



دانشگاه گنبدکاووس

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره اول، ۱۳۹۶

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

بررسی عدم قطعیت شبیه‌سازی بارش آینده (مطالعه موردی: ایستگاه همدیدی بجنورد و مشهد)

*حامد روحانی^۱، اعظم قندی^۲، سیدمرتضی سیدیان^۱ و مجتبی کاشانی^۳

^۱استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبدکاووس، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبدکاووس،

^۲مربی و دانشجوی دکتری گروه آمار، دانشگاه گنبدکاووس

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: کمبود منابع آب به دلیل آلودگی‌های زیست‌محیطی و رشد جمعیت به‌عنوان یکی از مسائلی چالش‌برانگیز جهان امروز تبدیل شده است. بنابراین ارزیابی منابع آب آینده برای مدیران و سیاستگذاران دارای اهمیت است. اما علی‌رغم پیشرفت علم و در نتیجه دقیق‌تر شدن مدل‌های اقلیمی در ارزیابی‌ها و پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم منابع مختلفی از عدم قطعیت وجود دارد که ناشی از فعالیت‌های انسانی و واکنش متقابل سیستم اقلیمی در مقیاس‌های بزرگ مکانی و زمانی است. بنابراین، به‌منظور کاربرد موفقیت‌آمیز شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در پژوهش‌های کاربردی منابع آب، تحلیل عدم قطعیت ضروری است. در این مطالعه با توجه به نتایج شبیه‌سازی ماهانه بارش آینده حاصل از ترکیب چهار سناریو انتشار، پنج مدل گردش عمومی جو و دو مدل ریزمقیاس‌نما (LARS-WG و SDSM) در دو ایستگاه همدیدی مشهد و همدیدی بجنورد، عدم قطعیت شبیه‌سازی سری زمانی بارش در افق آتی اول (۲۰۴۰-۲۰۱۱) و افق آتی دوم (۲۰۷۰-۲۰۴۰) با دو روش باکس پلات و بوت استرپ بررسی شد.

مواد و روش‌ها: ایستگاه‌های همدیدی بجنورد و مشهد که دارای آمار مناسب و قابل اطمینانی بودند برای انجام پژوهش انتخاب شد. اطلاعات مورد نیاز شامل دمای حداکثر و حداقل، بارش و ساعات آفتابی روزانه در دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۱ میلادی از مرکز آمار سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. شبیه‌سازی‌های سری زمانی بارش خروجی مدل HadCM3 با سناریوهای A1B، A2، B1، B2، A2، B1، B2، A2، A1B، مدل‌های NCPCM، CNCM3 با سناریوی A1B، مدل GFCM2 با سناریوهای A1B و A2 و مدل CGCM3 با سناریوهای A1B و A2 با دو مدل ریزمقیاس‌گردانی آماری و در مجموع ۱۰ سناریوی مختلف برای بررسی عدم قطعیت شبیه‌سازی‌ها در دو افق آینده اول و دوم استفاده شد. در این پژوهش دو روش باکس-ویسکر و روش غیرپارامتری فاصله اطمینان بوت استرپ جهت بررسی و کاهش عدم قطعیت شبیه‌سازی‌ها به‌کار برده شد. در گام اول با استفاده از نمودار باکس ویسکر شبیه‌سازی‌های پرت شناسایی و حذف شدند. فاصله میان دو چارک اول (۲۵ درصد) و چارک سوم (۷۵ درصد) به‌عنوان دامنه عدم قطعیت لحاظ گردید. در مرحله بعد با روش بوت استرپ برای تخمین قابلیت اطمینان شبیه‌سازی‌ها با تولید داده‌های تصادفی، فاصله اطمینان ۹۵ درصدی محاسبه شد. در برآورد عدم قطعیت و تعیین باند عدم قطعیت از مقادیر پارامترها در فضای

* مسئول مکاتبه: rouhani.hamed@gonbad.ac.ir

پارامترها نمونه‌برداری می‌گردد. در این حالت مدل برای هر مجموعه پارامترها اجرا گردیده و با توجه به این خروجی‌ها دامنه عدم قطعیت محاسبه می‌گردد.

یافته‌ها: در ایستگاه همدیدی بجنورد، بعضی شبیه‌سازی‌های ماهانه با دو مدل CGCM3 و HadCM3 در افق اول آتی و مدل HadCM3 در افق دوم آتی با استفاده از نمودار باکس-ویسکر به‌عنوان داده پرت شناسایی شد و برای مرحله بعدی آنالیز در نظر گرفته نشد. در ایستگاه همدیدی مشهد نیز اختلاف معنی‌داری در شبیه‌سازی بعضی مدل‌های GCM و سناریوهای انتشار مشاهده شد که مربوط به مدل CGCM3 در دو ماه ژانویه و مارس و مدل GFCM3 در ماه‌های مربوط به فصل تابستان بود. بعد از حذف سناریوهای پرت نتایج بیانگر انتظار افزایش بارش در هر دو ایستگاه و در هر دو افق آینده است. در مرحله بعد با روش بوت استرپ عدم قطعیت خروجی برای مجموعه شبیه‌سازی‌ها محاسبه شد. نتایج در ایستگاه همدیدی بجنورد بیانگر ضخامت زیاد باند عدم قطعیت در اکثر ماه‌ها به جز در ماه‌های آگوست و اکتبر است. همچنین مقایسه مقادیر میانگین شبیه‌سازی بارش ماهانه آینده با دوره پایه بیانگر افزایش بارش در شش ماهه دوم میلادی در دو افق آتی نسبت به دوره پایه است. نتایج در ایستگاه همدیدی مشهد بیانگر اختلاف بسیار کم فاصله اطمینان واریانس شبیه‌سازی‌ها در شش ماهه دوم میلادی دارد. در صورتی‌که در هر دو افق آتی در فصل بهار ضخامت باند محدوده اطمینان بسیار زیاد بوده، بنابراین عدم قطعیت پیش‌بینی مدل‌ها در دوره آینده برای این فصل زیاد است.

