

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره ۱۳، شماره ۵۰، زمستان ۱۴۰۱

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱

صص ۹۸-۱۱۶

پژوهشی

ارزیابی عدم قطعیت بارش شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل‌های آماری (مطالعه موردی: شمال غرب ایران)

سعید زنگنه*، دکتری مخاطرات اقلیمی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

در این پژوهش، داده‌های مورد نیاز بارش ایستگاه‌های همدید منطقه مورد مطالعه (شمال غرب ایران) طی دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۵ از مرکز آمار سازمان هواشناسی اخذ گردید. جهت پیش‌بینی و تولید داده‌های آماری دوره ۲۰۲۶ تا ۲۰۶۵ از مدل LARS-WG و CLIMGEN استفاده شد. در این مطالعه از روش بوت استرپ جهت ارزیابی عدم قطعیت بارش استفاده شد. همبستگی بین داده‌های بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان‌دهنده این است که مدل CLIMGEN داده‌های مصنوعی بارش را با دقت بیشتری شبیه‌سازی می‌کند. کم‌ترین خطای RMSE و MAE در هر دو مدل مربوطه به ایستگاه جلفا است و بیشترین خطا در هر دو مدل در ایستگاه سردشت اندازه‌گیری شده است. برآورد مقادیر خروجی بارش (میانگین بارش) توسط مدل LARS-WG با روش بوت استرپ نشان‌دهنده عدم قطعیت بالاتر مدل LARS-WG نسبت به مدل CLIMGEN است. واریانس بارش مشاهداتی نیز نشان‌دهنده تغییرات زیاد فاصله اطمینان در ماه‌های فصل بهار و پاییز است؛ بنابراین با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت که در رابطه با بارش، مدل LARS-WG عدم قطعیت بیشتری را نسبت به مدل CLIMGEN در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. قدرمطلق خطای بارش سالانه با خروجی مدل CLIMGEN مقدار کمتری را نسبت به قدرمطلق خطا با خروجی مدل LARS-WG نشان می‌دهد. که این امر نشان‌دهنده مقدار خطای کمتر مدل CLIMGEN در عدم قطعیت مکانی بارش شبیه‌سازی شده نسبت به مدل LARS-WG در منطقه شمال غرب ایران است.

واژگان کلیدی: عدم قطعیت بارش، LARS-WG، CLIMGEN، بوت استرپ، شمال غرب ایران

*Email: zangenehsaeed64@gmail.com

doi 10.22034/JARGS.2023.379657.1009

۱- مقدمه

برای پیش‌بینی داده‌های هواشناسی مدل‌های مختلفی توسط محققان معرفی شده است. مدل‌های WGEN (Richardson and Wright, ۱۹۸۴)، WXGEN (Sharpley and Williams, ۱۹۹۰)، USCLIMATE (Johnson et al, ۱۹۹۶)، CLIGEN (Amoled and Elliott, ۱۹۹۶)، CLIMAX (Donoso, ۱۹۹۷) و CLIMGEN (Stockle et al, ۱۹۹۸) را می‌توان نام برد. اکثر این مدل‌ها برای پیش‌بینی داده‌های هواشناسی، از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌کنند.

مک‌کاگو و همکاران (Mc kaguo et al, ۲۰۰۳) توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های انتاریوی جنوبی در کانادا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که مدل مذکور از توانایی خوبی برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی برخوردار است. در مطالعه‌ای دیگر سه مدل LARS-WG، SDSM و شبکه عصبی مصنوعی مورد آزمون قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن بوده که مدل SDSM در سطح اطمینان ۹۵ درصد داده‌های مشاهداتی را بهتر از سایر مدل‌ها توانسته در مقادیر ریزمقیاس شده حفظ نماید.

سیمینو و همکاران (Semenov et al, ۱۹۹۸) به بررسی و مقایسه دو مدل WGEN و LARS-WG بر روی ۱۸ ایستگاه در آمریکا، آسیا و اروپا پرداختند که نتایج این مقایسات بیانگر توانایی بالای مدل لارس در تولید داده برای اقلیم‌های متفاوت بود.

میشرا و همکاران (Mishra et al, ۲۰۰۷) از یک مدل هیبرید که ترکیبی از مدل‌های استوکاستیک خطی و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی غیرخطی است، برای پیش‌بینی خشکسالی استفاده کردند. با استفاده از سری شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، مدل هیبرید و همچنین مدل‌های استوکاستیک و شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی خشکسالی‌ها در حوضه رودخانه کانسباتی هند به کار برده شدند و عملکرد مدل‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. مدل هیبرید در مقایسه با سایر مدل‌ها دارای دقت بالاتری بود.

در مطالعه‌ای دیگر پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل تصادفی ترکیبی و مدل شبکه عصبی مورد تحلیل قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از سری شاخص بارش استاندارد؛ مدل ترکیبی و همچنین مدل شبکه عصبی و مدل ANN^۱ برای پیش‌بینی خشکسالی در حوضه رودخانه کانسباتی^۲ در هند به کار گرفته شد و عملکرد آن‌ها مقایسه شد. مدل ترکیبی برای پیش‌بینی خشکسالی با دقت بیشتری اثبات شد.

مینویل^۳ و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی عدم قطعیت تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه نوردیک کانادا با استفاده از مدل HSAMI پرداختند. در این تحقیق از ۵ مدل AOGCM و ۲ سناریو انتشار استفاده شد و نتایج افزایش ۱ تا ۱۴ درجه‌ای دما و تغییر ۹- تا ۵۵ درصدی بارش فصلی را نشان داد. همچنین میزان رواناب حوضه تحت تأثیر اقلیم تغییر خواهد نمود.

کاولیراتو و همکاران (Kavalirato et al, ۲۰۱۲) به تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی کوتاه‌مدت در حوضه رودخانه آیسون (یونان) پرداختند. نتایج این تحقیق یک بینش جامع بر رفتار خشکسالی، یک دوره خشکسالی غالب (۱۹۹۱-۱۹۸۸) با رویدادهای خشکسالی شدید و آشکار و در بسیاری از موارد تغییر کلاس خشکسالی ملایم را به ما می‌دهد.

بررسی روند، تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از مدل‌های تصادفی سری زمانی (مطالعه موردی: ایستگاه اردبیل) توسط ایمانی و همکاران (۱۴۰۰) مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج مربوط به

^۱ Artificial Neural Network

^۲ Kansabati

^۳ Minvile

بارندگی ماهانه‌ی پیش‌بینی شده در ۵ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴) با استفاده از بهترین روش ایستاسازی و بهترین مدل سری‌های زمانی در ایستگاه سینوپتیک اردبیل نشان‌دهنده این است که مقدار بارندگی سالانه در ۴ سال از ۵ سال آینده نسبت به میانگین بارندگی ۲۰ سال گذشته، بین ۳ تا ۱۷ درصد کاهش خواهد یافت که بیشترین کاهش مربوط به سال ۲۰۲۲ میلادی است. مقدار بارندگی فقط در سال ۲۰۲۳ معادل ۰/۳ درصد افزایش خواهد یافت.

جهانبخش اصل و قویدل رحیمی (۱۳۸۳) مدل‌سازی روند بارش و پیش‌بینی خشکسالی‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به‌طور کلی از نظر شدت وقوع خشکسالی، ایستگاه‌های مورد مطالعه خشکسالی‌های ضعیف تا متوسطی را نشان می‌دهند؛ ولی خشکسالی بسیار شدید در طول دوره آماری مشاهده نگردید. از بررسی روند بارش و محاسبات مربوط به پیش‌بینی بارش سال‌های آتی که با استفاده از سری‌های زمانی انجام گرفته است، در اکثر ایستگاه‌ها وقوع خشکسالی قابل پیش‌بینی است.

کمال و مساح بوانی (۱۳۹۰) در تحقیقی عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های هیدرولوژی را در تخمین دما، بارش و رواناب حوضه‌ی قره‌سو بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در نظر گرفتن عدم قطعیت موجب دقت نتایج تحقیق آنها شده است.

پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد دو شاخص SPI و DI همخوانی خوبی با هم دارند و طی دو دهه آینده خشکسالی در اغلب ایستگاه‌ها و در بیشتر سال‌ها کاهش می‌یابد، به استثنای ایستگاه تربت‌جام که به دلیل افزایش ساعت آفتابی و در نتیجه کاهش بارندگی، افزایش خشکسالی را نشان می‌دهد. در حالت کلی در بیش از ۹۰٪ ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی طی بیست سال آینده وضعیت ترسالی افزایش می‌یابد.

فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی تغییرات اقلیم ایستگاه تبریز در دوره آماری ۲۱۰۰-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل LARS-WG پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌طور کلی عملکرد مدل لارس در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی تحت بررسی مناسب است و می‌توان از آن جهت بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها در دوره گذشته و یا تطویل این داده‌ها به دوره آینده بهره جست. همچنین نتایج نشان از افزایش شدت و مدت دماها در مقابل میانگین دمای دوره ۲۰۰۷-۱۹۸۷ را دارند.

آزمون دقت شبیه‌سازهای LARS-WG، Weather Man و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد) توسط حجارپور و همکاران (۱۳۹۳) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. نتایج آن نشان‌دهنده این است که پارامتر حداکثر دما برای اقلیم مدیترانه‌ای گرگان و نیمه‌خشک گنبد با مدل CLIMGEN و برای اقلیم خشک مشهد با مدل Weather Man بهتر شبیه‌سازی شد. مدل Weather Man نسبت به سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش برای منطقه گرگان و گنبد و مدل CLIMGEN برای مشهد موفق‌تر بودند. به نظر می‌رسد که خروجی‌های این مدل‌ها علی‌رغم تفاوت‌هایی که دارند می‌توانند در مدل‌سازی گیاهی و بحث تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرند.

ارزیابی شرایط خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان طی (۱۴۱۰-۱۳۹۱) با استفاده از ریز قیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو توسط مظفری و همکاران (۱۳۹۴) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده افزایش ۸ درصدی بارش در استان و کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سلسیوس است و به‌طور کلی خشکسالی در دوره ۱۳۹۱-۱۴۱۰ کاهش می‌یابد.

در تحقیقی دیگر رسولی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی اثر عوامل مرفو اقلیمی بر دقت ریزمقیاس‌گردانی مدل SDSM پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که دقت مدل در ایستگاه‌های منتخب متفاوت بوده؛ ولی شبیه‌سازی

دما با دقت مناسب تری انجام گرفت. همچنین مدل در برآورد بارش از دقت کمتری برخوردار بوده و در بین ایستگاه‌ها نیز متفاوت به دست آمد.

قرمزچشمه و همکاران (۱۳۹۴) بررسی عدم قطعیت مدل شبکه عصبی در ریزمقیاس گردانی HadCM3 با روش فاصله اطمینان بوت استرپ مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین دمای بیشینه در ۱۴ ایستگاه - ماه در محدوده اطمینان واقع شدند. تحلیل ماهانه آن نیز نشان داد که دقت شبکه عصبی در تابستان کم بوده و عدم قطعیت بالاتری نسبت به فصول دیگر دارد.

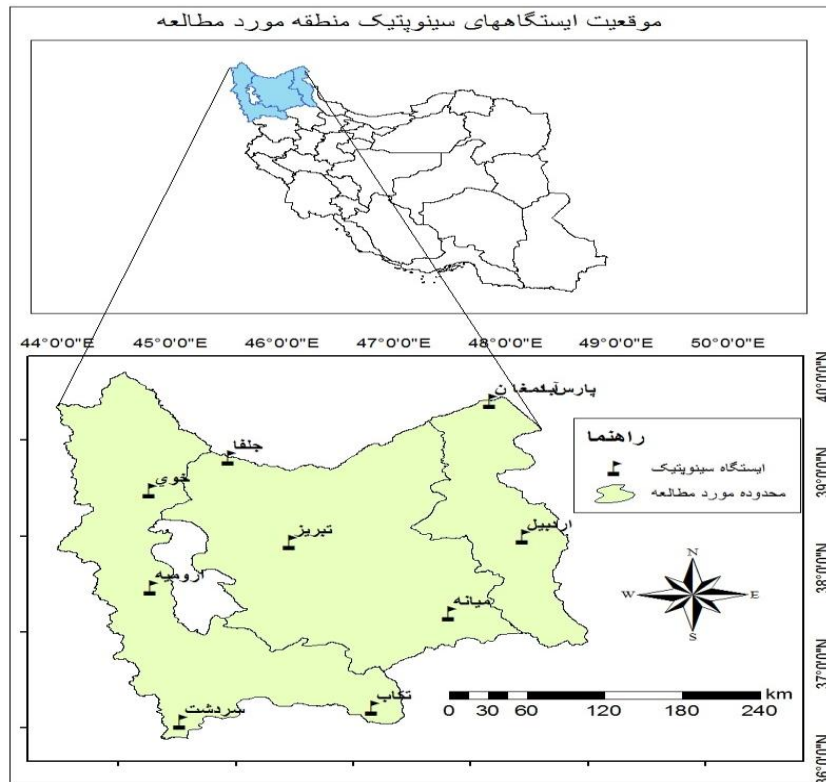
ساری صراف و همکاران (۱۳۹۴)، پایش و پیش‌بینی ترسالی و خشکسالی تبریز با استفاده از مدل CLIMGEN و شاخص SPI، مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در دوره مورد مطالعه روند بارش رو به کاهش گذارده است و از طرف دیگر در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره مشاهداتی ترسالی و خشکسالی‌ها رو به افزایش نهاده و از وضعیت نرمال فاصله گرفته است.

در تحقیقی دیگر ارزیابی عملکرد دو مدل LARS-WG و CLIMGEN در تولید سری‌های زمانی بارش و درجه حرارت در ایستگاه تحقیقات دیم سیسب - خراسان شمالی توسط خلیلی و همکاران (۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در تولید سری زمانی بارش، مقادیر RMSE و MAE برای مدل LARS-WG کمتر از مدل CLIMGEN بوده و از طرفی مقدار CD در مدل LARS-WG به یک نزدیک‌تر بوده است. از نظر شبیه‌سازی درجه حرارت حداقل و حداکثر، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مدل CLIMGEN در مدل‌سازی میانگین‌های روزانه و ماهانه درجه حرارت حداقل و حداکثر موفق‌تر از مدل LARS-WG عمل کرده است، به طوری که در مدل LARS-WG از بین آزمون‌های آماری انجام شده بر روی میانگین ماهانه درجه حرارت حداقل و حداکثر به ترتیب ۲ و ۳ آزمون در سطح معنی‌داری ۰/۹۵ رد شده‌اند، نتایج همچنین نشان داده که مدل CLIMGEN در مدل‌سازی دوره‌های یخبندان و گرمای شدید موفق‌تر از مدل LARS-WG بوده است.

در این مطالعه نیز سعی داریم به ارزیابی عدم قطعیت بارش در منطقه شمال غرب ایران بپردازیم. با عنایت به قرارگیری دریاچه ارومیه در این بخش از کشور و کاهش سطح آب آن در سال‌های اخیر، مطالعه بارش و پیش‌بینی آن ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این مطالعه نیز مقایسه و ارزیابی عدم قطعیت بارش با مدل‌های آماری LARS-WG و CLIMGEN جهت پیش‌بینی بارش در سال‌های آینده به منظور برنامه‌ریزی بهتر و اقدامات پیشگیرانه در خصوص سیل و خشکسالی و بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آبی و غیره است. به همین منظور ابتدا بعد از تجزیه و تحلیل داده‌های بارش اقدام به تولید داده‌های بارندگی با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG و CLIMGEN می‌شود. جهت دستیابی به عدم قطعیت بارش شبیه‌سازی شده از روش بوت استرپ استفاده می‌شود. در این تحقیق از نرم‌افزارهای SPSS جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و نرم‌افزار ARC GIS جهت پهنه‌بندی عدم قطعیت استفاده می‌شود.

۲- مواد و روش تحقیق

منطقه مورد بررسی، در شمال غرب ایران قرار دارد و شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و اردبیل است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب

در این پژوهش، داده‌های مورد نیاز ایستگاه‌های هم‌دید منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۵ از مرکز آمار سازمان هواشناسی اخذ گردید. جهت پیش‌بینی و تولید داده‌های آماری دوره ۲۰۲۶ تا ۲۰۶۵ از مدل LARS-WG و CLIMGEN استفاده شد. برای این منظور مدل گردش عمومی جو Hadcm3 تحت سناریوی انتشار A1B در مدل LARS-WG بکار برده شد. A1B توصیفی از جهان با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت کاهش خواهد بود.

