



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گراگان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد نوزدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۱

<http://jwsc.gau.ac.ir>

ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج

* نَبی خلیلی‌ا قدم^۱، ابولفضل مساعدی^۲، افشین سلطانی^۳ و بهنام کامکار^۴

^۱ استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه غیرانتفاعی - غیردولتی بهاران، دانشیار گروه محیط زیست،

^۲ دانشگاه فردوسی مشهد، ^۳ استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۴ دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۲۸

چکیده

امروزه پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه اقلیم‌شناسان و پژوهش‌گران قرار گرفته است. بر همین اساس مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو (GCM) توسعه یافته‌اند که می‌توانند پارامترهای اقلیمی را در ریزمقیاس پیش‌بینی نمایند. LARS-WG مدلی است که خروجی مدل‌های (GCM) را ریزمقیاس می‌کند و در این پژوهش برای تولید مقادیر بارش روزانه، تابش و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده به‌کار گرفته شده است. در این مدل برای طول دوره روزهای تر و خشک، بارش روزانه و تابش از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌شود. در این مقاله توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده شده در ایستگاه سنندج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش می‌باشد، اما در شبیه‌سازی پارامتر بارش نسبت به دیگر پارامترها خطای بیش‌تری را نشان می‌دهد. در ایستگاه سنندج در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی در مقایسه با دوره (۲۰۰۹-۱۹۶۱) میانگین ماهانه دمای حداقل، حداکثر و بارش به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۳ درجه سانتی‌گراد و ۶ میلی‌متر افزایش می‌یابند. همچنین میانگین تابش ۰/۰۳ میلی‌ژول بر مترمربع در روز نسبت به دوره (۲۰۰۹-۱۹۶۱) کاهش نشان می‌دهد و بیش‌ترین تعداد روز بارندگی در ماه فوریه و با میانگین

* مسئول مکاتبه: nabi_khalili@yahoo.com

۶۷۵ میلی‌متر و کم‌ترین آن در ماه مارس و با میانگین ۳/۹۵ میلی‌متر پیش‌بینی شده است. تعداد روزهای داغ در آینده در بیش‌تر ماه‌های گرم سال افزایش محسوسی می‌یابد و بیش‌ترین افزایش آن در ماه ژوئن بود. همچنین بیش‌ترین تعداد روزهای یخبندان در ماه ژانویه و با میانگین ۲۶ روز مشاهده می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج ارایه شده و همچنین دقت مناسب مدل در برآورد پارامترهای مورد مطالعه می‌توان از این مدل برای ارزیابی تغییر اقلیم در ایستگاه سنندج استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تولید داده، شبیه‌سازی، تغییر اقلیم، مدل LARS-WG، سنندج

مقدمه

در نیمه دوم قرن بیستم دمای کره زمین نسبت به نیمه اول این قرن افزایش پیدا کرده است و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش دما در قرن بیست و یکم هم‌چنان ادامه یابد و در نتیجه تغییراتی در شرایط اقلیمی مناطق مختلف کره زمین به‌وجود آید. بالا آمدن سطح آب دریاها و تغییر در آستانه‌های دمایی و بارندگی از پیامدهای تغییر اقلیم می‌باشد. تغییر الگوی توزیع بارش و تغییر در منابع آب یک منطقه نیز از دیگر وقایع ناشی از تغییر اقلیم می‌باشد. پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تخفیف اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه متخصصان مختلف از جمله متخصصان اقلیم‌شناسی، کشاورزی (آبیاری، زراعت و باغبانی) و حتی متخصصان علوم اجتماعی و اقتصادی قرار گرفته است. براساس نتایج پژوهش‌های بابائیان و همکاران (۲۰۰۹) برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ کاهش ۹ درصدی بارش، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به‌ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به‌میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در کل کشور پیش‌بینی شده است که استان‌های خراسان‌شمالی، آذربایجان‌غربی و آذربایجان‌شرقی با بیش‌ترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود. با توجه به کاهش بارش کشور و همچنین افزایش آستانه بارش‌های حدی، به‌نظر می‌رسد که در دهه‌های آینده بارش‌ها به شکل سنگین و سیل‌آسا باشد. ضمن آن‌که به‌دلیل افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته می‌شود.

مدل‌های مولد داده‌های مصنوعی آب و هوایی یک ابزار قوی برای مطالعه و ارزیابی خطر تغییر اقلیم و بروز دوره‌های خشک، بارش‌های رگباری و وقوع سیلاب است و ابزاری برای تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت اقتصادی، اجتماعی و کشاورزی می‌باشند (جانسون و همکاران، ۱۹۹۶). بر

همین اساس مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو (GCM)^۱ توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها معتبرترین ابزار، برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف محسوب می‌شوند و قادرند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی‌مدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC^۲ مدل‌سازی نمایند (دیباک و کولیبالی، ۲۰۰۵؛ کیلسی و جونز، ۲۰۰۷). اما ضعف عمده این مدل‌ها در قدرت تفکیک مکانی کم آن‌ها است که برای فائق آمدن بر این مشکل، لازم است خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی شوند. برای فائق آمدن بر نقیصه تفکیک فضایی کم در مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو، دو راه‌کار وجود دارد که یکی از آن‌ها ریزمقیاس‌نمایی آماری و دیگری ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی است (عباسی و همکاران، ۲۰۱۰). روش‌های آماری نسبت به روش‌های دینامیکی به پارامترهای کم‌تری نیاز دارند و به همین دلیل در مطالعات مربوط به علوم آب و هواشناسی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (علیزاده و همکاران، ۲۰۱۰). از جمله مدل‌هایی که در روش‌های آماری استفاده می‌شوند می‌توان به SDSM، GEM، CLIMGEN، LARS-WG، USCLIMATE و WGEN اشاره نمود. این مدل‌ها سری‌های زمانی روزانه متغیرهای هواشناسی همانند بارش، دما و تشعشع خورشیدی را تولید می‌نمایند (ریچاردسون و رایت، ۱۹۸۴؛ راسکو و سایدل، ۱۹۹۱).

