \gamma_j X_{ij} + e_i \quad (3)$$

e_i خطای مدل است که به صورت تصادفی و مستقل از توزیع نرمال تولید می‌شود. پارامترهای $(\gamma_j, \beta_j, \alpha_j)$ توسط واسنجی حداقل مربعات بین پیش‌بینی‌شونده‌های محلی در مقابل متغیرهای پیش‌بینی‌کننده منطقه-ای NCEP در دوره پایه بدست می‌آیند (Wilby et

مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه؛ توزیع مقادیر حدی و توزیع مقادیر سالانه انجام شد.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه یاسوج

| نام ایستگاه | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |
|-------------|---------------|---------------|
| یاسوج | ۳۰° ۳۹' | ۵۱° ۳۶' |

هفت ایستگاه درایران بازه ضریب تعیین برای دمای حداکثر را بین ۰/۲۸ تا ۰/۶۳ بدست آوردند.

جدول (۲): ضریب تعیین جهت

| ارزیابی عملکرد مدل | | |
|--------------------|-------|--------|
| بارش | دمای | دمای |
| حداکثر | حداقل | حداکثر |
| ۰/۴۵۵ | ۰/۶۱۴ | ۰/۶۴۸ |

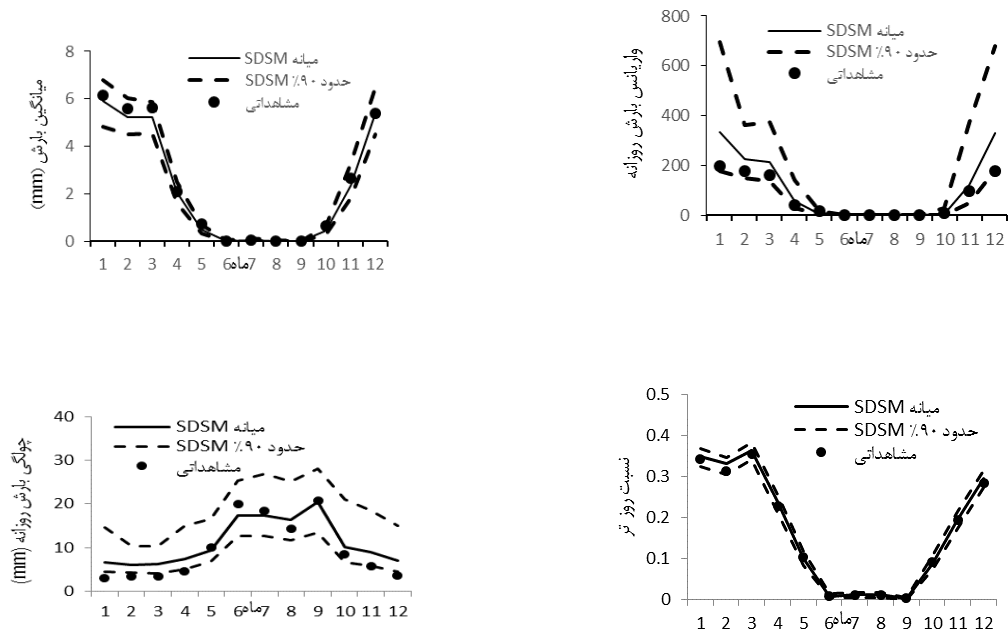
در شکل (۱) میانگین، واریانس، چولگی و نسبت روز تر بارش روزانه مشاهداتی با میانه و حدود اطمینان ۹۰٪ مقادیر متناظر ۱۰۰ سری تولیدشده توسط مدل SDSM مقایسه شده است. محور افقی، ماه-های میلادی از ژانویه تا دسامبر است. میانگینها، واریانسها و نسبت روزهای تر بارش در حدود اطمینان ۹۰٪ مقادیر تولیدشده قرار دارد که بیانگر نکویی آماره‌های تولیدشده در این سطح احتمال است. عملکرد مدل در بازتولید چولگی روزانه بارش قابل قبول، اما نسبتاً ضعیف است. در ماه‌های ۱۲ تا ۴ میلادی که ماه‌های پرباران سال هستند، مدل SDSM مقادیر چولگی را دست بالا تولید کرده است و مقادیر مشاهداتی در خارج و نزدیک به حدود ۹۰٪ مدل قرار گرفته اند