۲-۱- مدل آماری LARS-WG

LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر دماهای بیشینه و کمینه روزانه، بارندگی و تابش در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. نسخه اولیه‌ی مدل LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. کارایی مدل LARS-WG در ۱۸ ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا توسط سمنو (۱۹۹۰) بررسی شده است. مدل LARS-WG توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی به کار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر بارش روزانه و سری‌های تابش و توزیع نیمه‌تجربی است.

LARS-WG یک مولد آب و هوای تصادفی است که برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی آینده تحت شرایط کنونی یک ایستگاه عمل می‌کند. این مدل یک مولد آب و هوای تصادفی است که از آب و هوای روزانه مشاهده شده یک ایستگاه برای محاسبه یک مجموعه از پارامترها برای توزیع احتمالی متغیرهای هواشناسی استفاده می‌کند. این مجموعه از پارامترها برای تولید سری زمانی متغیرهای هواشناسی ساختگی با طول دلخواه از طریق انتخاب تصادفی

مقادیر و از توزیع‌های مناسب استفاده می‌کند. با دخالت پارامترهای توزیع‌ها برای یک ایستگاه به همراه تغییرات پیش‌بینی شده اقلیمی که از مدل‌های اقلیم جهانی یا منطقه‌ای نتیجه شده، سناریو اقلیم روزانه برای ایستگاه می‌تواند تولید شود.

LARS-WG برای شبیه‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارندگی و تابش خورشیدی از توزیع‌های نیمه‌تجربی به فرم کلی زیر استفاده می‌کند:

$$EPM = \{a_0, a_i, h_i, i=1, \dots, \phi\} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که هیستوگرامی شامل ۱۰ طبقه است و هریک از طبقات $[a_{i-1}, a_i]$ تعریف می‌شود به طوری که h_i و $a_i - 1 < a_i$ فراوانی پدیده‌های مشاهده شده در طبقه i ام است. برای تولید مقادیر متغیرهای تصادفی وضع هوا با استفاده از یک توزیع نیمه‌تجربی، ابتدا یکی از طبقات ده‌گانه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس با فرض تبعیت داده‌ها از توزیع یکنواخت در طبقه موردنظر، یک مقدار در آن فاصله برای متغیر انتخاب می‌شود. برای یک روز تر مقدار بارش از توزیع نیمه‌تجربی بارش ماه موردنظر و به‌طور مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. پس از تهیه سری زمانی روزانه داده‌های اقلیمی بارش، حداقل و حداکثر روزانه داده‌ها وارد مدل LARS-WG خواهد گردید. در گام دوم مدل واسنجی و سپس صحت‌سنجی خواهد شد. سپس با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه و اختلاف آن‌ها با روش MAE^1 محاسبه می‌گردد.

در گام سوم رابطه بین خطای مدل (بارش) با هر یک از عوامل اقلیمی فوق‌مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در هر یک از عناصر فوق‌میزان همبستگی‌ها محاسبه می‌شود.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - S_i|}{N} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن MAE میانگین قدرمطلق خطا، O_i مقدار مشاهداتی، S_i مقدار برآوردی و n تعداد است.

۲-۲- مدل آماری CLIMGEN

CLIMGEN نسخه ارتقاء یافته مدل WGEN است که در سال ۱۹۹۰ در دانشگاه ایالتی واشنگتن توسط کمپل توسعه یافت. این مدل توانایی تولید متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه، سرعت باد، ساعات آفتابی و بارش را دارد، برای تولید عوامل هواشناسی نیاز به گرفتن حداقل ۲۵ سال داده‌ی بارش، ۱۰ سال دما، ۵ سال تابش خورشیدی، ۷۳۰ روز سرعت باد و درصد رطوبت نسبی دارد (رشید نیقی و همکاران، ۱۳۸۹) که بارش در مقیاس روزانه و ماهانه به روش زیر تولید می‌شود: در فرآیند تولید بارش توسط CLIMGEN هم احتمال وقوع و هم مقدار بارش محاسبه می‌شود. برای برخی کاربردها ممکن است شدت و مدت بارش نیز مورد نیاز باشد. وقوع بارش روزانه با استفاده از زنجیره مارکف دو حالتی برای تولید تعداد و توزیع بارش انجام می‌گیرد. احتمال وقوع یک روز تر بعد از یک روز خشک با α و احتمال وقوع یک روز خشک بعد از یک روز تر با β نشان داده می‌شود. روزی که بارش آن 0.25 میلیمتر یا بیشتر باشد، روز تر در نظر گرفته می‌شود. در این صورت زنجیره مارکف دو حالتی برای ترکیب احتمالات شرطی به این صورت خواهد بود:

$$P(W/D) = \alpha p \quad \text{رابطه (۳)}$$

¹ Mean Absolute Error

$$P(D/D)=1-\alpha$$

$$P(W/D)=\beta$$

$$P(W/W)=1-\beta$$

که در آن:

$P(W/D)$ احتمال وقوع یک روز تر بعد از یک روز خشک است،

$P(D/D)$ احتمال وقوع یک روز خشک بعد از یک روز خشک است،

$P(W/D)$ احتمال وقوع یک روز خشک بعد از یک روز تر است،

$P(W/W)$ احتمال وقوع یک روز تر بعد از یک روز تر است.

مقادیر احتمالات بالا برای هر ماه از طریق تجزیه و تحلیل بارش‌های بلندمدت ایستگاه مورد مطالعه محاسبه می‌شود. در روزی که مشخص شد بارش رخ می‌دهد، مقدار بارش بر اساس احتمال تجمعی توزیع ویبول محاسبه می‌شود. سلکر و هیث (۱۹۹۰) نشان دادند که ویبول بهترین توزیع برای ۳۳ ایستگاه هواشناسی آمریکا در شرق کوه‌های راکی است.

۲-۳- فاصله اطمینان به روش بوت استرپ

از جمله مباحث مهم در استنباط آماری فاصله اطمینان برای یک پارامتر است که بیان‌کننده وضعیت پارامتر در سطح معینی از اطمینان است. بوت استرپ یک روش نمونه‌گیری با جایگزینی محسوب می‌شود و جزء زیرمجموعه روش مونت‌کارلو است. با این تفاوت که در روش مونت‌کارلو برای داده‌های ورودی یک توزیع مناسب برآزش شده و سپس نمونه‌های زیاد احتمالاتی انجام می‌پذیرد. ولی در این روش نمونه‌گیری از خود داده‌ها و به تعداد داده‌ها هر سری نمونه گرفته می‌شود. معمولاً هزار بار این عمل تکرار شده و برای هر تکرار یک متوسط و یک واریانس محاسبه می‌گردد. سپس فاصله اطمینان هزار تکرار محاسبه می‌گردد. فاصله‌های اطمینان بوت استرپ دقت پوشش بالایی دارند و کارایی آن‌ها در اندازه‌های نمونه‌های کوچک بیشتر مشخص می‌گردد. فاصله‌های اطمینان صدکی بوت استرپ، تصحیح آریبی شتابیده، تقریبی بوت استرپ و t بوت استرپ از جمله فاصله‌های اطمینان بوت استرپ هستند.

افرون (۱۹۷۹) روش بازنمونه‌گیری بوت استرپ را برای برآورد اندازه دقت برآوردگرها پیشنهاد کرد. فرض کنید $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ نمونه‌ای با توزیع نرمال $F\theta$ ، $\hat{\theta} = t(x)$ برآوردگر پارامتر θ باشد. در الگوریتم بوت استرپ ابتدا نمونه بوت استرپ $X^* = \{X^*_1, \dots, X^*_n\}$ را به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده با جای‌گذاری از نمونه مشاهده شده $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ به دست می‌آوریم. سپس برآوردگر بوت استرپ $\theta^* = t(x^*)$ را محاسبه می‌کنیم. مراحل قبل را B بار تکرار کرده و B برآوردگر بوت استرپ $\{\theta^*_b; b=1, \dots, B\}$ را به دست می‌آوریم. در نهایت برآوردگر تجربی آریبی، خطای استاندارد و توزیع برآوردگر θ را محاسبه می‌کنیم. فاصله‌های اطمینان صدکی بوت استرپ بدین صورت ارائه می‌شود:

۲-۴- فاصله اطمینان صدکی بوت استرپ

افرون (۱۹۷۹) فاصله اطمینان صدکی بوت استرپ را معرفی کرد. فرض کنید $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ نمونه مستقل و هم توزیع به اندازه n از جامعه‌ای با پارامتر مجهول θ باشد. برآوردگر $\hat{\theta}$ برای پارامتر θ در نظر می‌گیریم. در الگوریتم بوت استرپ ابتدا نمونه بوت استرپ $X^* = \{X^*_1, \dots, X^*_n\}$ را به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده با جای‌گذاری از نمونه‌های مشاهده شده $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ به دست می‌آوریم. سپس برآوردگر بوت استرپ $\hat{\theta}^*$ را محاسبه می‌کنیم. در

نهایت با تکرار β بار مراحل قبل برآوردگرهای بوت استرپ $\hat{\theta}^* \beta, \hat{\theta}^* 1, \dots, \hat{\theta}^*$ را به دست می آوریم. در این صورت فاصله اطمینان صدکی بوت استرپ با ضریب $1-\alpha$ بدین صورت بدست می آید:

$$\theta \in \left(\hat{\theta}^* \left[\beta \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]; \hat{\theta}^* \left[\beta \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن $[\hat{\theta}^* | z]$ ، $\hat{\theta}^*$ زامین مقدار مرتب شده برآوردگرهای بوت استرپ $\hat{\theta}^* b, b = 1, \dots, \beta$ است.