LARS-WG5 یکی از مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی می‌باشد که برای تولید داده‌های بارش روزانه، تابش روزانه و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده به‌کار می‌رود (سمنوف و بروکس، ۱۹۹۹). سایر پارامترهای آب و هوایی همانند سرعت باد و نقطه شبنم را نیز می‌توان توسط این مدل شبیه‌سازی نمود (پارلنگ و کاتز، ۲۰۰۰). نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست مجارستان در سال ۱۹۹۰ به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از توزیع نیمه تجربی است که به دفعات از آن استفاده شده است. دقت بالای این مدل در تولید داده‌های آب و هوایی (دما و بارش) مربوط به ۱۸ ایستگاه در کانادا (ویلیامز، ۱۹۹۱) و ۲۰ ایستگاه واقع در اقلیم‌های متفاوت انگلیس (سمنوف، ۲۰۰۸) گزارش شده است. نتایج بابائیان و نجفی (۲۰۰۶) نیز بیانگر قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در دوره آماری و همچنین استفاده از آن

1- General Circulation Models
2- Intergovernmental Panel on Climate Change

برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی است. ماوروماتیس و هانسن (۲۰۰۱) نیز با مقایسه مدل‌های WM^۱، WM^۲ و LARS-WG نشان دادند که مدل LARS-WG در سطح اطمینان قابل قبول‌تری (۹۵ درصد) اقدام به تولید داده نموده است.

مساح‌بوانی و مرید (۲۰۰۶) با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زاینده‌رود با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو (HADCM3) تحت دو سناریوی اقلیمی A_۲ و B_۲ در دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نشان دادند که در هر دو دوره میانگین سالانه بارش در این منطقه کاهش و میانگین سالانه دما افزایش پیدا می‌کند. ضرغامی و همکاران (۲۰۱۱) با ریزمقیاس‌نمایی تغییرات آب و هوایی توسط مدل LARS-WG5 تحت سناریوهای A_۱B، A_۲ و B_۱ با استفاده از خروجی مدل HADCM3، افزایش ۲/۳ درجه‌ای دما و کاهش ۳ درصدی بارش در طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۰ را برای استان آذربایجان شرقی گزارش نموده‌اند. گزارش‌های دیگری از کاربرد مدل LARS-WG برای اطلاع از نحوه تغییرات اقلیمی در دهه‌های آتی و تأثیرات آن بر منابع مختلف محیطی توسط کاودن و همکاران (۲۰۰۸)، لیوکانون و همکاران (۲۰۰۳)، ریچتر و سمنوف (۲۰۰۴) و سجادخان و همکاران (۲۰۰۶) وجود دارد که به نتایج متفاوتی از نظر نحوه تغییرات مقادیر بارندگی و دما در مناطق مختلف رسیده‌اند.

استفاده از مدل‌های تولید داده امروزه به‌عنوان ابزاری برای برنامه‌ریزی‌های بهتر برای مقاصد اقتصادی به‌ویژه در بخش کشاورزی در آمده است که از جمله کاربردهای آن می‌توان به پیش‌بینی مقدار عملکرد محصولات زراعی با سطح اطمینان بالا، به کمک شبکه عصبی مصنوعی توسط لی و همکاران (۲۰۱۰) اشاره نمود. بنابراین به‌دلیل وابستگی شدید اقتصاد منطقه سمنج به تولیدات کشاورزی به‌خصوص محصولات دیمی مانند گندم، نخود و با توجه به اثرات وسیع اقتصادی و اجتماعی تغییر اقلیم بر جوامع، اطلاع از چگونگی بروز چنین تغییراتی در برنامه‌ریزی‌های محیطی بسیار مؤثر خواهد بود. از این‌رو این مطالعه برای آشکارسازی چگونگی تغییرات آب و هوایی سمنج طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ صورت گرفته است تا با بهره‌گیری از نتایج این پژوهش، بتوان با اتخاذ تدابیر لازم اثرات اقلیمی بر این منطقه را کاهش داده و سازگاری بیشتری را با شرایط جدید به‌خصوص از نظر تاریخ کشت و سایر اقدامات مدیریتی محصول به انجام رساند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش (سنندج) در شمال غرب ایران در محدوده ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ارتفاع متوسط ۱۳۱۵/۹ متر قرار دارد. این ناحیه از نظر طبقه‌بندی اقلیمی طبق روش تحلیل چندمتغیره در ناحیه اقلیمی زاگرس و زیرناحیه نیمه‌مرطوب معتدل (حیدری و علیجانی، ۱۹۹۹) و بر طبق طبقه‌بندی دومارتن دارای آب و هوای مدیترانه‌ای است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه همدیدی سنندج در یک دوره ۴۹ ساله (۲۰۰۹-۱۹۶۱) می‌باشد که از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ و سپس آزمون نرمال بودن داده‌ها صورت گرفت (سلطانی، ۲۰۰۷).

شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) توسط مدل: به‌منظور شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) از مدل LARS-WG5 استفاده شد. در تولید داده‌های مصنوعی اولین قدم، مدل‌سازی سری روزهای تر و خشک است. این مدل، به‌منظور شبیه‌سازی طول روزهای تر و خشک، بارش روزانه و تابش خورشیدی از توزیع نیمه‌تجربی استفاده می‌کند. توزیع نیمه‌تجربی تابش به این صورت است که فاصله‌ها به‌طور مساوی بین تابش ماکزیمم و مینیمم ماهانه تقسیم می‌شوند. در حالی که فاصله‌ها برای طول روز تر و خشک و بارش افزایشی هستند. برای یک روز تر مقدار بارش از توزیع نیمه‌تجربی بارش ماه موردنظر و به‌طور مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به‌دست می‌آید. درجه حرارت‌های مینیمم و ماکزیمم روزانه به‌صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز موردنظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به‌کار می‌رود. ضمن آن‌که مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیده‌بانی شده به‌دست می‌آیند، در تحلیل خود همبستگی زمانی داده‌های مینیمم و ماکزیمم مورد استفاده قرار می‌گیرند (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲).

با توجه به این‌که در مدل LARS-WG5، برای تعیین طول دوره روزهای تر و خشک، بارش روزانه و تابش از توزیع نیمه‌تجربی استفاده می‌شود، ابتدا همبستگی آماری بین خروجی مدل در گذشته با داده‌های دوره آماری ایستگاه هواشناسی به‌دست می‌آید. در صورتی‌که نتایج به‌دست آمده از مقایسه داده‌های تولیدی توسط مدل با داده‌های دوره آماری قابل قبول باشد (نبود اختلاف معنی‌دار)، می‌توان آن‌ها

را در سناریوهای اقلیمی آینده مورد استفاده قرار داد. به این منظور مدل از روش‌های آماری متعددی مانند کای دو، آزمون t و آزمون F برای صحت‌سنجی نتایج استفاده می‌کند. همچنین با کمک آماره‌های مختلف مانند آنچه در رابطه‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است می‌توان درستی خروجی مدل را مورد آزمون قرار داد. همچنین این مدل قادر به تولید داده مصنوعی برای یک خلاء آماری^۱ در ایستگاه‌ها است به نحوی که از نظر اقلیمی و آماری مشابه داده‌های مشاهده شده باشد (دوبروسکی، ۱۹۹۶).

مدل LARS-WG5 از سه بخش اصلی تشکیل شده است که عبارت هستند از: کالیبراسیون، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده. نیاز اساسی مدل در مرحله کالیبراسیون، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می‌باشد. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی ایستگاه همدیدی سنندج با در نظر گرفتن یک دوره ۴۹ ساله (۲۰۰۹-۱۹۶۱) به‌عنوان دوره پایه، تهیه شده و مدل براساس آن اجرا شد. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین^۲ (R^2)، میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE)، میانگین انحراف خطا^۴ (MBE) و میانگین خطای مطلق^۵ (MAE) (رابطه‌های ۱ تا ۴) در محیط نرم‌افزار SAS (سلطانی، ۲۰۰۷) اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل در دوره پایه و مقایسه آن‌ها با داده‌های واقعی (مشاهده شده) گردید.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (3)$$

-
- 1- Gap
 - 2- Coefficient of Determination
 - 3- Root Mean of Square Error
 - 4- Mean of Bias Error
 - 5- Mean of Absolute Error

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (4)$$

که در آن‌ها، X_i و Y_i به ترتیب i امین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه‌سازی شده توسط مدل، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. پس از اطمینان از درستی نتایج ارزیابی و قابلیت مدل LARS-WG5 در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده شده هواشناسی، اقدام به اجرای مرحله سوم یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ گردید. نیاز اساسی مدل برای اجرای این مرحله، دو فایل با پسوند WG و Sce است. فایل اول همان داده‌های روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره پایه می‌باشد و فایل دوم از خروجی یکی از مدل‌های گردش عمومی جو در دوره مشابه با دوره پایه به دست می‌آید. در حقیقت در این مرحله، مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های یک مدل گردش عمومی جو، پارامترهای اقلیمی آینده را در حد مقیاس منطقه مورد مطالعه (ایستگاه‌های هواشناسی)، شبیه‌سازی می‌کند. در این پژوهش از داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 که یکی از مدل‌های جفت شده اقیانوسی-جوی است و توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده، به‌عنوان فایل Sce استفاده شد. در نسخه جدید مدل در مقایسه با نسخه‌های قدیمی، سناریوهای اقلیمی مختلفی به‌صورت پیش‌فرض در مدل گنجانده شده‌اند. در این پژوهش، سناریوی تغییر اقلیم A2 مورد استفاده قرار گرفت که بیانگر افزایش جمعیت جهانی، غلظت CO_2 ، متوسط دما و سطح آب دریا به ترتیب تا ۱۵/۱ میلیارد نفر، ۸۳۴ پی‌پی‌ام، ۳/۱ (درجه سانتی‌گراد) و ۶۲ سانتی‌متر از سال ۱۹۹۰ تا ۱۰۰ سال آینده می‌باشد. از آنجایی‌که در تمامی سال‌ها انحراف معیار متوسط سالیانه تمامی متغیرها از انحراف معیار دوره آماری کم‌تر است و انتظار بر این است که مقادیر حدی اقلیمی در آینده افزایش یابد، در نتیجه، برای رفع این نقیصه با استفاده از رابطه‌های ۵ و ۶ ضمن حفظ میانگین‌ها، انحراف معیار این متغیرها به نسبت انحراف معیار داده‌های مشاهده شده به داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل برای دوره گذشته، در دوره پایه افزایش داده شد.