نتیجه‌گیری: در بیش‌تر مطالعات قبلی در ایران طیف گسترده‌ای از عدم قطعیت‌ها در بحث پیش‌بینی تغییر اقلیم را در نظر نگرفتند، در نتیجه یافته‌های آن‌ها دقیق‌تر از آن‌چه که واقعا هستند به‌نظر می‌رسد. بنابراین نتایج آن‌ها کم‌تر مورد قبول پژوهشگران است و برای سیاست‌گذاران منابع آب گمراه‌کننده است. به‌نظر پژوهشگران این مقاله روش رایج شده تا حدودی نقص اساسی در بیش‌تر مطالعات تغییر اقلیم در کشور را پوشش می‌دهد و عدم در نظر گرفتن عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم می‌تواند به کم بها دادن طیف وسیعی از اثرات تغییر اقلیم منجر شود.

واژه‌های کلیدی: بارش، باکس-ویسکر، بوت استرپ، تغییر اقلیم، عدم قطعیت

مقدمه

فعالیت‌های بشری، الگوی بارندگی (۴۷) در قرن ۲۰ام را تحت‌تأثیر قرار داده است. با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک و همچنین اثرات سوء تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر، بحث مدیریت منابع آب در فضای عدم قطعیت‌های ناشی از تغییر اقلیم از چالش‌های مهم پیش روی تصمیم‌گیرندگان است. در مدل‌سازی، عدم قطعیت به معنی نبود یا کمبود اطلاعات درباره وضعیت موجود و یا نتایج یک فرآیند می‌باشد (۴۲). با وجود پیشرفت مدل‌های اقلیمی و پیشرفت علم در پروژه‌های تغییر

اقلیم، منابع مختلفی از عدم قطعیت وجود دارد (۲۳)، (۴۴) که می‌توان به عدم قطعیت ناشی از فعالیت‌های انسانی و واکنش متقابل سیستم اقلیمی در مقیاس‌های بزرگ مکانی و زمانی اشاره کرد (۲۴). عدم قطعیت در مدل‌ها در واقع تفاوت بین نتایج مدل با مقادیر اندازه‌گیری‌شده یا مشاهده شده است که ناشی از کمبود اطلاعات و تغییرپذیری مدل و پارامترهای آن است. از طرف دیگر وجود خطا در داده‌ها نیز موجب عدم قطعیت در مدل‌ها می‌شود (۴۲).

به‌طورکلی دو نوع عدم قطعیت اجباری و کفایت مدل وجود دارد. در عدم قطعیت اجباری

عدم قطعیت مربوط به: (۱) عدم قطعیت GCM یا تنوع درون مدلی، (۲) عدم قطعیت تغییرپذیری سناریو یا درون سناریو، (۳) درک مختلف از مدل GCM مورد بررسی منجر به عدم قطعیت پارامتری می‌شود (تنوع بین مدلی) و (۴) عدم اطمینان به روش‌های ریزمقیاس‌نمایی می‌باشد که ترکیب روش‌های مختلف منجر به کاهش عدم قطعیت مربوط به ساختار مدل می‌شوند (۲۲).

در این خصوص روول و همکاران (۲۰۱۶) برای کاهش عدم قطعیت شبیه‌سازی‌های مدل‌های اقلیمی در آفریقا، ۳۹ مدل اقلیمی CMIP5 را براساس قابلیت در پیش‌بینی بارش در دوره تاریخی رتبه‌بندی کردند و مدل‌های با کارکرد ضعیف برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در آینده حذف شد (۳۳).

هوگس و همکاران (۲۰۱۴) در مقایسه نه مدل GCM به این نتیجه رسیدند که شناسایی GCM‌های مناسب برای هر منطقه عدم قطعیت در پیش‌بینی آینده را کاهش خواهد داد (۲۱). عباس‌نیا و همکاران (۲۰۱۶) در تحلیل عدم قطعیت تغییرات آینده دمای حداکثر روزانه بر روی ایران نتیجه گرفتند که کم‌ترین افزایش دما با کم‌ترین عدم قطعیت، بر روی نیمه جنوبی ایران و بالعکس بیش‌ترین افزایش دما با بیش‌ترین دامنه عدم قطعیت نیز بر روی نیمه شمالی ایران است (۱). اعتمادی و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی عدم قطعیت ریزمقیاس‌سازی با دو مدل LARS-WG و SDSM به روش بوت استرپ بیان داشتند که ریزمقیاس‌گردانی با مدل LARS-WG نسبت به مدل SDSM دارای خطای کم‌تری در منطقه مورد مطالعه بود (۱۴). اشرف و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه خود نتیجه گرفتند که استفاده از چند مدل گردش عمومی جو باعث افزایش قابل‌توجه دقت پیش‌بینی‌های اقلیمی در مقایسه با استفاده از تنها یک

عوامل غیراقلیمی، مانند تغییر جمعیت (۶) که بر سیستم اقلیمی تأثیر دارند (۳۸) در نظر گرفته می‌شود. این عامل اغلب با اعمال سناریوهای انتشار تأیید شده IPCC شبیه‌سازی می‌شود که ممکن است فرضیاتی در مورد توسعه اقتصادی و اجتماعی آتی دنیا و تصمیمات سیاسی را نیز در بر گیرد؛ اما تعیین احتمال نسبی این عوامل بسیار مشکل است (۱۱، ۲۴). در مورد عدم قطعیت کفایت مدل، حتی در بیش‌تر مدل‌های پیچیده بسیاری از جنبه‌های مربوط به سیستم اقلیمی در نظر گرفته نمی‌شوند (۳۸). عدم کفایت مدل (عدم قطعیت‌های ساختاری) به وضوح مکانی کم (به‌خصوص مربوط به شبیه‌سازی‌های منطقه‌ای) و فرآیندهای ناشناخته مربوط می‌شوند که به درستی در مدل توصیف نمی‌شوند (۲۴). این مدل‌ها، شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرند (۱۹). بنابراین انتخاب‌های مختلف حاصل از مدل‌های مختلف گردش عمومی جو (۳۰) به دلیل ساده‌سازی فرآیندهای پیچیده نقل و انتقالات در اتمسفر و اقیانوس منجر به فرضیات مختلفی در مورد فرآیندهای اقلیمی می‌شود (۴۳). علاوه بر این مدل‌های اقلیمی برخی از فرآیندهای طبیعی (مانند پویایی گیاهی و گسترش آتش‌سوزی) و عوامل غیرطبیعی (مانند آبیاری، انحراف آب و کاربری که مستقیماً بر رخداد خشکسالی مؤثر هستند) را در نظر نمی‌گیرند که کمی کردن این عوامل حتی در دوره پایه بسیار دشوار است (۳۷). همچنین با توجه به ساختار متفاوت روش‌های ریزمقیاس‌گردانی مختلف، بین داده‌های شبیه‌سازی شده در بعضی موارد تفاوت محسوسی وجود دارد (۴، ۳۹). به‌طور خلاصه برای تخمین‌هایی که براساس ریزمقیاس‌کردن خروجی مدل‌های گردش عمومی می‌باشند، سطوح مختلف