بحث و نتایج

ارزیابی عملکرد مدل SDSM

در نتیجه واسنجی مدل، متغیرهای پیش‌بینی-کننده مناسب انتخاب شد. پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب جهت کاهش مقیاس بارش روزانه شامل مولفه سرعت نصف النهاری در ارتفاع ۵۰۰ hPa، میانگین دما در ارتفاع ۲ متری، رطوبت ویژه در نزدیک سطح زمین است. جهت کاهش مقیاس دمای حداکثر پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب شامل ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ hPa، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ hPa، واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ hPa، و این پیش‌بینی‌کننده‌ها جهت کاهش-مقیاس دمای حداقل روزانه شامل ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ hPa، میانگین دما در ارتفاع ۲ متری، واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ hPa هستند. در جدول (۲) نتایج ضریب تعیین برای بارش و دمای حداکثر و حداقل ارائه شده-است.

نتایج حاکی از دقت مدل‌سازی و واسنجی مناسب مدل است، بطوری که مقایسه این نتایج با مطالعات پیشین گواه صحت کار است. از جمله آنکه (Fealy and Sweeney, 2007) برای چهارده ایستگاه سینوپتیک در ایرلند بازه ضریب تعیین را برای بارش فصلی ۰/۲ تا ۰/۳۴ به دست آوردند. (DibiKe et al., 2008) برای پنج ایستگاه در شمال کانادا بازه ضریب تعیین برای بارش را ۰/۱۱ تا ۰/۲۳ و برای دما ۰/۵۲ تا ۰/۵۹ به دست آوردند. (Abbasnia et al., 2016)

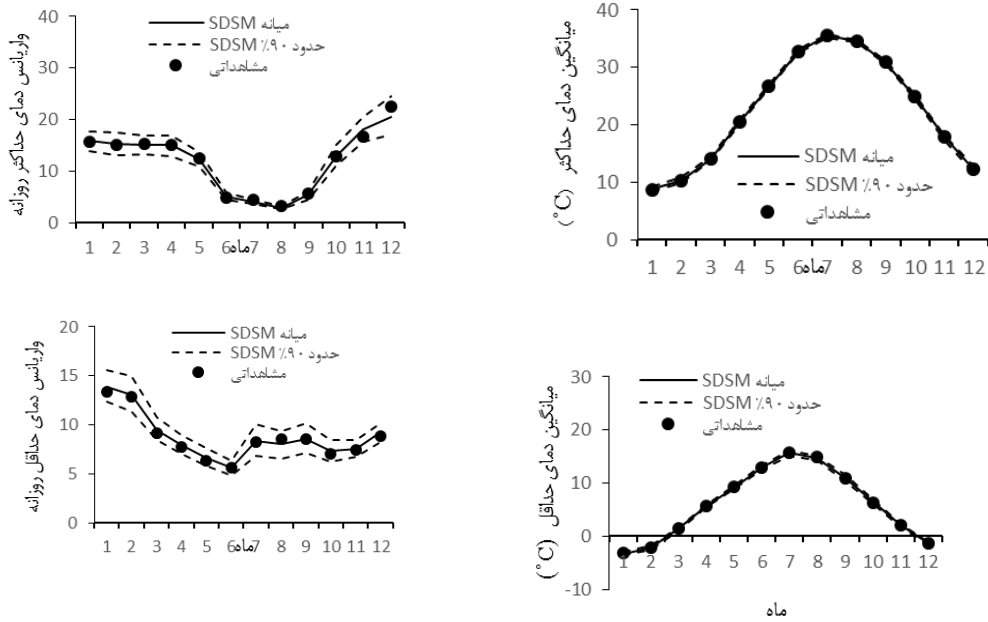


شکل (۱): مقایسه میانگین، واریانس، چولگی و نسبت روز تر بارش روزانه مشاهداتی با میانه و حدود اطمینان ۹۰٪ سری تولیدی