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{Fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (5)$$

که در آن، F_{GCM}^{obs} ، F_{GCM}^{fut} ، F_{obs} ، F_{fut} به ترتیب نشان‌دهنده متغیرهای پیش‌بینی شده، مشاهده شده، پیش‌بینی شده بر روی شبکه مدل در دوره آینده و شبیه‌سازی شده بر روی شبکه مدل در دوره گذشته می‌باشند و سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها مطابق معادله ۶ محاسبه شد (بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴) که در آن STD انحراف معیار متغیر هواشناسی است.

$$STD = \frac{STD_{base}^{obs}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (6)$$

نتایج و بحث

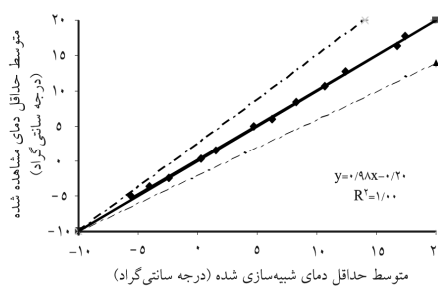
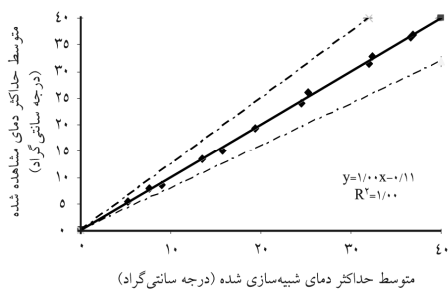
ارزیابی مدل LARS-WG در ایستگاه سنندج: نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۹) در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار ضریب تبیین در مورد همه متغیرها بالا به دست آمد ($R^2=0/99$). شاخص‌های خط‌اسنجی از جمله میانگین خطای مطلق، میانگین انحراف خطا و میانگین مربعات خطا نیز کوچک بودند. مقدار این متغیرها همیشه بین صفر و ۱ قرار دارد که مقادیر کوچک‌تر آن‌ها بیانگر وجود اختلاف‌های کم‌تر (اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده در طول دوره آماری) در تولید داده توسط مدل است (جدول ۱). نتایج t-test مدل نیز در آزمون پیش‌بینی همه متغیرها در ۱۲ ماه سال بیانگر نبود اختلاف معنی‌دار مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده در سطح احتمال ۵ درصد است (جدول ۲). با توجه به این‌که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در طی بازه زمانی ۱۹۶۱-۲۰۰۹ مشاهده نمی‌شود و مقادیر بیش‌تر حول محور یک یه یک و در بازه ۲۰ درصد حدود اطمینان متمرکز هستند (شکل‌های ۱ و ۲)، از این‌رو، توانایی مدل در شبیه‌سازی و تولید داده‌های اقلیمی برای ۲۰ سال آینده مورد تأیید قرار گرفت.

جدول ۱- ارزیابی مدل در دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۹) با استفاده از آماره‌های واسنجی.

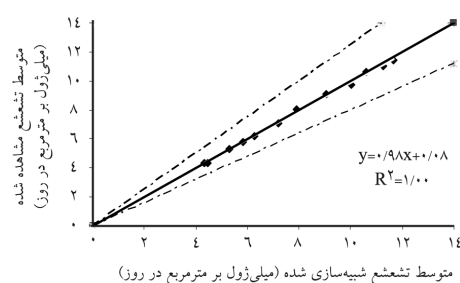
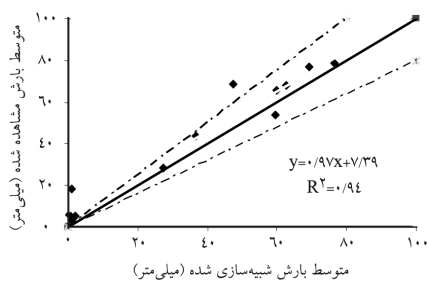
متغیر	حداکثر دما	حداقل دما	تابش	بارندگی
R^2	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
RMSE	۰/۸۳۶	۰/۶۳۲۲	۰/۵۱۵۵	۰/۳۸۸۸
MBE	۰/۰۳۳۵	-۰/۰۲۰۲	۰/۰۰۴۱	۰/۱۵۷۳
MAE	۰/۸۳۸۲	۰/۹۲۵۵	۰/۵۱۵۵	۰/۳۸۸۸

جدول ۲- مقادیر t-test محاسباتی توسط مدل برای صحت‌سنجی در سطح احتمال ۵ درصد.

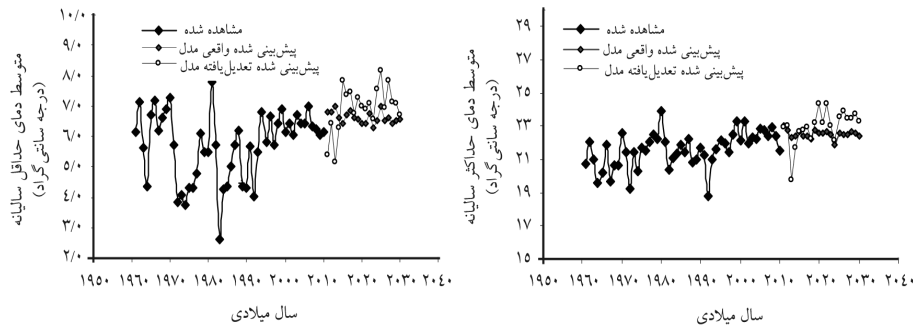
ماه	بارش	تابش	دمای حداقل	دمای حداکثر
ژانویه	۰/۳۶۶	۰/۷۹۷	۰/۲۰۸	۰/۵۱۹
فوریه	۰/۱۲۷	۰/۷۵۳	۰/۰۸۹	۰/۲۷۲
می	۰/۱۳۵	۰/۸۰۸	۰/۸۰۵	۰/۰۹
آگوست	۰/۱۸۱	۰/۳۷۸	۰/۶۶۶	۰/۰۸۱
می	۰/۵۶۲	۰/۱۰۸	۰/۵۵۵	۰/۶۶۶
ژوئن	۰/۴۴۸	۰/۰۷۱	۰/۹۵۱	۰/۰۲۶
جولای	۰/۴۷۷	۰/۵۵	۰/۴۰۴	۰/۱۶۶
آوریل	۰/۶۷۵	۰/۵۷۸	۰/۸۷۱	۰/۶۵۲
سپتامبر	۰/۲۲۷	۰/۱۰۷	۰/۴۷	۰/۹۸۹
اکتبر	۰/۲۶۷	۰/۵۶۱	۰/۳۰۴	۰/۷۵۶
نوامبر	۰/۸۳۸	۰/۶۴	۰/۲۲۳	۰/۹۱۷
دسامبر	۰/۳۶۶	۰/۸۴۵	۰/۱۷۶	۰/۰۱۸