در این پژوهش برای محاسبه فاصله اطمینان به روش بوت استرپ از نرم افزار SPSS استفاده شد. برای این منظور ابتدا سری زمانی متغیرهای اقلیمی در هر ماه برای یک دوره ۳۵ ساله تهیه گردید. سپس در محیط نرم افزار SPSS متغیر فاصله اطمینان و واریانس محاسبه گردید.

۳- یافته‌ها

برای صحت سنجی و ارزیابی مدل LARS-WG ابتدا با استفاده از داده‌های مشاهداتی بارش دوره پایه و مدل Hadcm3 تحت سناریوی انتشار A1B داده‌های دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۵ تولید شد. سپس همبستگی بین داده‌های ساخته شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های منتخب با استفاده از SPSS برای هر کدام از ایستگاه‌ها صورت گرفت. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد ضریب همبستگی بین داده‌های بارش ماهانه تولید شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در سطح ۰/۰۱ با اطمینان بالای ۰/۷۰ در اکثر ایستگاه‌ها وجود دارد. جدول ۲ میزان $RMSE^1$ و MAE^2 بین میانگین داده‌های بارش ماهانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. در این جدول همان‌طور که مشاهده می‌گردد کمترین خطا در هر دو مدل مربوطه به ایستگاه جلفا بود و بیشترین خطا در هر دو مدل در ایستگاه سردشت اندازه‌گیری شده است. میزان MAE و $RMSE$ در ایستگاه‌های میانه، ارومیه و تبریز با مدل CLIMGEN بیشتر از مدل LARS-WG بود؛ ولی در بقیه ایستگاه‌های مطالعاتی میزان خطای $RMSE$ و MAE با مدل LARS-WG بیشتر از مدل CLIMGEN اندازه‌گیری شده است بنابراین می‌توان گفت مدل CLIMGEN توانایی بیشتری در تولید داده‌های پارامتر بارش را دارد. برای صحت سنجی مدل CLIMGEN ابتدا با استفاده از داده‌های مشاهداتی بارش دوره پایه، داده‌های دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۱ تولید شد. سپس همبستگی بین داده‌های ساخته شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی با استفاده از SPSS برای هر کدام از ایستگاه‌ها صورت گرفت. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد ضریب همبستگی بین داده‌های میانگین بارش ماهانه تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی ایستگاه‌های منطقه در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ با اطمینان بیش از ۰/۸۰ در اکثر ایستگاه‌ها وجود دارد.

¹ Root Mean Square Error

² Mean Absolute Error

جدول ۱- ضریب همبستگی بین میانگین داده‌های بارش ماهانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	مدل LARS-WG		مدل CLIMGEN	
	ضریب همبستگی پیرسون	معنی‌داری	ضریب همبستگی پیرسون	معنی‌داری
پارس‌آباد	0/74	0/006	0/88	0
جلفا	0/8	0/002	0/69	0/013
میانه	0/56	0/05	0/83	0/001
سردشت	0/75	0/005	0/86	0
تکاب	0/82	0/001	0/95	0
اردبیل	0/63	0/02	0/74	0/005
تبریز	0/87	0	0/99	0
خوی	0/71	0/009	0/96	0
ارومیه	0/7۰	0/01	0/96	0

جدول ۲- میزان RMSE و MAE بین میانگین داده‌های بارش ماهانه تولید شده و مشاهداتی ایستگاه‌های منتخب

مدل	RMSE		MAE	
	LARSWG	CLIMGEN	LARSWG	CLIMGEN
اردبیل	4/12	2/83	2/63	2/44
جلفا	2/77	2/13	2/18	1/81
خوی	5/82	3/77	4/51	2/96
میانه	3/45	4/3	2/46	3/36
ارومیه	3/91	5/98	3/17	4/69
پارس‌آباد	4/31	3/36	3/71	2/43
سردشت	14/54	8/83	11/16	6/82
تبریز	3/06	4/01	2/51	3/07
تکاب	6/5	6/4	4/58	4/52

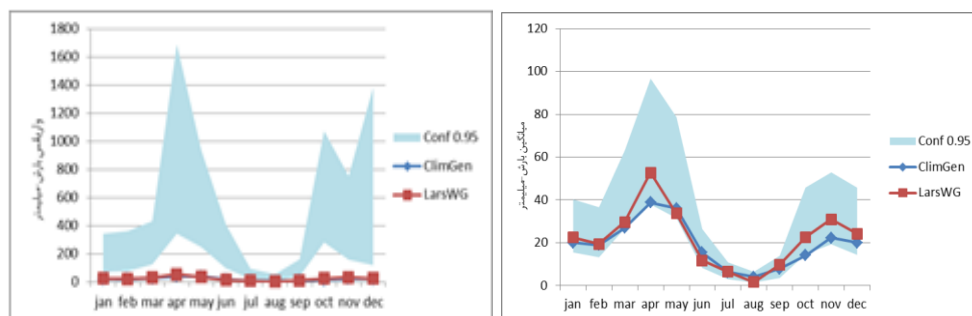
۳-۲- فاصله اطمینان به روش بوت استراپ

فاصله اطمینان برای میانگین و واریانس بارش مشاهداتی و مقادیر برآوردی مدل‌ها در محدوده اطمینان داده‌های مشاهداتی در شکل‌های ۲ تا ۱۰ مشاهده می‌گردد. محدوده اطمینان داده‌های مشاهداتی بیانگر اطمینان در سطح اعتماد موردنظر است. در صورتی که داده‌ها خارج از فاصله اطمینان باشد، نشان‌دهنده عدم اطمینان به مقادیر برآوردی است. متغیر دما جزء کم‌نوسان‌ترین داده اقلیمی است و محدوده اطمینان آن کم است. بارش جزء پرنوسان‌ترین داده اقلیمی بوده و محدوده اطمینان آن بیشتر است؛ بنابراین هرچه فاصله اطمینان یک متغیر بیشتر نوسانات آن بیشتر و هرچه فاصله اطمینان یک متغیر کم‌تر نوسانات آن کم‌تر می‌شود.

۳-۳- فاصله اطمینان ایستگاه تبریز

شکل ۲ محدوده اطمینان بارش مشاهداتی به روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، فاصله اطمینان میانگین و واریانس بارش مشاهداتی در ماه‌های مختلف متفاوت است، ولی در ماه‌های مارس، آوریل، می، اکتبر، نوامبر و دسامبر عدم قطعیت بیشتری وجود دارد که به دلیل

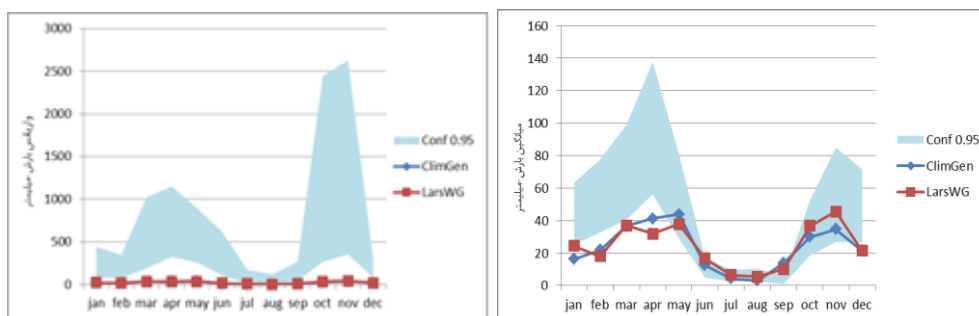
تغییرات زیاد بارش در اواخر زمستان، اوایل بهار و در ماه پاییز در ایستگاه تبریز است. با توجه به شکل (۲) میانگین بارش توسط خروجی مدل‌های LARS-WG و CLIMGEN در تمامی ماه‌ها در محدوده اطمینان قرار گرفته است. فاصله اطمینان واریانس بارش ماهانه، بسیار زیاد بوده؛ ولی واریانس هر دو مدل نسبت به آن ناچیز است و هر دو مدل ویژگی‌های یکسانی را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه تمامی ماه‌ها در برآورد مدل‌ها در محدوده اطمینان قرار دارند، هر دو مدل از برآورد عدم قطعیت کمتری برخوردارند.