آینده حاصل از ترکیب چهار سناریو انتشار، پنج مدل گردش عمومی جو و دو مدل ریزمقیاس‌سازی (LARS-WG و SDSM) در دو ایستگاه همدیدی مشهد و همدیدی بجنورد (۱۷)، عدم قطعیت شبیه‌سازی سری زمانی بارش در دوره آتی اول (۲۰۴۰-۲۰۱۱) و دوره آتی دوم (۲۰۷۰-۲۰۴۰) با دو روش باکس پلات و بوت استرپ بررسی شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: صحت داده‌های تاریخی در مطالعات تغییر اقلیم اهمیت زیادی دارد، زیرا عدم اطمینان از داده‌های تاریخی می‌تواند قابلیت اطمینان نتایج را کاهش دهد (۳۴)؛ بنابراین دو ایستگاه همدیدی بجنورد و همدیدی مشهد که دارای آمار مناسب و قابل اطمینانی بودند برای انجام پژوهش انتخاب شد. مشخصات ایستگاه‌های مذکور در جدول (۱) آورده شده است. اطلاعات مورد نیاز شامل دمای حداکثر و حداقل، بارش و ساعات آفتابی روزانه در دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۱ میلادی از مرکز آمار سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. در هر دو ایستگاه طبق منحنی آمبروترمیک ماه‌های می تا اکتبر دوره خشکی و در ماه‌های ژانویه و فوریه و مارس و آوریل دوره مرطوب است. همچنین با توجه به صفحه اقلیم نمای آمبرژه و طبقه‌بندی اقلیمی کوپن به ترتیب در اقلیم خشک و سرد و در منطقه بیابانی- استپی قرار دارند.

مدل می‌شود (۸). در پژوهشی دیگر عباسی و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که بررسی تغییرات بارش در آینده با دو مدل HadCM2 و ECHAM4 در ایران پاسخ یکسانی را ارائه ندادند؛ به طوری که برای دوره مشابه به ترتیب ۲/۵ درصد کاهش و ۱۹/۸ درصد افزایش را نشان دادند (۱). قرمزچشمه و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی عدم قطعیت شبکه عصبی مصنوعی در ریزمقیاس‌گردانی مدل HadCM3 با روش فاصله اطمینان بوت استرپ به این نتیجه رسیدند که حدود اطمینان بارش به دلیل ماهیت تغییرات زیاد آن نسبت به دما بسیار بیش‌تر است (۱۸).

به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که در بررسی‌های تغییر اقلیم آینده در خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، سناریوهای انتشار و مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی همواره با عدم قطعیت روبرو می‌باشند و برای رفع عدم قطعیت باید مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرند. هرچند عدم قطعیت کاملاً حذف نمی‌شود و اجتناب‌ناپذیر است، ولی گاهی با در نظر گرفتن عوامل بیش‌تر می‌توان آن را کاهش داد (۲۵). از آنجا که به دلیل وجود عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های اقلیمی ناشی از تفاوت‌های ساختاری در مدل‌های اقلیمی جهانی و هم چنین عدم قطعیت با توجه به تغییرات در شرایط اولیه یا پارامتری کردن مدل، استفاده از چند مدل و چند سناریو در پیش‌بینی‌ها توصیه می‌شود (۸، ۱۶، ۲۰، ۳۳، ۳۴، ۳۹)؛ بنابراین در این نوشتار با توجه به نتایج شبیه‌سازی ماهانه بارش

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Characteristics of the investigated gauge stations.

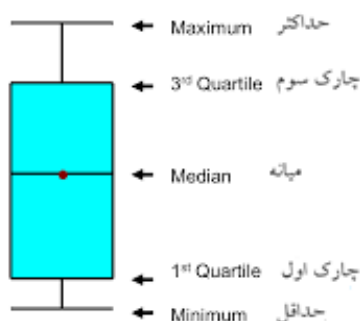
ایستگاه همدیدی (Synoptic gauge station)	طول جغرافیایی (Longitude)	عرض جغرافیایی (Latitude)	ارتفاع (متر از سطح دریا) (Elevation meter a.s.l)	متوسط بارش سالانه (mm) (Average annual precipitation mm)
بجنورد (Bojnourd)	57° 19'	37° 28'	1019	263
مشهد (Mashhad)	59° 38'	37° 16'	997	251

حرکت هوا از ساختار دینامیکی و فیزیکی و محاسباتی مختلفی استفاده شده است، با فرض سناریوهای پیش فرض کاملاً یکسان، پاسخ‌های متفاوتی به دست می‌آید (۱). از طرف دیگر شناسایی مدل‌های مناسب منجر به کاهش عدم قطعیت در شبیه‌سازی آینده می‌شود (۸، ۲۱، ۲۸، ۳۳، ۴۱، ۴۵). بنابراین در این پژوهش از دو روش باکس-ویسکر و روش غیرپارامتری فاصله اطمینان بوت استرپ جهت بررسی و کاهش عدم قطعیت شبیه‌سازی‌ها استفاده شد.

در گام اول با استفاده از نمودار باکس ویسکر داده‌های پرت شناسایی و حذف شدند. در این روش با استفاده از یک مستطیل دارای دو خط در دو طرف مستطیل می‌توان پارامترهای آماری میانه، چارک‌های اول و سوم، کم‌ترین و بیش‌ترین اندازه مشاهده‌شده برای پارامتر مورد بررسی را رسم کرد (شکل ۱). بالا و پایین مستطیل نشان‌دهنده چارک سوم و اول می‌باشد و خط داخل جعبه چارک دوم (میانه) می‌باشد. خطوط افقی انتهای سیل‌ها نشانه کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار داده‌هاست. با استفاده از این نمودار می‌توان مرکزیت، پراکندگی و چولگی داده‌ها را تفسیر نمود (۵). بنابراین پس از ریزمقیاس‌سازی بارش ماهانه شبیه‌سازی‌شده با مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار مختلف، نمودار باکس-ویسکر رسم شد.