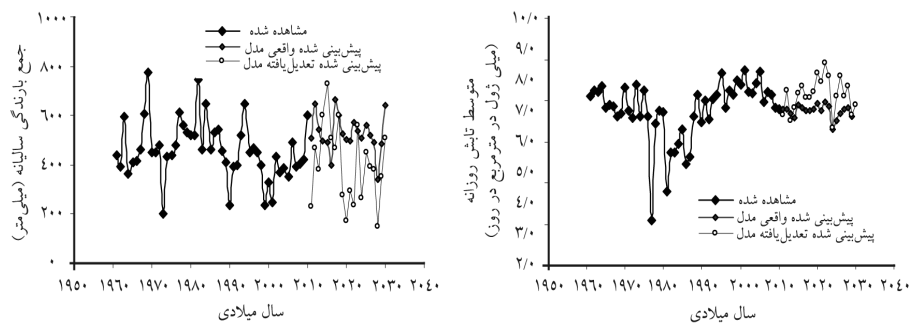
شکل ۱- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده دمای حداکثر و حداقل در دوره آماری (۱۹۶۱-۲۰۰۹) در سنندج.



شکل ۲- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده تشعشع و بارش در دوره آماری (۱۹۶۱-۲۰۰۹) در سنندج.



شکل ۳- متوسط مقادیر مشاهده شده (۱۹۶۱-۲۰۰۹) و پیش‌بینی شده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) دمای حداکثر و حداقل در سنندج.



شکل ۴- متوسط مقادیر مشاهده شده (۱۹۶۱-۲۰۰۹) و پیش‌بینی شده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) بارش و تابش روزانه در سنندج.

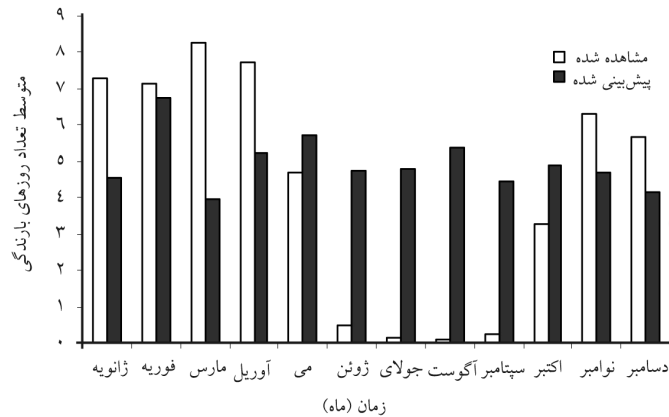
نتایج همچنین نشان داد که میانگین دماهای حداکثر و حداقل $0/93$ و $0/92$ درجه سانتی‌گراد و بارش ماهیانه 6 میلی‌متر در دوره آماری $2011-2030$ میلادی در مقایسه با دوره آماری $1961-2009$ میلادی در ایستگاه سنندج افزایش خواهند یافت. همچنین میانگین تابش $0/03$ میلی‌ژول بر مترمربع در روز نسبت به دوره گذشته کاهش نشان می‌دهد (جدول ۳ و شکل‌های ۳ و ۴). در همین راستا بابائیان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش دادند که برای دوره 2010 تا 2039 کاهش 9 درصدی بارش، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به ترتیب 13 و 39 درصد و افزایش میانگین سالانه دما به میزان $0/5$ درجه سانتی‌گراد در کل کشور به‌وقوع خواهد پیوست که استان‌های خراسان‌شمالی، آذربایجان‌غربی و شرقی

با بیشترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود. با توجه به کاهش بارش کشور و همچنین افزایش آستانه بارش‌های حدی، به نظر می‌رسد در دهه‌های آینده بارش‌ها به شکل سنگین و سیل‌آسا باشد. به دلیل افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته می‌شود. بررسی نتایج بر روی شمال‌شرق کشور بیانگر جابه‌جایی الگوی بارش به سمت انتهای فصل سرد می‌باشد. همچنین میانگین تابش ۰/۰۷۵ میلی‌ژول بر مترمربع در روز نسبت به دوره گذشته کاهش نشان می‌دهد (شکل‌های ۵ و ۶). از طرفی وجود انحراف معیار بیش‌تر مقادیر شبیه‌سازی شده بارندگی نسبت به مقادیر دیده‌بانی شده به این دلیل است که بارندگی از متغیرپذیرترین پارامترهای اقلیمی است (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین و انحراف معیار میانگین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده متغیرهای اقلیمی در سندج.