شکل ۲- فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای با روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل CLIMGEN و LARS-WG در ایستگاه تبریز

۳-۴- فاصله اطمینان ایستگاه اردبیل

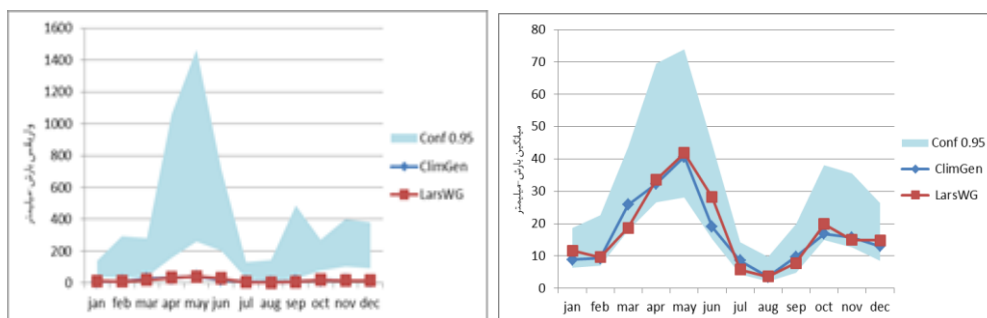
محدوده اطمینان میانگین بارش مشاهده‌ای به روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل‌ها در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد. محدوده اطمینان میانگین بارش ماهانه در ماه‌های فصل زمستان، اوایل بهار و فصل پاییز زیاد بوده که نشان‌دهنده تغییرات زیاد بارش ماهانه در دوره مشاهده‌ای و در ایستگاه اردبیل است. بارش شبیه‌سازی شده توسط خروجی دو مدل در ماه‌های فصل زمستان، آوریل و دسامبر خارج از محدوده اطمینان و با عدم قطعیت همراه است. واریانس داده‌های بارش نیز در فصل بهار و پاییز نوسانات بالایی را نشان می‌دهد. در این ایستگاه با توجه به اینکه برآورد مدل‌ها در فصل زمستان و ماه آوریل خارج از محدوده اطمینان واقع شده است، بنابراین نسبت به ایستگاه‌های دیگر از عدم قطعیت بیشتری برخوردار است.



شکل ۳- فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای با روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل CLIMGEN و LARS-WG در ایستگاه اردبیل

۳-۵- فاصله اطمینان ایستگاه جلفا

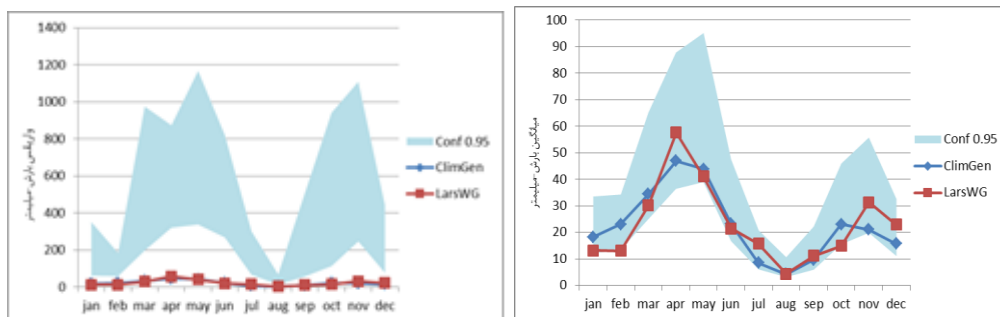
شکل ۴ فاصله اطمینان بارش مشاهداتی به روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل‌ها را نشان می‌دهد. محدوده اطمینان میانگین بارش مشاهداتی در ایستگاه جلفا نشان‌دهنده تغییرات فاصله اطمینان در فصول بهار و پاییز است. هرچند که هر دو مدل در تمامی ماه‌ها در محدوده اطمینان قرار دارند. فاصله اطمینان واریانس بارش مشاهداتی نیز در ایستگاه جلفا حاکی از تغییرات زیاد واریانس بارش در فصل بهار است. می‌توان گفت در تمامی ماه‌ها برآورد مدل‌ها در محدوده فاصله اطمینان مقادیر مشاهداتی قرار دارد، بنابراین در این ایستگاه، هر دو مدل از برآورد عدم قطعیت کمتری برخوردارند.



شکل ۴- فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین و واریانس بارش مشاهداتی با روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل CLIMGEN و LARS-WG در ایستگاه جلفا

۳-۶- فاصله اطمینان ایستگاه خوی

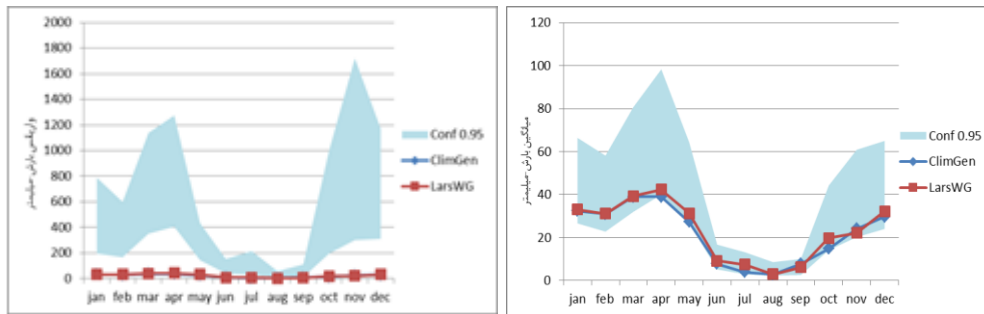
محدوده اطمینان بارش مشاهداتی و مقادیر برآوردی مدل‌ها برای ایستگاه خوی در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل برآورد خروجی مدل CLIMGEN در تمامی ماه‌ها در محدوده اطمینان میانگین بارش مشاهداتی قرار گرفته است، ولی برآورد خروجی مدل LARS-WG نشان می‌دهد که ماه‌های ژانویه و فوریه در خارج از محدوده اطمینان قرار دارند و عدم قطعیت بیشتری را در این مدل شاهد هستیم. واریانس بارش نیز در اکثر ماه‌ها نوسانات بالایی را نشان می‌دهد.



شکل ۵- فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین و واریانس بارش مشاهداتی با روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل CLIMGEN و LARS-WG در ایستگاه خوی

۳-۷- فاصله اطمینان ایستگاه میانه

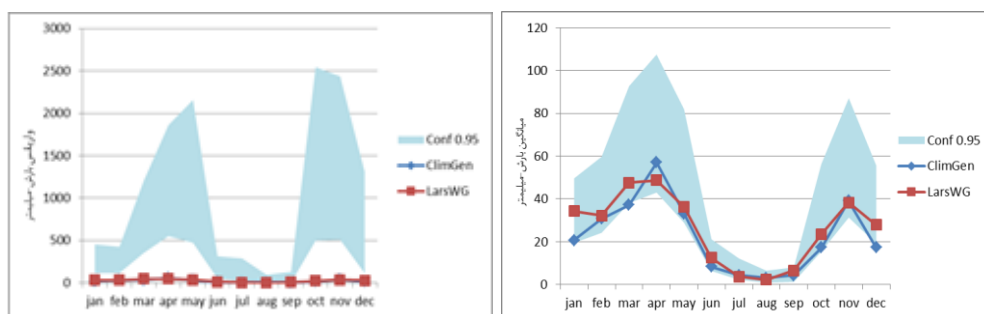
شکل ۶ فاصله اطمینان بارش مشاهداتی به روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل فاصله اطمینان بارش مشاهداتی در ماه‌های فصل زمستان، بهار و پاییز تغییرات زیادی را نشان می‌دهد. برآورد مدل‌ها در محدوده اطمینان قرار دارد؛ بنابراین حاکی از عدم قطعیت کمی است. واریانس بارش مشاهداتی نیز نشان‌دهنده تغییرات زیاد در فصول زمستان، بهار و پاییز است.