ارزیابی و صحت‌سنجی ریزمقیاس‌نمایی: برای شبیه‌سازی سری زمانی بارش در دو دوره مورد بررسی آینده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو HadCM3 با سناریوهای A1B، A2، B2، B1، مدل‌های NCPCM، CNCM3 با سناریوی A1B، مدل GFCM2 با سناریوهای A1B (حدواسط) و A2 و مدل CGCM3 با سناریوهای A1B و A2 استفاده شد. سپس ریزمقیاس‌سازی سری‌های زمانی تولید شده با دو مدل LARS-WG و SDSM انجام شد. لازم به ذکر است که اساس کار مدل SDSM بر پایه ارتباط بین متغیرهای مستقل جو به تعداد ۲۶ مورد (فشار سطح دریا، نیروی جریان هوا در سطح زمین، سرعت باد و...) و متغیرهای وابسته ایستگاهی (سری زمانی بارش در دوره پایه) است. داده‌های متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP از لینک (<http://co-public.lboro.ac.uk/cocwd/SDSM>) بر اساس طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها استخراج شدند. براساس همبستگی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها و متغیر سری زمانی بارش، متغیرهای منتخب مهم برای ایستگاه همدیدی بجنورد شامل P5zh، r500 و r850 و برای ایستگاه همدیدی مشهد شامل shum R500 و r850 بودند. جهت مطالعه بیش‌تر از جزییات نتایج صحت‌سنجی و اطمینان از قابلیت در شبیه‌سازی سری زمانی بارش با دو مدل LARS-WG و SDSM به مطالعه قندی (۱۷) مراجعه شود.

بررسی عدم قطعیت: با توجه به این‌که مراکز و دانشمندان زیادی در توسعه مدل‌های مختلف گردش عمومی جو مشارکت داشته‌اند و برای حل معادلات



شکل ۱- نمودار باکس ویسکر.

Figure 1. Box-Whisker plot.

گام سوم: محاسبه نمونه بوت استرپ با استفاده از

رابطه $x_i^* = \sum_{i=1}^N w_i x_i$ که در اینجا $0 \leq i \leq N$ و

$$w_i = \frac{\phi}{\sum_{i=1}^N \phi}$$

که در آن، ϕ عدد تصادفی تولید شده توسط توزیع

یکنواخت $(0, 1)$ ، که البته $\sum_{i=2}^N w_i = 1$.

گام چهارم: ساختار $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ به عنوان نمونه بوت استرپ است.

گام پنجم: تکرار گام‌های ۱ تا ۴، B مرتبه. B نشان‌دهنده تعداد تکرار نمونه‌برداری بوت استرپ است. در نهایت تعداد B نمونه بوت استرپی با طولی برابر با داده‌های اولیه به دست می‌آید که براساس آن‌ها می‌توان در مورد پارامترهای جامعه استدلال کرد.

برای این منظور ابتدا با روش باکس- ویسکر شبیه‌سازی‌های پرت حاصل از پنج مدل گردش عمومی جو و چهار سناریوی انتشار مختلف که با دو مدل SDSM و LARS-WG ریزمقیاس شده بودند، شناسایی و حذف شد. سپس نسبت به تولید ۵۰۰ تکرار برای هر شبیه‌سازهای باقی‌مانده اقدام شد که در مجموع به طور متوسط بین ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ تکرار محاسبه شد.

در گام بعد با استفاده از روش بوت استرپ فاصله اطمینان شبیه‌سازی بارش ماهانه در دو دوره آینده بررسی شد. بوت استرپ در شرایط کاملاً پیچیده بدون تحمیل هیچ‌گونه فرضی و به روش کاملاً طبیعی اقدام به تولید داده کرده و توزیع تجربی این داده‌ها را به عنوان برآوردی از توزیع اصلی و ناشناخته در نظر می‌گیرد (۱۳). بوت استرپ فرآیندی است که ابتدا با تولید نمونه‌های ساختگی مشابه با نمونه اصلی و در مرحله بعد با برآورد مقدار اریبی، ارائه برآوردگر اریب- اصلاح شده و ساخت بازه‌های اطمینان به ارزیابی عدم قطعیت مقدار کارایی به دست آمده از نمونه اصلی می‌پردازد. از خود داده‌ها و به تعداد داده‌های هر سری، نمونه گرفته می‌شود. این عمل، معمولاً هزار بار تکرار شده و برای هر تکرار یک متوسط و یک واریانس محاسبه می‌شود. سپس فاصله اطمینان هزار تکرار محاسبه می‌شود. مراحل انجام کار به صورت زیر می‌باشد (۳۱):

گام اول: اگر $X_n = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ به عنوان داده‌های اصلی باشد.

گام دوم: انتخاب یک نمونه x_i از X_n به طور تصادفی همراه با جایگزینی، این عمل N بار انجام می‌شود. به طوری که در نهایت N سری داده با طول برابر با X_n داریم.

نتایج و بحث

نتایج نمودار باکس ویسکر: برای ارزیابی عدم قطعیت، نتایج دو مدل ریزمقیاس گردان، پنج سناریوی اقلیمی و چهار سناریوی انتشار در دو افق سی ساله ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ میلادی برای بارش به صورت باکس پلات در شکل ۲ نشان داده شده است. فاصله میان دو چارک اول (۲۵ درصد) و چارک سوم (۷۵ درصد) به عنوان دامنه عدم قطعیت لحاظ گردید (۳۵). اشرف و همکاران (۲۰۱۴) پیشنهاد کردند در مطالعاتی که با هدف انجام پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم و یا بررسی اثرات آن در مناطق مختلف صورت می‌گیرد، ابتدا انتخاب مدل‌های گردش عمومی جو مناسب آن منطقه برای پارامتر مورد بررسی اقدام شود تا نتایج هرچه واقعی‌تر جهت ارائه به بخش‌های اجرایی حاصل شود (۸). بنابراین برای شناسایی داده‌های پرت با توجه به روش ویسکر در شکل ۲، داده‌های پرت پایین از طریق چارک اول منهای سه برابر چارک سوم منهای چارک اول و داده‌های پرت بالا، از طریق چارک سوم به‌علاوه سه برابر چارک سوم منهای چارک اول، شناسایی و حذف شدند.