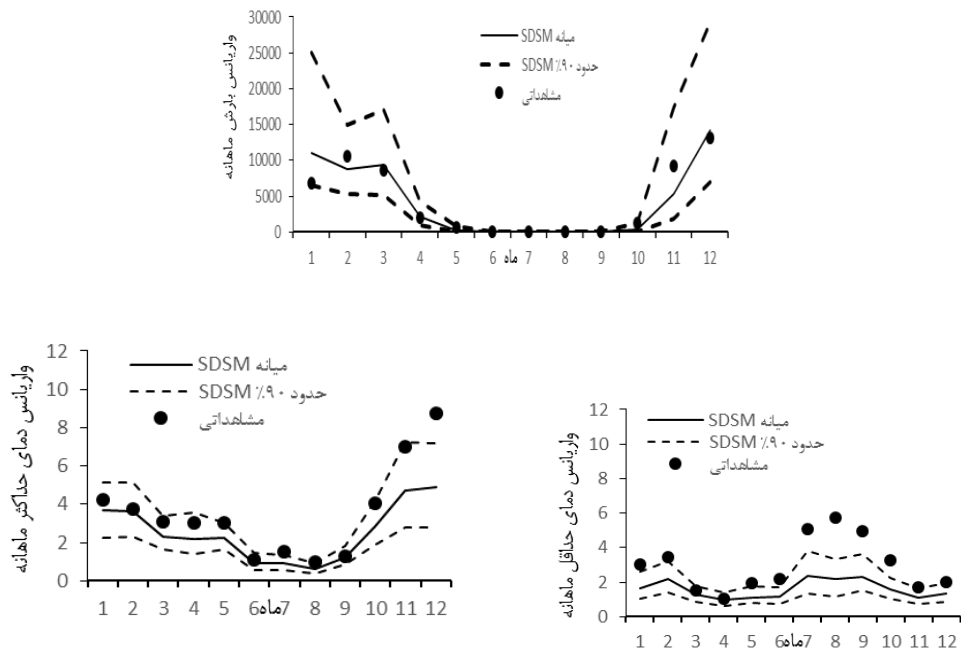
۳ و ۴ خارج از حدود اطمینان ۹۰٪ بازتولید شده است و عموماً قابل قبول نیست. این امر حکایت از آن دارد که SDSM در بازتولید نوسانات کم بسامد ماهانه دما نسبتاً ضعیف عمل کرده است. از آنجا که SDSM، از مدل خطی وابسته به متغیرهای بزرگ مقیاس مشاهداتی برای تولید پارامترهای اقلیمی در مقیاس محلی استفاده می‌کند؛ بدلیل تبعیت از الگوی بین سالی واقعی، انتظار می‌رود در بازتولید واریانس ماهانه عملکرد نسبتاً خوبی داشته باشد. البته رابطه مدل‌سازیمتغیرهای محلی با استفاده از متغیرهای بزرگ مقیاس یک رابطه خطی است و باقیمانده‌ها در مقیاس ماهانه حذف می‌شود که می‌تواند تا حدی منجر به عدم تطابق کامل واریانس مدل و مشاهداتی در مقیاس ماهانه شود

در شکل (۲) عملکرد مدل برای تولید میانگین‌ها و واریانس‌های دمای حداکثر و حداقل در سطح احتمال ۹۰٪ ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین‌ها و واریانس‌های روزانه دمای حداکثر و حداقل، به‌خوبی بازتولید شده، مدل در این بخش دارای عملکرد خوبی است.