شکل ۶- فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین و واریانس بارش مشاهداتی با روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل CLIMGEN و LARS-WG در ایستگاه میانه

۳-۸- فاصله اطمینان ایستگاه ارومیه

شکل ۷ نشان‌دهنده فاصله اطمینان بارش به روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل‌ها است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در این ایستگاه نیز مقادیر برآوردی مدل‌ها در تمام ایستگاه‌ها در محدوده اطمینان قرار دارد. محدوده اطمینان بارش مشاهداتی نشان‌دهنده تغییرات زیاد بارش در فصول بهار و پاییز است که نوسانات فاصله اطمینان بارش در ماه آوریل در بالاترین حد است. تغییرات واریانس بارش مشاهداتی نیز در فصول بهار و پاییز زیاد است.

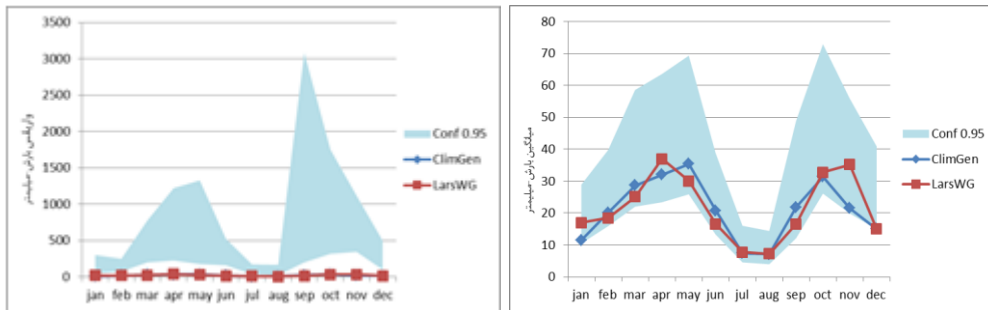


شکل ۷- فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین و واریانس بارش مشاهداتی با روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل CLIMGEN و LARS-WG در ایستگاه ارومیه

۳-۹- فاصله اطمینان ایستگاه پارس‌آباد

شکل ۸ فاصله اطمینان بارش مشاهداتی به روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل‌ها در ایستگاه پارس‌آباد نشان می‌دهد. در این ایستگاه همانند اغلب ایستگاه‌های مطالعاتی فاصله اطمینان میانگین بارش در ماه‌های مارس،

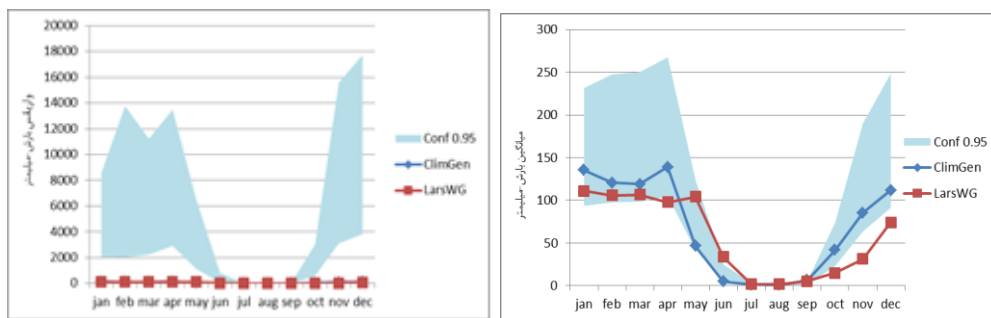
آوریل، می، اکتبر، نوامبر و دسامبر زیاد است. ولی محدوده اطمینان واریانس بارش علاوه بر ماه‌های مذکور در ماه سپتامبر نیز وجود داشته و در این ماه به بالاترین حد نسبت به ماه‌های دیگر رسیده است.



شکل ۸- فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای با روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل CLIMGEN و LARS-WG در ایستگاه پارس آباد

۳-۱۰- فاصله اطمینان ایستگاه سردشت

شکل ۹ فاصله اطمینان بارش به روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل‌ها در ایستگاه سردشت را نشان می‌دهد. در این ایستگاه برخلاف ایستگاه‌های دیگر، فاصله اطمینان میانگین بارش در ماه‌های فصل زمستان و ماه‌های آوریل، نوامبر و دسامبر تغییرات بالایی نشان می‌دهد. محدوده اطمینان واریانس بارش مشاهده‌ای نیز به این صورت است. در این ایستگاه برآورد مقادیر خروجی مدل LARS-WG در ماه‌های می، ژوئن، اکتبر، نوامبر و دسامبر خارج از محدوده اطمینان میانگین بارش مشاهده‌ای است؛ بنابراین نشان‌دهنده عدم قطعیت بیشتر این مدل نسبت به مدل CLIMGEN است.

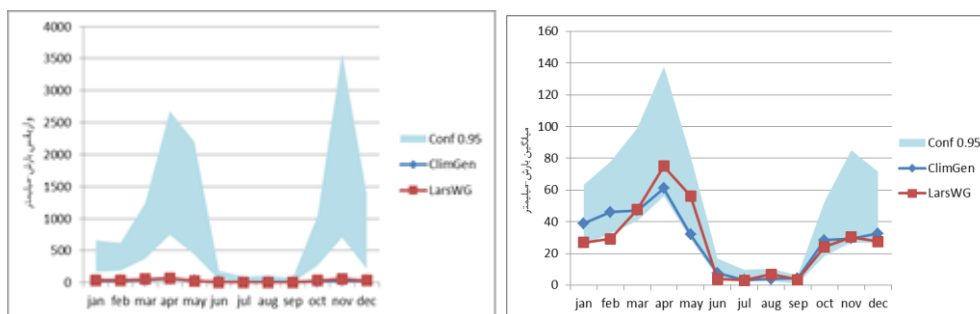


شکل ۹- فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای با روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل CLIMGEN و LARS-WG در ایستگاه سردشت

۳-۱۱- فاصله اطمینان ایستگاه تکاب

شکل ۱۰ فاصله اطمینان بارش به روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل‌ها در ایستگاه تکاب را نشان می‌دهد. محدوده اطمینان بارش مشاهده‌ای در ایستگاه تکاب نشان‌دهنده نوسانات زیاد فاصله اطمینان بارش در ماه‌های فصل زمستان و ماه‌های آوریل، نوامبر و دسامبر است. برآورد مقادیر خروجی مدل LARS-WG نشان می‌دهد که ماه‌های ژانویه و فوریه خارج از محدوده اطمینان بارش مشاهده‌ای قرار دارند، بنابراین عدم قطعیت بالاتر مدل LARS-WG را نسبت به مدل CLIMGEN نشان می‌دهد. واریانس بارش مشاهده‌ای نیز نشان‌دهنده تغییرات زیاد فاصله اطمینان در

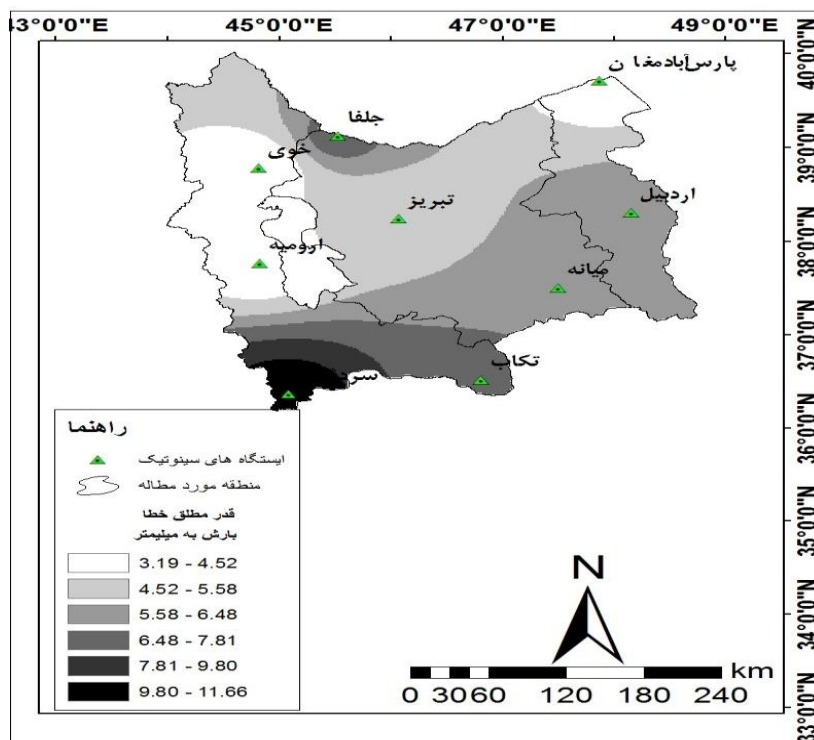
ماه‌های بهار (آوریل و می) و پاییز (نوامبر و دسامبر) است؛ بنابراین با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت که در رابطه با بارش، مدل LARS-WG عدم قطعیت بیشتری را نسبت به مدل CLIMGEN در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.