نتایج بررسی عدم قطعیت در ایستگاه همدیدی بجنورد بیانگر وجود داده‌های پرت شبیه‌سازی در ماه‌های ژانویه، مارس و سپتامبر در دوره آتی اول و ماه‌های ژانویه و مارس در دوره دوم آتی می‌باشد (شکل ۲). در دوره آتی اول مدل CGCM3 با سناریوهای A1B و A2 در دو ماه ژانویه و مارس و مدل HadCM3 با سناریوی A2 و B2 در ماه سپتامبر نسبت به شبیه‌سازی‌های بارش با دیگر مدل‌های GCM و سناریوهای انتشار دارای اختلاف معنی‌داری بودند. نتایج کلی در ایستگاه همدیدی بجنورد بعد از حذف شبیه‌سازی‌های پرت هر ماه، بیانگر افزایش بارش در افق اول آتی و افق دوم آتی به ترتیب با ۹/۷ و ۶/۷ درصد نسبت به دوره پایه بود.

به طوری که بیش‌ترین افزایش بارش نسبت به دوره پایه در هر دو افق آتی در ماه‌های سپتامبر، ژوئن و اکتبر تا حدود ۳۰ درصد خواهد بود (شکل ۲). همچنین مطابق شکل ۲ در ماه‌های فصل بهار فاصله خط زیرین و فوقانی جعبه (۲۵ و ۷۵ درصد) نسبت به ماه‌های دیگر بیش‌تر است و این نشان می‌دهد که شبیه‌سازی‌ها با سناریوهای مختلف در این فصل اختلاف بیش‌تری نسبت به فصول دیگر دارند و در ماه‌های فصل تابستان برعکس. همچنین در بیش‌تر ماه‌ها فاصله چارک سوم تا میانه خیلی بیش‌تر از فاصله چارک اول تا میانه است، که بیانگر واریانس داده‌های بالاتر از میانه بیش‌تر از مقدار نظیر داده‌های پایین‌تر از میانه است.

با توجه به شکل ۲ در ایستگاه همدیدی مشهد در سه ماه ژانویه، مارس و ژوئن اختلاف معنی‌داری در شبیه‌سازی بعضی مدل‌های GCM و سناریوها مشاهده شد، که مربوط به مدل CGCM3 با دو سناریوی A1B و A2 در دو ماه ژانویه و مارس و مدل GFCM3 و دو سناریوی B2 و A2 در ماه‌های مربوط به فصل تابستان بود. همچنین نتایج شبیه‌سازی در ایستگاه همدیدی مشهد بیانگر افزایش بارندگی در دو افق آتی اول و دوم به ترتیب برابر با ۱۴/۳ و ۱۲/۶ درصد نسبت به دوره پایه بود. بیش‌ترین افزایش بارندگی در فصل بهار در هر دو دوره آینده در این ایستگاه مشاهده شد (شکل ۲). علاوه بر آن در ماه‌های آوریل و می فاصله خط زیرین و فوقانی جعبه (۲۵ و ۷۵ درصد) نسبت به ماه‌های دیگر خیلی بیش‌تر است و این نشان‌دهنده پراکندگی زیاد نتایج شبیه‌سازی‌ها با سناریوهای مختلف در این دو ماه دارد. همچنین مانند شبیه‌سازی‌های آینده ایستگاه همدیدی بجنورد، در بیش‌تر ماه‌ها فاصله چارک سوم تا میانه خیلی بیش‌تر از فاصله چارک اول تا میانه است. این نشان می‌دهد

بارش ماهانه در دوره آینده با دوره پایه بیانگر افزایش بارش در شش ماهه دوم میلادی در دو دوره آتی است. در ماه اکتبر بیش‌ترین افزایش بارش در همه مدل‌ها و سناریوهای انتشار در دوره آینده انتظار می‌رود.

در ایستگاه همدیدی مشهد نتایج بیانگر اختلاف بسیار کم فاصله اطمینان واریانس شبیه‌سازی‌ها در شش ماهه دوم میلادی دارد. در صورتی‌که در هر دو افق آتی در فصل بهار ضخامت باند محدوده اطمینان بسیار زیاد بوده، بنابراین عدم قطعیت پیش‌بینی مدل‌ها در دوره آینده برای این فصل زیاد است. همچنین داده‌های تاریخی در پایین‌تر از حد وسط باند عدم قطعیت داده‌های شبیه‌سازی شده در عرض سال قرار گرفتند که این نشان‌دهنده شبیه‌سازی سری‌های بارش بیش‌تر برای افق پیش‌رو است.

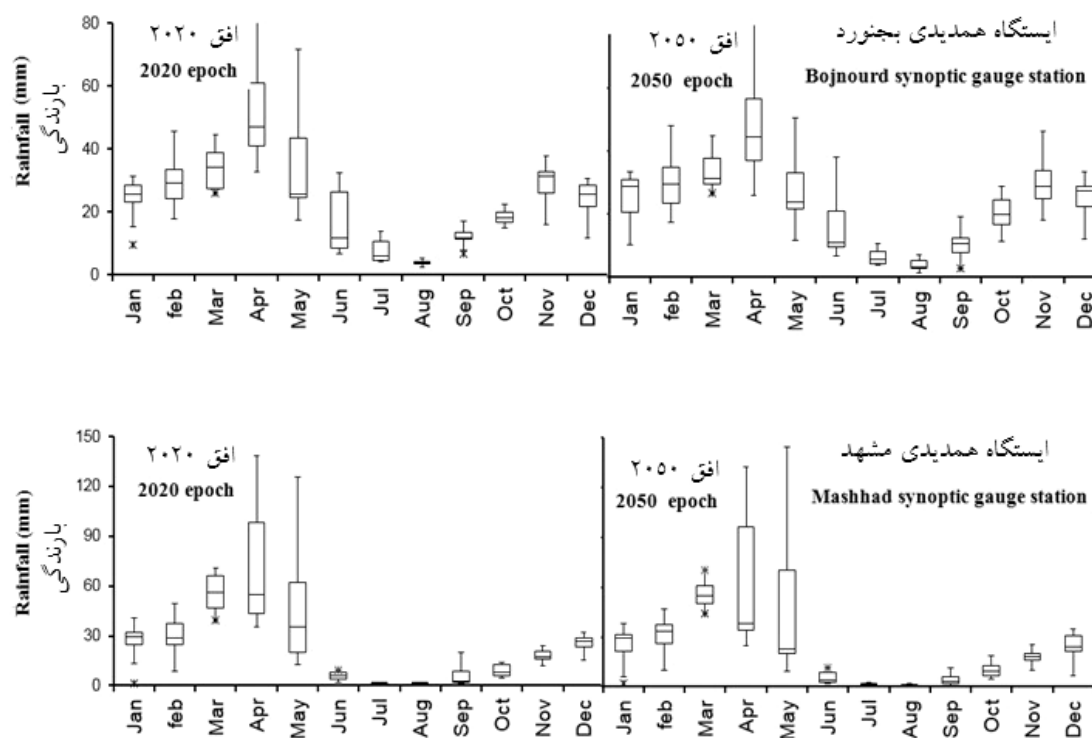
با توجه به ضخامت باند عدم قطعیت بنابراین انتخاب چند روش ریزمقیاس‌نما به دلیل ساختار متفاوت و همچنین داشتن GCM‌های ورودی مختلف برای شبیه‌سازی‌های قابل انتظار در آینده اهمیت به‌سزایی دارد. تغییرات بارش پیش‌بینی‌شده برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی دارای اهمیت است (۱۵، ۴۶)؛ اما پیوستگی مکانی و زمانی کم‌تری نسبت به دما دارد (۳، ۲۹، ۳۶، ۴۶) در نتیجه دارای عدم قطعیت بیش‌تری نسبت به دما است (۳۴). با توجه به نتایج پژوهش به‌علت ماهیت فیزیکی پیچیده و تغییرپذیری بارش تا حد امکان از چندین مدل به جای یک مدل در پیش مطالعات تغییر اقلیم استفاده شود تا بدین وسیله عدم قطعیت در شبیه‌سازی‌های انجام شده را تا حد قابل قبول کاهش داد.