در شکل (۳) مقایسه واریانس بارش، دمای حداکثر و حداقل ماهانه مشاهداتی با میانه و حدود اطمینان ۹۰٪ واریانس‌های ۱۰۰ سری تولید شده نشان داده شده است. واریانس‌های ماهانه بارش در حدود اطمینان ۹۰٪ مقادیر تولید شده قرار دارد که بیانگر نکویی عملکرد مدل در تولید این آماره‌ها است. واریانس‌های دمای حداکثر ماهانه در تمامی ماه‌ها دست‌پایین تولید شد که البته عموماً در سطح اطمینان ۹۰٪ قابل قبول است. واریانس‌های دمای حداقل ماهانه در تمامی ماه‌ها به‌جز ماه‌های



شکل (۲): مقایسه میانگین و واریانس دمای حداکثر و حداقل روزانه مشاهداتی با میانه و حدود اطمینان ۹۰٪ سری تولیدی



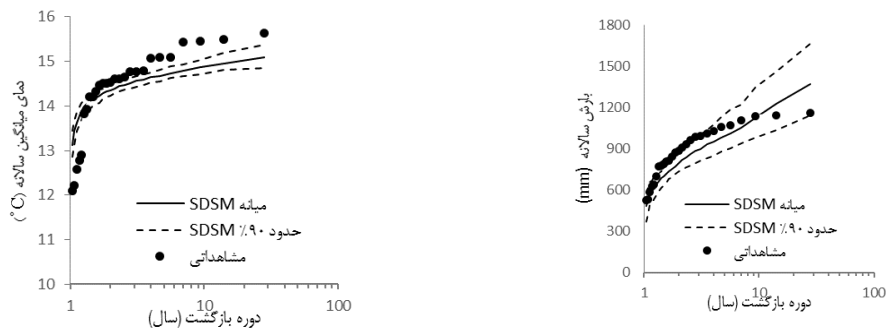
شکل (۳): مقایسه واریانس ماهانه بارش، دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی با میانه و حدود اطمینان ۹۰٪ سری تولیدی

نگرفته‌اند که نشان می‌دهد عملکرد مدل برای شبیه‌سازی توزیع مقادیر سالانه قابل قبول نیست. در جدول (۳) آماره‌های بارش و دمای سالانه مشاهداتی با میانه و

در شکل (۴) توزیع فراوانی بارش و دمای متوسط سالانه مشاهداتی با میانه و حدود ۹۰٪ مقادیر متناظر شبیه‌سازی شده، مقایسه شده‌است. توزیع‌های سالانه مشاهداتی به خوبی در حدود ۹۰٪ مقادیر تولیدشده قرار

مقیاس سالانه عملکرد نسبتاً ضعیفی دارد. از آثار مهم تغییر اقلیم، تغییر رژیم وقایع حدی است. در بررسی عملکرد مدل در شبیه‌سازی بارش‌های حدی، در شکل (۵)، نتیجه نشان داد که توزیع مقادیر مشاهداتی خارج از حدود ۹۰٪ توزیع‌های شبیه‌سازی شده قرار دارد و این مدل در شبیه‌سازی بارش‌های حداکثر عملکرد خوبی ندارد. در صورتی که مدل قابلیت مناسب برای شبیه‌سازی مقادیر حدی نداشته باشد، نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر حدی توسط آن قابل اعتماد نخواهد بود (Khazaei et al., 2012).

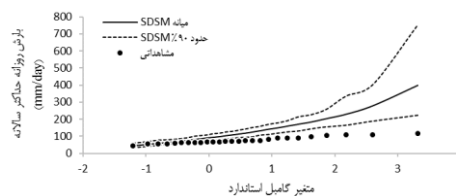
حدود ۹۰٪ مقادیر متناظر شبیه‌سازی شده مقایسه شده است. واریانس‌های سالانه دست‌پایین شبیه‌سازی شده است. واریانس بارش سالانه در حدود ۹۰٪ قرار دارد، اما چولگی سالانه خوب شبیه‌سازی نشده است. در نتیجه توزیع سالانه شبیه‌سازی با دقت کافی از توزیع سالانه مشاهداتی تبعیت نمی‌کند. این نتایج نشان می‌دهد با وجود آنکه مدل از وابستگی متغیرهای ایستگاهی با متغیرهای بزرگ مقیاس مشاهداتی استفاده می‌کند، اما بازهم متغیرهای محلی را در مقیاس سالانه به خوبی بازتولید نمی‌کند و برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم



شکل (۴): مقایسه توزیع فراوانی بارش و دمای متوسط سالانه مشاهداتی با مقادیر متناظر شبیه‌سازی شده

جدول (۳): مقایسه آماره‌های بارش و دمای متوسط سالانه مشاهداتی با میانه و حدود ۹۰ درصد مقادیر متناظر شبیه‌سازی شده

| میانگین | واریانس | چولگی | میانگین | واریانس | چولگی | مشاهداتی |
|---------|---------|-------|---------|---------|-------|----------------|
| ۸۷۹ | ۳۶۰۳۶ | -۰/۳۲ | ۱۴/۳۲ | ۰/۹۹ | -۱/۰۰ | مشاهداتی |
| ۸۹۰ | ۸۵۲۰۶ | ۱/۴۸ | ۱۴/۳۹ | ۰/۳۰ | -۰/۰۸ | حدود ۹۰٪ بالا |
| ۷۶۱ | ۲۷۰۹۰ | ۰/۰۵ | ۱۴/۲۴ | ۰/۱۶ | -۱/۲۱ | حدود ۹۰٪ پایین |
| ۸۳۶ | ۴۹۵۳۱ | ۰/۶۸ | ۱۴/۳۰ | ۰/۲۲ | -۰/۶۵ | میانه |



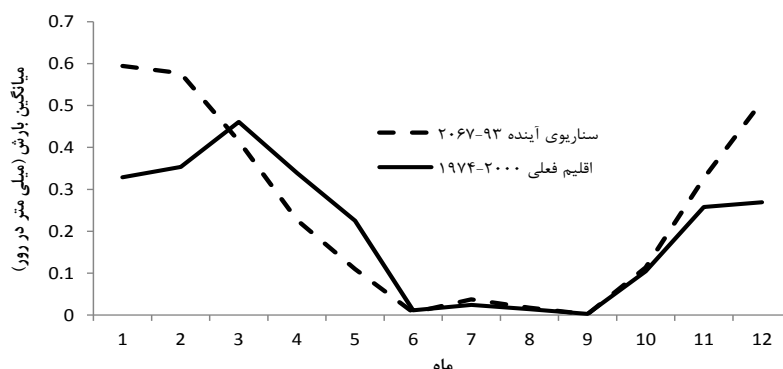
شکل (۵): مقایسه توزیع بارش‌های حداکثر روزانه مشاهداتی با میانه و حدود اطمینان ۹۰٪ توزیع متناظر سری تولیدی

ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما

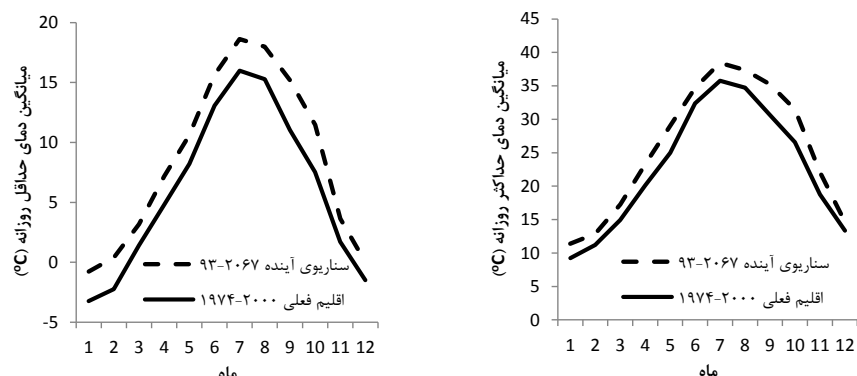
پس از بررسی عملکرد مدل SDSM، اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش در حوضه مورد مطالعه ارزیابی شد. بدین منظور از خروجی‌های روزانه مدل جهانی اقلیم اثر تغییر اقلیم بر میانگین‌های ماهانه بارش، دمای حداکثر و حداقل پیش‌بینی شده است. نتایج نشان می‌دهد اگرچه مقدار میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهانه در همه ماه‌های سال نسبتاً به صورت یکسان افزایش می‌یابد، تغییرات میانگین‌های بارش در ماه‌های مختلف متفاوت است. در اقلیم آتی میانگین بارش در فصل بهار کاهش و در فصل‌های پاییز و زمستان افزایش خواهد یافت.