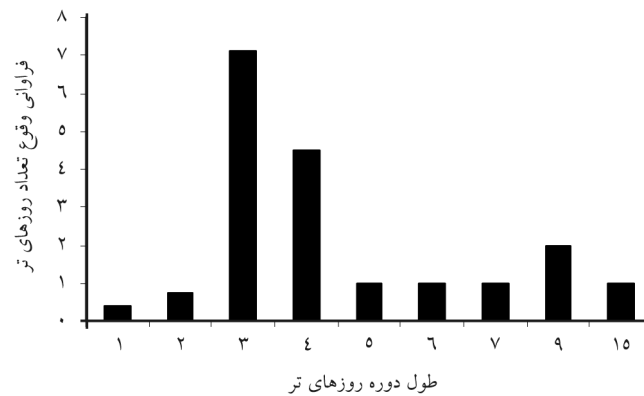
	دماي حداکثر		دماي حداقل		بارندگی		تابش
	دوره پیش‌بینی	دوره مشاهده	دوره پیش‌بینی	دوره مشاهده	دوره پیش‌بینی	دوره مشاهده	
میانگین	۲۲/۵۳	۵/۷	۶/۶۲	۳۷/۲	۴۳/۲	۷/۷۸	۷/۷۵
انحراف معیار واقعی	۰/۲۳	۱/۱۳	۰/۲	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۷۲	۰/۱۶
انحراف معیار تعدیل شده	-	۱/۰۱	-	۰/۷۵	-	۰/۴۲	۰/۴۱

تعداد روزهای بارانی: نتایج پیش‌بینی تعداد روزهای بارانی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی برای سندج نشان داد که تعداد روزهای بارندگی نسبت به دوره گذشته در ماه‌های می، ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر روند افزایشی خواهد داشت. در سایر ماه‌های سال نیز از تعداد این روزها کاسته می‌گردد. به طوری که بیش‌ترین تعداد روزهای بارندگی در ماه فوریه و با میانگین ۶/۷۵ میلی‌متر و کم‌ترین آن در ماه مارس و با میانگین ۳/۹۵ میلی‌متر پیش‌بینی شده است. افزایش تعداد روزهای بارندگی در فصل تابستان این ایستگاه در دوره آینده در مقایسه با دوره گذشته نیز محسوس بود (شکل ۵). گرچه تعداد روزهای بارندگی بیش‌تر در هر ناحیه می‌تواند به‌عنوان یک خصیصه مطلوب محسوب شود ولی پراکنش مناسب این روزها در طی روزهای سال به‌ویژه در فصل‌هایی که نیاز به آب در کشاورزی اساسی است و همچنین نوع بارش اعم از رگباری، سنگین و... از جمله شاخصه‌های مهم در آنالیز این صفت برای هر ناحیه محسوب می‌شود.

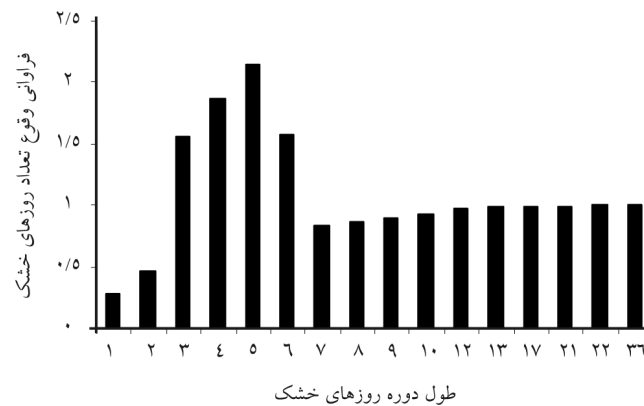


شکل ۵- تعداد روزهای بارندگی مشاهده شده (۱۹۶۱-۲۰۰۹) و پیش‌بینی شده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) در سنندج.

فراوانی روزهای تر و خشک: داده‌های روزانه بارش در چهار فصل (زمستان، بهار، پاییز و تابستان) به دو دسته متمایز روزهای بارانی و روزهای خشک تفکیک می‌شوند. تعیین روز خشک و روز تر از آستانه تری یعنی (مقدار بارش کم‌تر از ۰/۱ میلی‌متر را روز خشک و بیش‌تر از آن را روز مرطوب) انجام می‌شود. به عبارت دیگر روزهای با صفر میلی‌متر را روز خشک و غیر از آن را روز بارانی در نظر می‌گیرند (سلیقه و همکاران، ۲۰۱۱). در بررسی فراوانی روزهای تر و خشک در سنندج با استفاده از مدل مورد مطالعه، نتایج نشان داد که بیش‌ترین فراوانی روزهای تر در سنندج در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۹ میلادی مربوط به بازه ۳-۴ روزه و کم‌ترین آن مربوط به بازه ۰-۱ روزه بوده است (شکل ۶). بیش‌ترین تکرار روزهای خشک نیز مربوط به بازه ۴-۵ روزه و کم‌ترین آن مربوط به بازه ۰-۱ روزه بوده است (شکل ۷). طول بیش‌تر دوره روزهای خشک نسبت به روزهای تر (۳۶ در مقابل ۱۵ روز) می‌تواند بیانگر استعداد این ناحیه در بروز خشک‌سالی باشد. هم‌چنان‌که مطالعه خلیلی‌اقدم (۲۰۱۰) در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۳ روی اقلیم نوار غربی کشور نشان داد که سنندج از ضعیف‌ترین درجه توزیع بارندگی و در عین حال شدیدترین خشک‌سالی نسبت به سایر استان‌های هم‌جوار (کرمانشاه و آذربایجان غربی) برخوردار بوده است.