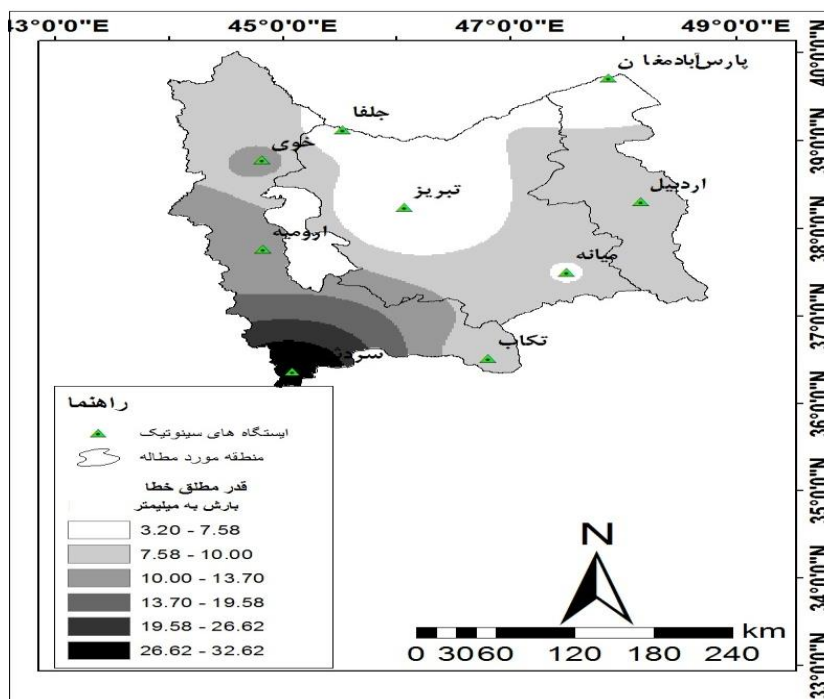
شکل ۱۰- فاصله اطمینان ۹۵ درصد میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای با روش بوت استراپ و مقادیر برآوردی مدل CLIMGEN و LARS-WG در ایستگاه تکاب

۳-۱۲- عدم قطعیت مکانی

جهت تهیه نقشه خطا و عدم قطعیت ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه از خروجی مدل‌ها و معیار خطا استفاده گردید. برای متغیر اقلیمی بارش بر اساس خروجی مدل‌ها و معیار عدم قطعیت خطا (MAE) با استفاده از روش IDW درون‌یابی صورت گرفت. شکل ۱۱ نقشه قدرمطلق خطای بارش سالانه (خروجی مدل CLIMGEN) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد کم‌ترین قدرمطلق خطای بارش مربوط به ایستگاه‌های پارس‌آباد، خوی و ارومیه با ۳/۱۹ تا ۴/۵۲ میلیمتر و بیشترین قدرمطلق خطای بارش مربوط به ایستگاه سردشت با ۹/۹۰ تا ۱۱/۶۶ میلیمتر است. شکل ۱۲ نقشه قدرمطلق خطای بارش سالانه (خروجی مدل LARS-WG) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این نقشه مشاهده می‌گردد کم‌ترین قدرمطلق خطای بارش مربوط به ایستگاه‌های پارس‌آباد، جلفا و تبریز با ۳/۲۰ تا ۷/۵۸ میلیمتر و بیشترین قدرمطلق خطای بارش مربوط به ایستگاه سردشت با ۲۶/۶۲ تا ۳۲/۰۲ میلیمتر است؛ بنابراین قدرمطلق خطای بارش سالانه با خروجی مدل CLIMGEN مقدار کمتری را نسبت به قدرمطلق خطا با خروجی مدل LARS-WG نشان می‌دهد. که این امر نشان‌دهنده مقدار خطای کمتر مدل CLIMGEN در عدم قطعیت مکانی بارش شبیه‌سازی شده نسبت به مدل LARS-WG در منطقه شمال‌غرب ایران است.



شکل ۱۱- نقشه قدرمطلق خطای بارش سالانه (خروجی مدل CLIMGEN)



شکل ۱۲- نقشه قدرمطلق خطای بارش سالانه (خروجی مدل LARS-WG)

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه از مدل LARS-WG و CLIMGEN و داده‌های مشاهداتی و مدل گردش عمومی جو Hadcm3 تحت سناریوی انتشار A1B در مدل LARS-WG استفاده شد. برای این منظور داده‌های مصنوعی دوره ۲۰۲۶-۲۰۶۵ تولید شد. سپس همبستگی بین داده‌های ساخته شده توسط مدل‌ها و داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های منتخب با استفاده از SPSS برای هرکدام از ایستگاه‌ها صورت گرفت. نتایج نشان‌دهنده این است که مدل LARS-WG و CLIMGEN توانایی تولید داده‌های مصنوعی را بادقت نسبتاً مناسبی دارند؛ لذا همبستگی بین داده‌های بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان‌دهنده این است که مدل CLIMGEN داده‌های مصنوعی بارش را بادقت بیشتری شبیه‌سازی می‌کند. شایان ذکر است با پیش‌بینی عوامل اقلیمی و بخصوص بارش می‌توان برنامه‌ریزی دقیقی در خصوص سیل و خشکسالی در مناطق مختلف جغرافیایی انجام داده و از خسارات مربوطه کاسته و به بهره‌برداری بهینه از منابع آبی پرداخت. در این تحقیق کمترین خطای جذر میانگین مربعات و میانگین خطای قدرمطلق در هر دو مدل مربوطه به ایستگاه جلفا بود و بیشترین خطا در هر دو مدل در ایستگاه سردشت اندازه‌گیری شده است. میزان خطای جذر میانگین مربعات و میانگین خطای قدرمطلق در ایستگاه‌های میانه، ارومیه و تبریز با مدل CLIMGEN بیشتر از مدل LARS-WG بود؛ ولی در بقیه ایستگاه‌های مطالعاتی میزان خطای جذر میانگین مربعات و میانگین خطای قدرمطلق با مدل LARS-WG بیشتر از مدل CLIMGEN اندازه‌گیری شده است؛ بنابراین می‌توان گفت مدل CLIMGEN داده‌های مصنوعی بارش را بادقت بیشتری شبیه‌سازی می‌کند. برآورد مقادیر خروجی مدل LARS-WG توسط روش بوت استراپ نشان‌دهنده عدم قطعیت بالاتر مدل LARS-WG نسبت به مدل CLIMGEN است. واریانس بارش مشاهداتی نیز نشان‌دهنده تغییرات زیاد فاصله اطمینان در ماه‌های فصل بهار و پاییز است؛ بنابراین با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت که در رابطه با بارش، مدل LARS-WG عدم قطعیت بیشتری را نسبت به مدل CLIMGEN در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. قدرمطلق خطای بارش سالانه با خروجی مدل CLIMGEN مقدار کمتری را نسبت به قدرمطلق خطا با خروجی مدل LARS-WG نشان می‌دهد. که این امر نشان‌دهنده مقدار خطای کمتر مدل CLIMGEN در عدم قطعیت مکانی بارش شبیه‌سازی شده نسبت به مدل LARS-WG در منطقه شمال غرب ایران است. در مقایسه ارزیابی عملکرد دو مدل LARS-WG و CLIMGEN در تولید سری‌های زمانی بارش و درجه حرارت در ایستگاه تحقیقات دیم سیساب - خراسان شمالی که توسط خلیلی و همکاران (۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آن نشان می‌دهد در تولید سری زمانی بارش، مقادیر RMSE و MAE برای مدل LARS-WG کمتر از مدل CLIMGEN بوده که با نتایج تحقیق صورت گرفته متضاد است و از طرفی مقدار CD در مدل LARS-WG به یک نزدیک‌تر بوده است. از نظر شبیه‌سازی درجه حرارت حداقل و حداکثر، نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مدل CLIMGEN در مدل‌سازی میانگین‌های روزانه و ماهانه درجه حرارت حداقل و حداکثر موفق‌تر از مدل LARS-WG عمل کرده است، نتایج همچنین نشان داده که مدل CLIMGEN در مدل‌سازی دوره‌های یخبندان و گرمای شدید موفق‌تر از مدل LARS-WG بوده است. که همان گونه که مطرح شد نتایج این تحقیق نیز نشان‌دهنده مقدار خطای کمتر مدل CLIMGEN در عدم قطعیت مکانی بارش شبیه‌سازی شده نسبت به مدل LARS-WG در منطقه شمال غرب ایران است.