توزیع بارش سالانه برای هر دوره بازگشت از ۱۰۰

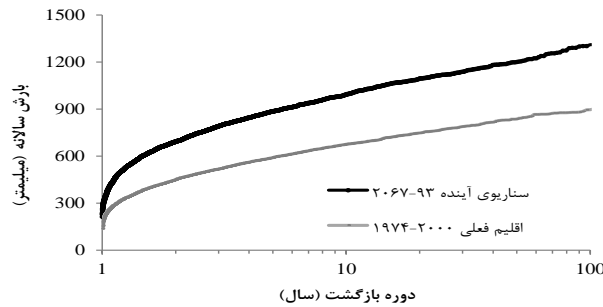
CGCM3 تحت سناریوی انتشار A2 برای دوره پایه (۱۹۷۴-۲۰۰۰) و دوره آینده (۲۰۶۷-۲۰۹۳) استفاده شد. در شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب سری ۲۷ ساله اقلیم فعلی و آتی محاسبه، در شکل (۸) مقایسه شده است. نتایج حاکی از افزایش مقادیر سالانه بارش در دوره بازگشت‌های مختلف تحت اثر تغییر اقلیم آینده می‌باشد. البته نتایج در مقیاس سالانه نسبت به نتایج در مقیاس ماهانه و روزانه از دقت کمتری برخوردار است. زیرا عملکرد مدل در بازتولید توزیع مقادیر سالانه نسبتاً ضعیف بود. همچنین بدلیل ضعف مدل در بازتولید صحیح توزیع مقادیر حدی، از این مدل برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر حدی استفاده نشد



شکل (۶): پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر میانگین‌های ماهانه بارش



شکل (۷): پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر میانگین‌های ماهانه دمای حداکثر و حداقل



شکل (۸): مقایسه توزیع بارش سالانه سناریوهای تغییر اقلیم در اقلیم فعلی و آتی

ایستگاه یاسوج استفاده شد. به منظور واسنجی مدل، از داده‌های ایستگاه و متغیرهای جوی بزرگ-مقیاس‌مشاهداتی پایگاه داده NCEP استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل به خوبی واسنجی شده است. سپس روزانه از جمله LARS-WG شبیه‌سازی شود. عملکرد مدل SDSM در شبیه‌سازی چولگی سالانه قابل قبول نبود. به تبع آن عملکرد مدل در بازتولید توزیع بارش سالانه نسبتاً ضعیف، اما در سطح اعتماد ۹۰٪ قابل قبول است. عملکرد مدل در بازتولید توزیع فراوانی دمای سالانه نیز قابل قبول نیست. درمقیاس روزانه، در مجموع عملکرد مدل خوب ارزیابی می‌شود و می‌تواند برای ارزیابی آثار تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرد. اما عملکرد مدل برای ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی مناسب نیست. درمقیاس ماهانه، عملکرد مدل قابل قبول، اما نسبتاً ضعیف است. البته عملکرد برای ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر میانگین‌ها در همه مقیاس‌های زمانی مناسب است. عملکرد مدل برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر توزیع فراوانی مقادیر سالانه بارش قابل قبول اما نسبتاً ضعیف است، اما نتایج آن برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر توزیع فراوانی دمای سالانه قابل اعتماد نیست.