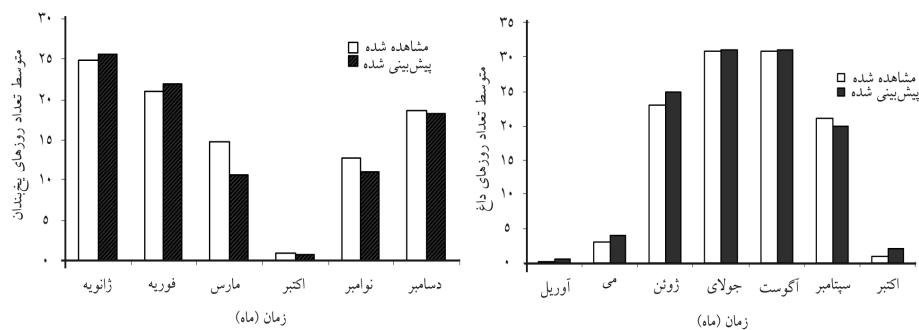
شکل ۶- توزیع روزهای تر فصل زمستان سنندج در دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۱ با استفاده از توزیع نیمه تجربی.



شکل ۷- توزیع روزهای خشک فصل زمستان سنندج در دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۱ با استفاده از توزیع نیمه تجربی.

تعداد روزهای داغ و یخبندان: روز داغ به روزی گفته می‌شود که دمای بیشینه آن از ۳۰ درجه سانتی‌گراد فزونی یابد همچنین روز یخبندان به روزی گفته می‌شود که در آن دمای کمینه صفر و یا کم‌تر از آن باشد (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲). در این پژوهش با استفاده از نتایج مدل، تعداد روزهای داغ و یخبندان دوره‌های آماری پایه و ۲۰۱۱-۲۰۳۰ استخراج شدند. نتایج نشان داد که تعداد روزهای داغ در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در ماه‌های گرم سال به‌ویژه می، ژوئن و سپتامبر روندی افزایشی خواهد داشت و بیش‌ترین افزایش نیز مربوط به ماه ژوئن با میانگین ۲۵ روز می‌باشد. لازم به ذکر است تعداد

روزهای داغ در ماه‌های آگوست و جولای کماکان در حداکثر مقدار خود قرار دارد. این مسأله به‌وضوح تأثیر گرمایشی ناشی از رشد جمعیت، صنعتی شدن جوامع و از همه مهم‌تر افزایش بی‌رویه حجم گازهای گلخانه‌ای در جو را روی اقلیم منطقه در دهه‌های آینده نشان می‌دهد مشابه چنین نتایجی نیز توسط عباسی و همکاران (۲۰۱۰) و پری و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است. تعداد روزهای یخبندان نیز در ماه‌های ژانویه و فوریه روند افزایشی خواهند داشت به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد آن در ماه ژانویه و با میانگین ۲۶ روز مشاهده می‌شود اما تعداد آن در ماه‌های مارس، اکتبر، نوامبر و دسامبر کاهش خواهند یافت. در سایر ماه‌های سال نیز یخبندانی وجود نخواهد داشت (شکل ۸). دوره مورد پیش‌بینی متوسط تعداد روزهای یخبندان در ماه‌های ژانویه و فوریه در حد ۲-۱ روز نسبت به دوره گذشته افزایش خواهند داشت. ولی در ماه مارس تعداد روزهای یخبندان در دوره آتی حدود ۵ روز کاهش خواهد یافت و به‌طور متوسط به ۱۱ روز در سال خواهد رسید که بیش‌ترین کاهش تعداد روزهای یخبندان خواهد بود. در ماه‌های اکتبر و دسامبر تعداد روزهای یخبندان در دو دوره تغییر محسوسی نسبت به یکدیگر نخواهند داشت، در حالی‌که در ماه نوامبر این پارامتر به‌طور متوسط حدود ۲ روز کاهش خواهد یافت. در بقیه ماه‌های سال هم روز یخبندانی وجود نخواهد داشت. به‌طورکلی تعداد روزهای یخبندان کاهش جزئی خواهد یافت که در شکل ۸ نشان داده شده است. افزایش نسبی متوسط دمای حداقل به‌میزان ۰/۹۲ درجه سانتی‌گراد که در بخش‌های قبل به آن اشاره شد می‌تواند بیانگر این مطلب باشد. نتایج بابائیان و همکاران (۲۰۰۹) نیز بر افزایش تعداد روزهای یخبندان در بیش‌تر ماه‌های سال به‌جز ژوئیه، آگوست و ژوئن تأکید دارد.



شکل ۸- تعداد روزهای داغ و یخبندان مشاهده شده (۲۰۰۹-۱۹۶۱) و پیش‌بینی شده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) در سنندج.

نتیجه گیری کلی

براساس نتایج به دست آمده از به کارگیری مدل LARS-WG و با توجه به دقت خوب مدل در شبیه سازی داده های مشاهده شده، توانایی خوب این مدل در پیش بینی مشخص شد. به طوری که پارامترهای درجه حرارت های حداکثر و حداقل روزانه، بارش و تابش تحت شرایط اقلیمی حاضر به خوبی شبیه سازی و برای آینده به خوبی پیش بینی شدند. با توجه به توانایی این مدل در پیش بینی پارامترهای آب و هوایی در حدود اطمینان ۹۵ درصد، از این مدل می توان برای ارزیابی تغییر اقلیم در این ناحیه و نواحی با اقلیم مشابه استفاده کرد.