که واریانس داده‌های بالاتر از میانه بیش‌تر از مقدار مانند داده‌های پایین‌تر از میانه است.

در مرحله بعد از شناسایی و حذف شبیه‌سازی‌های پرت حاصل از پنج مدل گردش عمومی جو و چهار سناریوی انتشار مختلف که با دو مدل SDSM و LARS-WG ریزمقیاس‌شده بودند، سپس نسبت به تولید ۵۰۰ تکرار برای هر شبیه‌سازی باقی‌مانده اقدام شد که در مجموع به‌طور متوسط بین ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ تکرار محاسبه شد.

نتایج فاصله اطمینان بوت استرپ: لازم به ذکر است برای کاهش عدم قطعیت ابتدا شبیه‌سازی‌های پرت شناسایی شده با نمودار باکس ویسکر حذف شد. سپس عدم قطعیت خروجی با استفاده از وزن‌های درست‌نمایی برای مجموعه شبیه‌سازی‌ها محاسبه شد. مجموع این وزن‌ها برابر با یک بوده و تشکیل تابع چگالی احتمال را می‌دهند. سپس، بازه اطمینان ۹۵ درصد برای خروجی شبیه‌سازی شده‌ی مدل‌ها محاسبه می‌شود که در آن ۲/۵ درصد حدود بالا و پایین آن به‌عنوان شبیه‌سازی‌های پرت کنار گذاشته می‌شود و محدوده عدم قطعیت ۹۵ درصد سطح اطمینان به‌دست می‌آید. نتایج حاصل از عدم قطعیت برای شبیه‌سازی سری‌های بارش ماهانه در دو دوره آتی در سطح احتمال ۹۵٪ (باند برآورد عدم قطعیت) در شکل ۳ نشان داده شده است.

نتایج بررسی عدم قطعیت در ایستگاه همدیدی بجنورد با روش بوت استرپ بیانگر ضخامت زیاد باند عدم قطعیت در اکثر ماه‌ها به‌جز در ماه‌های آگوست و اکتبر است که در نتیجه عدم قطعیت شبیه‌سازی‌های مدل‌ها در دوره آینده در این دو ماه کم‌تر می‌باشد (شکل ۳). همچنین مقایسه مقادیر میانگین شبیه‌سازی

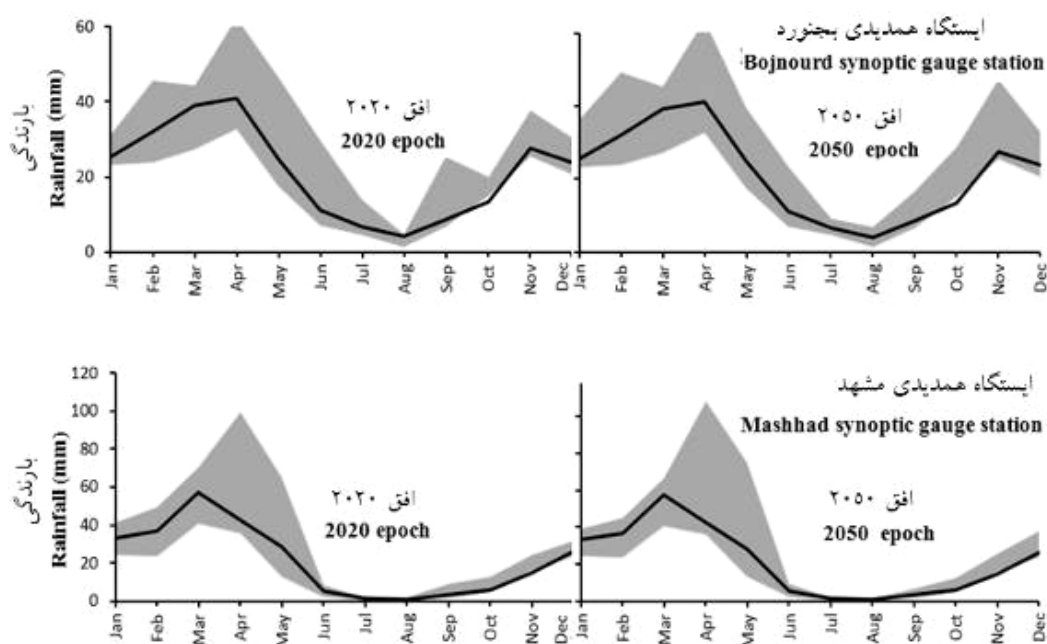


شکل ۲- شبیه‌سازی‌های پیش‌بینی بارش آینده با مدل‌های گردش عمومی جو، سناریوهای انتشار با دو مدل ریزمقیاس‌ساز در دو افق ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ میلادی با روش باکس-ویسکر نمایش داده شده است. بالای جعبه بیانگر ۷۵ درصد چارک، خط وسط بیانگر میانه (۵۰ درصد چارک) و پایین جعبه بیانگر ۲۵ درصد چارک است. ویسکر ۵ درصد و ۹۵ درصد چارک را جهت مشخص شدن داده پرت نشان می‌دهد.