در بخش ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما، از خروجی‌های مدل جهانی اقلیم CGCM3 تحت سناریوی انتشار A2 استفاده شد. خروجی‌های مدل CGCM3 برای دوره آینده کاهش مقیاس شد و با دوره پایه مقایسه شد. نتایج نشان داد اگرچه مقدار میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهانه در همه ماه‌های سال نسبتاً به صورت یکسان افزایش می‌یابد، تغییرات میانگین‌های بارش در ماه‌های مختلف متفاوت است. همچنین در اقلیم آبی میانگین بارش در فصل بهار

نتیجه گیری

در این پژوهش، جهت ارزیابی عملکرد مدل SDSM از ۲۷ سال داده‌های روزانه بارش، دمای حداکثر و حداقل جهت تعیین دامنه اعتبار مدل برای ارزیابی آثار تغییر اقلیم، عملکرد مدل در سه سطح روزانه، ماهانه و سالانه به صورت گسترده ارزیابی شد. براساس نتایج، در مجموع عملکرد مدل برای بازتولید بارش روزانه خوب ارزیابی شد. به جز آنکه مدل مقادیر حدی بارش روزانه را به خوبی بازتولید نکرده است. در مطالعات دیگری نیز ضعف مدل در بازتولید مقادیر حدی بارش روزانه گزارش شده است (Liu et al., 2011; Yang et al., 2012). عملکرد مدل در بازتولید واریانس ماهانه بارش قابل قبول است. واریانس ماهانه دمای حداکثر قابل قبول اما مقداری دست‌پایین بازتولید شده است، اما واریانس ماهانه دمای حداقل به خوبی بازتولید نشده و کاملاً دست‌پائین شبیه‌سازی شده است. میانگین بارش و دمای سالانه به خوبی شبیه‌سازی شده است. عملکرد مدل در شبیه‌سازی واریانس بارش سالانه در حدود اطمینان ۹۰٪ قابل قبول، اما مقداری دست‌پایین شبیه‌سازی شده است. اما واریانس دمای سالانه بسیار دست‌پایین شبیه‌سازی شده است و عملکرد مدل در این خصوص قابل قبول نیست. ضعف مدل‌های مولد داده‌های روزانه هواشناسی در بازتولید واریانس‌های ماهانه و سالانه در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Khazaei et al., 2013). البته از آنجا که مدل SDSM داده‌های مصنوعی را وابسته به متغیرهای NCEP یا خروجی‌های مدل‌های GCM شبیه‌سازی می‌کند، انتظار می‌رود که واریانس‌های ماهانه و سالانه تا حدی بهتر از مدل‌های صرفاً آماری

و ۲/۷۶ درجه نسبت به دوره تاریخی افزایش خواهد یافت.

کاهش و در فصل‌های پاییز و زمستان افزایش خواهد یافت. بر مبنای سناریوی مورد بررسی، مقدار میانگین بارش و دمای سالانه در دوره آینده به ترتیب ۵۲ درصد

منابع

Abbasnia, M., Tavousi, T., Khosravi, M., 2016. Assessment of future changes in the Maximum Temperature at selected stations in Iran based on HADCM3 and CGCM3 models. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 52(4):371-377.

Beecham, S., M. Rashid and R.K. Chowdhury. 2014. Statistical downscaling of multi-site daily rainfall in a south Australian catchment using a Generalized Linear Model. *International Journal of Climatology*, 34(14): 3654-3670.

Chu, J.T., J. Xia, C.Y. Xu and V.P. Singh. 2010. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 99: 149-161.

Coulibaly, P. and Shi, X. 2005. Identification of the effect of climate change on future design standards of drainage infrastructure in Ontario. Ministry of Transportation of Ontario, Canada.

DibiKe, B. Y., Gachon, P., St-Hilaire, A., Ouarda, T.B.M.J., and Nguyen Van T.-V. 2008. Uncertainty analysis of statistically downscaled temperature and precipitation regimes in northern Canada. *Theoretical and Applied Climatology*. 91:149-170.

Fealy, R., Sweeney, J. 2007. Statistical downscaling of precipitation for a selection of sites in Ireland employing a generalised linear modelling approach. *International journal of Climatology*, 27: 2083-2094.

Fowler H. J, S. Blenkinsopa and C. Tebaldib, 2007. Review Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *Int. J. Climatol.* 27: 1547-1578.

IPCC, 2007. *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, 1-18.