منابع

1. Abbasi, F., Malbosi, Sh., Babaian, I., Asmari, M., and Borhani, R. 2010. Prediction of climate change in southern khorasan in 2010-2039 using downscaling data GCM (ECHO-G), Geograph. and Dev. J. 24: 218-233. (In Persian)
2. Alizade, A., Sayyari, N., Hesami Kermani, M.R., Banayan Avval, M., and Farid Hosseini, E. 2010. Assessment of effects of climate change on water resources and agriculture water using, Water and Soil J. 24: 815-835. (In Persian)
3. Babaian, A., and Najafi Nik, Z. 2006. Assessment of LARS-WG model for modeling of meteorological parameters in khorasan province in 1961-2003, Nivar Magazine, 63: 24-30. (In Persian)
4. Babaian, A., Najafi Nik, Z., Zabol Abbasi, F., Nowkhandan, M., and Malbosi, Sh. 2009. Assessment of climate changing in 2010-2039 using downscaling data GCM (ECHO-G), Geograph. and Dev. J. 16: 34-41. (In Persian)
5. Cowden, J.R., Watkins Jr.D.W., and Mihelcic, J.R. 2008. Stochastic rainfall modeling in west africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment, J. Hydrol. 361: 1-2. 64-77.
6. Dibike, Y.B., and Coulibaly, P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. J. Hydrol. 307: 145-163.
7. Dubrovsky, M. 1996. Met & Roll: the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model. Meteorological Bulletin, 49: 97-105.
8. Heidari, H., and Alijan, B. 1999. Climatic classification in Iran by multiple techniques, Geographic Researches, 37: 57-74. (In Persian)
9. Johnson, G.L., Hanson, C.L., Hardegree, S.P., and Ballard, E.B. 1996. Stochastic weather simulation: Overview and analysis of two commonly used models. J. Appl. Meteorol. 35: 1878-1896.
10. Khaliliaqdam, N. 2010. Assessment drought of west border of Iran using PNPI index, P 431. In: the fourth proceeding of knowledges of agriculture and natural resources, Kurdistan University, (In Persian)

11. Kilsby, C.G., and Jones, P.D. 2007. A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modeling and Software*, 22: 1705-1719.
12. Lee, E., Seong, Ch., Kim, H., Park, S., and Kang, M. 2010. Predicting the impacts of climate change on nonpoint source pollutant loads from agricultural small watershed using artificial neural network. *J. Environ. Sci.* 22: 840-845.
13. Luo, Qanyan, M.A., Williams, J., Belloti, W., and Bryan, B. 2003. Quantative and visual assessments of climate change impacts on south Australian wheat production, *Agriculture Systems*, 77: 3. 173-186.
14. Massah Bavani, A.R., and Morid, S. 2006. Impact of climate change on the water resources of zayandeh rud basin, *J. Sci. and Technol. Agric. and Natur. Resour.* 9: 4. 28-34.
15. Mavromatis, Th., and Hansen, J.W. 2001. Inter annual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agricultural and forest meteorology*, 109: 283-296.
16. Parlange, M.B., and Katz, R.W. 2000. An extended version of the Richardson Model for simulating daily weather variables. *J. Apply Meteorology*, 39: 610-622.
17. Parry, M., Rosenzweig, C., Inglesias, M., Fichernd, G., Livemore, M., and Gischer, G. 2004. Effect of climate change on global environmental change, 14: 53-67.
18. Racsco, P., and Szeidl, L. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 57: 27-41.
19. Richardson, C.W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resources Research*, 17: 182-190.
20. Richter, G.M., and Semenov, M.A. 2004. Modeling impacts of climate change on wheat yields in England and wales: assessing drought risks, *Agriculture Systems*, 84: 1. 77-97.
21. Sajjad Khan, M., Coulibaly, P., and Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of stochastically downscaling methods, *J. Hydrol.* 319: 1-4. 357-382.
22. Saliqe, M., Alijani, B., and Del-Ara, Q. 2011. Spatial analysis of wet season precipitation using Markove model, case study, Ardabil province, *J. Appl. Res. Geograph. Sci.* 20: 23. 25-44. (In Persian)
23. Semenov, M.A., and Brooks, R.J. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10: 95-107.
24. Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3, 27p.
25. Semenov, M.A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*, 35: 203-212.

26. Soltani, A. 2007. Application and using of SAS program in statistical analysis. Mashhad, Iran: Jihad-Daneshgahi Press, 160p. (In Persian)
27. Williams, A.G. 1991. Modeling future climates: From GCMs to statistical downscaling approaches, University of Toronto at Scarborough, 56p.
28. Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hasanzadeh, Y., and Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoffs in east Azerbaijan, Iran, Global and Planetary Change, In Press, Corrected Proof, Available online 30 June 2011.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(4), 2013
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Evaluation of ability of LARS-WG model for simulating some weather parameters in Sanandaj

N. Khaliliaqdam¹, A. Mosaedi², A. Soltani³ and B. Kamkar⁴

¹Assistant Prof., Dept. of Plant Production, Non Profit University of Baharan, ²Associate Prof., Dept. of Eco-Environmental, Ferdowsi University of Mashhad, ³Professor, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Associate Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 01/04/2012; Accepted: 08/18/2012

Abstract

Nowadays, the scientists and climate researchers have been focused on prediction of long-term climatic parameters caused by climate change. GCM models can predict climatic parameters as LARS-WG. This model can produce daily rainfall, radiation and temperature maximum and minimum daily. Model using of semi-empirical distribution will generate wet and dry days, daily rainfall and radiation. In this research, the possibility of using of LARS-WG model was evaluated to simulate some weather parameters in Sanandaj. The model was able to simulate maximum temperature, minimum temperature and radiation but it was not able to simulate rainfall data. So results showed that mean of minimum, maximum temperatures and rainfall will raise, 0.99, 0.01 °C and 6.95 mm during period from 2030 to 2011 in Sanandaj respectively. Also, solar radiation will decrease about 0.075 MJ/m². Day and the greatest rainy days obtained in February (6.75 mm) and the lowest in March (3.95 mm). Also results showed that the hot days will increase in warm months and the highest mean will occur in June. The greatest of frost days occurred in January with 25.60 day as average. Therefore, considering the results presented and good accuracy of model in estimating the parameters, it can be used for evaluation and prediction of climate change in Sanandaj station.

Keywords: Evaluation, Simulation, Climate change, LARS-WG model, Sanandaj

* Corresponding Author; Email: nabi_khalili@yahoo.com