Figure 2. Rainfall projections based on GCMs, emission scenarios and two downscaling methods in epoch 2020 and 2050 are presented as box and whisker plots. The top of the box represents the 75th percentile, the middle line represents the median (50th percentile) and the bottom of the box represents the 25th percentile. The whiskers correspond to the 5th and 95th percentiles.

در پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های اقلیمی می‌باشد (۸، ۱۲، ۲۶). همچنین نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد که عدم قطعیت شبیه‌سازی آینده سری زمانی سری زمانی بارش در زمستان و بهار بیش‌تر است. به‌طوری‌که چن و همکاران (۲۰۱۳) همچنین صمدی و همکاران (۲۰۱۳) به نتایج مشابه رسیدند (۱۰، ۳۳).

سونیر و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه شبیه‌سازی بارش آینده در اروپا بیان داشتند که با توجه پاسخ‌های مختلف در تغییرات بارش آینده، بنابراین مجموعه‌ای از چند روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و مدل‌های اقلیمی جهت کاهش عدم قطعیت در نظر گرفته شود (۳۹). از طرف دیگر استفاده از دو یا چند روش ریزگردانی، راهکاری برای کاهش عدم قطعیت موجود



شکل ۳- مقایسه ۹۵ درصد فاصله اطمینان مقادیر بارش شبیه‌سازی‌شده دوره آینده در مقابل بارش مشاهداتی دوره پایه با توجه به محاسبه عدم قطعیت خروجی با روش بوت استرپ در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Figure 3. Computed 95% confidence interval on the rainfall projected in the future with bootstrap method compared with the historical rainfall data.

مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد. نتایج مذکور با پژوهش‌های داخل (۵، ۸، ۲۰، ۳۲) و سایر کشورها (۱۶، ۳۳) که سناریوها و GCMها مختلف پاسخ متفاوتی دارند، مطابقت دارد.

۲- در ایستگاه همدیدی بجنورد، در افق آبی اول و دوم با مدل CGCM3 در دو ماه ژانویه و مارس و مدل HadCM3 در ماه سپتامبر نسبت به شبیه‌سازی‌های دیگر دارای پاسخ بسیار متفاوتی بودند. همچنین در ایستگاه همدیدی مشهد نتایج شبیه‌سازی با مدل CGCM3 در دو ماه ژانویه و مارس و مدل GFCM3 در ماه‌های تابستان نسبت به شبیه‌سازی‌های دیگر GCMهای مورد بررسی تفاوت زیادی داشتند. انصاری و همکاران (۲۰۱۴) نیز در نتایج بررسی خود بیان نمودند که میزان تغییرات بارش در چارک‌های اول تا چهارم در مدل‌های مختلف متفاوت است (۵). همچنین آشفته و مساح (۱۳۸۸) و رول و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود بر دامنه نوسان زیاد پیش‌بینی

نتیجه‌گیری کلی

همه مدل‌های گردش عمومی جو و خروجی‌های ریزمقیاس‌سازی، بنا به ماهیت عدم اطمینان نمی‌توانند به‌طور کامل یک سیستم فیزیکی را توصیف نمایند. هر چند که با در نظر گرفتن سیستم‌های فیزیکی مختلف و مناسب می‌توان عدم قطعیت را کاهش داد. از آن‌جا که مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری بر پایه تولید داده‌های تصادفی هستند، در این‌صورت هرچه تعداد سناریوها بیش‌تر باشد، نتیجه‌های بهتری به‌دست خواهد آمد. در این مطالعه برای رسیدن به این هدف از نتایج دو مدل ریزمقیاس‌نما، پنج سناریوی اقلیمی و چهار سناریوی انتشار (در مجموع ده سناریوی مختلف) برای شبیه‌سازی بارش در دو افق سی‌ساله ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ میلادی در دو ایستگاه همدیدی بجنورد و مشهد استفاده شد. به‌طور خلاصه نتایج بیانگر:

۱- پاسخ‌های متفاوت و تنوع گسترده با توجه به خصوصیات محلی و سیستمی هر یک از سناریوها و

همدیدی مشهد نسبت به ایستگاه همدیدی بجنورد است. در پژوهش قرمزچشمه و همکاران (۲۰۱۵) نیز ضخامت باند عدم قطعیت پیش‌بینی بارش آینده در ماه آگوست نسبت به ماه‌های دیگر کم‌تر بود که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (۱۸). نتایج پژوهش صمدی و همکاران (۲۰۱۳) بیانگر عدم قطعیت بیش‌تر برآوردها در فصل تابستان نسبت به بقیه فصول است (۳۴). هوشمند و خردادی (۱۳۹۳) نیز بیان داشتند که سناریوی B1 نسبت به دو سناریوی A1B و A2 دارای باند عدم قطعیت کم‌تری در برآورد بارش در ایستگاه همدیدی مشهد است (۲۰).

هر چند با در نظر گرفتن عدم قطعیت برای پیش‌بینی تغییر اقلیم سبب برآورد محدوده بسیار گسترده‌ای از برآورد اثرات تغییر اقلیم می‌شود؛ اما این عدم قطعیت زیاد از نقطه‌نظر پژوهشگران قابل دفاع‌تر است. در مطالعاتی که فقط یک یا تعداد محدودی از مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار جهت شبیه‌سازی تغییرات اقلیم در نظر می‌گیرند، باعث ایجاد یک حس کاذب اعتماد به نفس در مورد پیش‌بینی تغییر اقلیم آینده می‌شوند که در واقع پیش‌بینی‌های آن به مراتب کم‌تر مورد اطمینان است.

بارش در مقایسه مدل‌های مختلف GCM را بیان نمودند (۷، ۳۳). کریپالانای و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهش خود نتیجه گرفتند که از ۲۲ مدل CMIP3 فقط ۶ مدل توانایی شبیه‌سازی الگوی تغییرات بین سالانه مانسون در هند هستند (۲۷).