Khan, M. S., Coulibaly, P. & Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319: 357-382.

Khazaei M., Zahabiyoun B., Saghafian B. 2012. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. *International Journal of Climatology*: 32: 1997-2006.

Khazaei M., Ahmadi S., Saghafian B., Zahabiyoun B. 2013. A new daily weather generator to preserve extremes and low-frequency variability. *Climatic Change*: 119:631-645.

Kilsby, C., Jones, P., Burton, A., Ford, A., Fowler, H., Harpham, C., James, P., Smith, A. & Wilby, R. 2007. A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modelling & Software*, 22: 1705-1719.

Koch, M., & Cherie, N. 2013. Mono and multi-model statistical downscaling of GCM-climate predictors for the Upper Blue Nile River basin, Ethiopia. In *Proceedings of the 6th International Conference on Water Resources and Environment Research, ICWRER*(pp.3-7)

Liu, L., Liu, Z., Ren, X., Fischer, T. & Xu, Y. 2011. Hydrological impacts of climate change in the Yellow River Basin for the 21st century using hydrological model and statistical downscaling model. *Quaternary International*, 244: 211-220.

Prudhomme, C., Reynard, N., Crooks, S. 2003. Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: Where are we now? *Hydrological Processes* 16: 1137-1150.

Semenov, M. A., BROOKS, R. J., BARROW, E. M. & RICHARDSON, C. W. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10: 95-107.

Wilby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow, E.M. 2002. SDSM - a decision support tool for the

assessment of regional climate change impacts. Environmental Modelling Software, 17: 145-157.

Wilby, R.L., Tomlinson, O.J., and Dawson, C.W. 2003. Multi-site simulation of precipitation by conditional resampling. Climate research Journal, 23: 183-194.

Wilby, R.L., Dawson C.W. 2013. The Statistical DownScaling Model: insights from one decade of application. International Journal of Climatology. 33:1707-1719.

Wilks, D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. Climate Change, 22(1): 67-84.

Wilks, D.S. 1999. Multisite downscaling of daily precipitation with a stochastic weather generator. Climate Research, 11(2): 125-136.

Yang, T., Li, H., Wang, W., Yu Xu, H., Yu, Z. 2012. Statistical downscaling of extreme daily precipitation, evaporation, and temperature and construction of future scenarios. Hydrological Processes, 26: 3510-3523.

Assessment of SDSM model performance to investigate the effect of climate change on precipitation and temperature

MehravehHasirchian¹, BagherZahabiyoun², MohammadRezaKhazaei³

Abstract

The climate change and global warming is one of the important environmental humanity issues. For climate change impacts assessment, GCM models are used. In order to use the GCM outputs in the catchment scale, downscaling is required. The SDSM are used to assess the climate change impacts studies extensively, while the scope of SDSM has been evaluated less. In this research, performance of the SDSM investigated using precipitation, T_{max} and T_{min} data of Yasouj station, and NCEP large-scale atmospheric variables. Then climate change impacts in 2067-93 period was assessed using CGCM3 outputs under A2 scenario. To assess the strengths and weaknesses points of SDSM, precise evaluation was performed at daily, monthly and annual levels. The results showed that the model performance on daily level is good, but not acceptable in annual maximum daily precipitation distributions; on monthly level and reproduction of annual precipitation distributions is acceptable at 90% confidence level; not acceptable on reproduction of annual temperature distributions. In assessing the climate change impacts, it was concluded that monthly mean of T_{max} and T_{min} in all months will increase relatively the same, the mean precipitation decrease in spring and increase in autumn. It is forecasted that increasing of mean annual precipitation and temperature are 52% and 2.76 respectively.

Keywords: Bashar river basin, Climate Change, Performance evaluation, SDSM Model, Statistical downscaling.

¹Ph. D Candidate, Department of Civil Engineering, Iran University Science and Technology, m.hasirchian@yahoo.com

²Associate Professor, Department of Civil Engineering, Iran University Science and Technology, (corresponding author: bagher@iust.ac.ir)

³Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, m_r_khazaei@yahoo.com