منابع

- ایمانی، رسول، قضاوی، رضا، اسماعیلی‌آوری، اباذر (۱۴۰۰)، بررسی روند، تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از مدل‌های تصادفی سری زمانی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک اردبیل)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۱۱، شماره ۴۴، صص ۸۴-۹۸.

۲. ساری‌صراف، بهروز، محمودی، سعید، زنگنه، سعید، پاشایی، زهرا (۱۳۹۴)، پایش و پیش‌بینی ترسالی و خشکسالی تبریز با استفاده از مدل CLIMGEN و شاخص SPI، هیدروژئومورفولوژی، دوره ۲، شماره ۲، صص ۶۱-۷۸.
۳. جهانبخش‌اصل، سعید، قویدل‌رحیمی، یوسف (۱۳۸۳)، مدل‌سازی روند بارش و پیش‌بینی خشکسالی‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۸، شماره ۱۷، صص ۳۳-۵۲.
۴. حجار پور، امیر، یوسفی، مرضیه، کامکار، بهنام (۱۳۹۳)، آزمون دقت شبیه‌سازهای Weather Man، LARS-WG و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد)، جغرافیا و توسعه، دوره ۱۲، شماره ۳۵، صص ۲۰۱-۲۱۶.
۵. خلیلی، نجمه، داوری، کامران، علیزاده، امین، انصاری، حسین، رضایی پزند، حجت، کافی، محمد، قهرمان، بیژن (۱۳۹۵)، ارزیابی عملکرد دو مدل LARS-WG و CLIMGEN در تولید سری‌های زمانی بارش و درجه حرارت در ایستگاه تحقیقات دیم سیسب - خراسان شمالی، آب و خاک، دوره ۳۰، شماره ۱، صص ۳۲۲-۳۳۳.
۶. رشید نیقی، علی، مجنون‌هریس، ابوالفضل، ناظمی، امیرحسین، دلیرحسین‌نیا، رضا (۱۳۸۹)، ارزیابی مدل CLIMGEN و پیش‌بینی اطلاعات هواشناسی برای منطقه تبریز، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه؛ آب، خاک و هوا، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
۷. قرمزچشمه، باقر، رسولی، علی‌اکبر، رضایی‌بنفشه، مجید، مساح‌بوانی، علیرضا، خورشیددوست، علی‌محمد، (۱۳۹۴)، بررسی عدم قطعیت مدل شبکه عصبی در ریزمقیاس گردانی HadCM3 با روش فاصله اطمینان بوت استرپ، نشریه علمی و پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۷، شماره ۳، صص ۳۰۶-۳۱۶.
۸. قرمزچشمه، باقر، رسولی، علی‌اکبر، رضایی‌بنفشه، مجید، مساح‌بوانی، علیرضا، خورشیددوست، علی‌محمد، (۱۳۹۳)، بررسی اثر عوامل مورفواقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل SDSM، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۶، شماره ۲، صص ۱۵۵-۱۶۴.
۹. کمال، علیرضا، مصاح بوانی، علیرضا (۱۳۹۰)، برآورد عدم قطعیت مدل‌های ۴AOGCM-AR و مدل‌های هیدرولوژیکی در تخمین دما، بارندگی و رواناب حوضه قره‌سو تحت تغییر اقلیم، مجله تحقیقات آب ایران، دوره ۹، شماره ۵، صص ۳۹-۵۰.
۱۰. معافی مدنی، سیده فاطمه، موسوی بایگی، محمد، انصاری، حسین (۱۳۹۱)، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG5، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره ۳، صص ۲۸-۲۱.
۱۱. مظفری، غلامعلی، شفیعی، شهاب، تقی‌زاده، زهرا (۱۳۹۴)، ارزیابی شرایط خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان طی (۱۳۹۱-۱۴۱۰) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو، اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۴، شماره ۳، صص ۱۱۴-۱۰۱.
12. Danuso, F. (1997). CLIMAK reference manual. DPVTA, University of Udine, Italy.
13. 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. Journal of Applied Meteorology, Volume 35, Issue 10, pp1878-1896.
14. Kavalieratou, S, Karpouzou, D. K, & Babajimopoulos, C. (2012). Drought analysis and short-term forecast in the Aison River Basin (Greece). Natural Hazards and Earth System Sciences, Volume 12, issue 5, pp1561-1572.
15. Khan, M. S, Coulibaly, P, & Dibike, Y (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. Journal of Hydrology, Volume 319, Issues 1-4, pp 357-382.

16. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1995). January. Drought monitoring with multiple time scales, In Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology (pp. 233-236). Dallas, Boston, MA: American Meteorological Society.
17. Minville, M, Brissette, F, and Leconte, R (2008). Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed, Journal of Hydrology, Volume 358, Issues 1-2, pp 70-83.
18. Mishra, A. K, Desai, V. R, & Singh, V. P (2007). Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model, Journal of Hydrologic Engineering, Volume 12 Issue 6, pp626-638.
19. Richardson, C.W, Wright, D.A (1984). WGEN: A model for generating daily weather variables. USDA, Agricultural Reserch Service ARS-9.
20. Selker, J.S. and D.A. Haith (1990). Development and testing of single-parameter precipitation distributions, Water Resources Research, Volume26, Issue11, pp 2733-2740.
21. Semenov, M. A, Brooks, R. J, Barrow, E. M, & , C. W (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates, Climate research, Volume10, Issue2, pp 95-107.
22. Semenov, M.A., Jamieson, P.D.,(1999). Using weather generators in crop modeling. In: CLIMAG Geneva Workshop, Geneva, Switzerland, September ۲۸-۲۹.
23. Sharpley, A.N. and Williams, J.R. (1990). EPIC Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation. USA Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768, USA Government Printing Office, Washington DC.
24. Stockle, C.O, Steduto, P, Allen, R.G. (1998). Estimating daily and daytime mean VPD from daily maximum VPD. 2th Congress of the European Society of Agronomy, Nitra, The Slovak Republic.

Estimation of simulated precipitation uncertainty by using statistical models (Case study: Northwest of Iran)

saeed zangeneh*,¹ PhD in Climate Risks, Tabriz University, Tabriz, Iran

Abstract

In this research, the data needed for the stations of the study area during the statistical period of 1981-2015 was obtained from the Meteorological Statistics Center. To predict and produce statistical data from 2026 to 2065, the LARS-WG and CLIMGEN models were used. In this study, bootstrap method was used to assess precipitation uncertainty. The correlation between the observed and simulated monthly rainfall data shows that the CLIMGEN model simulates the synthetic rainfall data more accurately. The lowest error of the RMSE and MAE in both of these models is at Jolfa Station And the highest error in both models was measured at Sardasht station. Estimation of precipitation output (mean precipitation) by LARS-WG model with bootstrap method indicates higher uncertainty of LARS-WG model than CLIMGEN model. The variance of precipitation observations also indicates a significant change in confidence intervals in the spring and autumn months. Therefore, with regard to the above, it can be said that in the case of rainfall, the LARS-WG model shows more uncertainty than the CLIMGEN model in most of the studied stations in the study area. The absolute magnitude of annual precipitation error with the output of the CLIMGEN model is less than the magnitude of the error with the output of the LARS-WG model. This indicates a lower error value of the CLIMGEN model in the simulated precipitation spatial uncertainty than the LARS-WG model in the northwestern region of Iran.

Keywords : Uncertainty of precipitation, LARS-WG, CLIMGEN, Boot Strap, Northwest Iran

*Email: zangenehsaeed64@gmail.com