۳- نتایج کلی در ایستگاه همدیدی بجنورد و مشهد بیانگر افزایش بارش در افق اول و افق دوم آتی نسبت به دوره پایه بود. نتایج حاصل با گزارش‌های (۱، ۴، ۵، ۹، ۲۰، ۲۸، ۳۲، ۴۰) مبنی بر افزایش بارش در دوره آینده مطابقت دارد. همچنین آشفته و مساح (۲۰۰۹) در پژوهش خود در حوزه آیدوغموش نتیجه گرفتند که در افق ۲۰۵۰ شاهد افزایش بارش عمدتاً برای فصول پاییز و زمستان خواهیم بود (۷).

۴- بررسی عدم قطعیت شبیه‌سازی سری‌های زمانی بارش ماهانه با روش بوت استرپ در دو دوره آتی در سطح احتمال ۹۵٪ بیانگر ضخامت زیاد باند عدم قطعیت در اکثر ماه‌ها به‌جز در ماه‌های آگوست و اکتبر در ایستگاه همدیدی بجنورد است. در ایستگاه همدیدی مشهد در شش‌ماهه دوم سال میلادی، پهنای حاشیه^۱ شبیه‌سازی‌ها در فاصله اطمینان ۹۵ درصد بسیار کم‌تر از شش‌ماهه اول در هر دو افق مورد بررسی می‌باشد. نتایج کلی بیانگر دقت بیش‌تر شبیه‌سازی‌ها برای دو دوره مورد بررسی در ایستگاه

منابع

1. Abasi, F., Babaeyan, A., Malbosi, Sh., Asmari, M., and Goli Mokhtari, L. 2012. Assessment of climate change in the coming decades (2025 to 2100) using General Circulation Model's downscaling climate data. J. Geograph. Res. 1: 27. 205-230. (In Persian)
2. Abasnia, M., Tavosi, T., Khosravi, M., and Torous, H. 2016. Uncertainty analysis of future changes in daily maximum temperatures over Iran by GIS. Geographical Data. 25: 97. 29-43. (In Persian)
3. Alexander, L., Zhang, X., Peterson, T., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., and Vazquez-Aguirre, J. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. J. Geophysic. Res. Atm. 111, D05. 1-22.

1- With of margin

4. Alexandru, A., and Sushama, L. 2015. Current climate and climate change over India as simulated by the Canadian Regional Climate Model. *Climate Dynamics*. 45: 1059-1084.
5. Ansari, H., Khadivi, M., Saleh Niya, N., and Babaiyan, A. 2014. Evaluation of uncertainty of LARS-WG under scenario A1B, A2 and B1 in predicting precipitation and temperature (Case Study: Mashhad synoptic station). *J. Irrig. Drain*. 4: 8. 664-672. (In Persian)
6. Arnell, N. 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*. 14: 131-52.
7. Ashofte, P., and Massah, A.R. 2009. Uncertainty of climate change impact on the flood regime. Case study: Aidoghmoush basin, East Azarbaijan. *Water Resources Research*. 5: 2. 27-39.
8. Ashraf, B., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, M., and Bannayan Aval, M. 2013. Verification of temperature and precipitation data simulated by implementing individual and group five AOGCM models for North East Iran. *J. Soil Water (Agricultural Science and Technology)*. 2: 28. 253-266. (In Persian)
9. Babaiyan, A., and Najafi Nik, Z. 2006. Introduction and evaluation of LARS-WG to simulate meteorological parameters Khorasan period (2003-1961). *Quarterly maker*. 62: 49-65. (In Persian)
10. Chen, J., Brissette, F.P., Chaumont, D., and Braun, M. 2013. Performance and uncertainty evaluation of empirical downscaling methods in quantifying the climate change impacts on hydrology over two North American river basins. *J. Hydrol*. 479: 4. 200-214.
11. Christensen, J., and Christensen, O. 2007. A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*. 81: 7. 7-30.
12. Ebrahim, G.Y., Jonoski, A., Griensven, A., and Baldassarre, G.D. 2013. Downscaling technique uncertainty in assessing hydrological impact of climate change in the Upper Beles River Basin, Ethiopia. *J. Hydrol. Res*. 44: 2. 37-44.
13. Efron, B., and Tibshirani, V. 1993. *An introduction to the bootstrap*. Chapman and Hall, New York.
14. Etemadi, E., Samadi, Z., and Sharifikia, M. 2014. Uncertainty analysis of statistical downscaling models using general circulation model over an international wetland. *Climate Dynamics*. 42: 2899-2920.
15. Fowler, H.J., Blenkinsop, S., and Tebaldi, C. 2007. Linking climate change modeling to impacts studies: Recent advances in downscaling techniques for hydrologic modeling. *Inter. J. Climatol*. 27: 1547-1578.
16. Gao, Y., Lu, J., and Leung, L.R. 2016. Uncertainties in projection future changes in atmospheric rivers and their impacts on heavy precipitation over Europe. *J. Clim*. 29: 18. 6711-6726.
17. Ghandi, A. 2015. Evaluation of uncertainty in estimates of climate parameters by different statistical downscaling methods. Master thesis, University of Gonbad.
18. Ghermez Cheshmeh, B., Rasoli, A., Rezayi Banafsheh, M., Mesah Bavani, A., and Khorshid Dost, A. 2015. Evaluation of uncertainty in the simulated neural network handling HADCM3 using bootstrap confidence intervals. *J. Engin. Water. Manage*. 3: 7. 306-316. (In Persian)
19. Graham, P., Hagemann, S., Juan, S., and Beniston, M. 2007. On interpreting hydrological change from regional climate models. *J. Clim. Change*. 81: 97-122.
20. Hoshmand, D., and Khordadi, M.J. 2014. Uncertainty Assessment of AOGCMs and Emission Scenarios in Climatic Parameters Estimation (Case Study in Mashhad Synoptic Station). *Geography and Environmental Hazards*. 3: 11. 77-92. (In Persian)
21. Hughes, D.A., Mantel, S., and Mohobane, T. 2014. An assessment of the skill of downscaled GCM outputs in simulating historical patterns of rainfall variability in South Africa. *Hydrology Research*. 45: 1. 134-147.
22. Huth, R. 2004. Sensitivity of local daily temperature change estimates to the selection of downscaling models and predictors. *J. Clim*. 17: 640-652.

23. Kent, C., Chadwick, R., and Rowell, P.D. 2015. Understanding Uncertainties in Future Projections of Seasonal Tropical Precipitation. *J. Clim.* 28: 4390-4413.
24. Knutti, R. 2008. Should we believe model predictions of future climate change, *Philosophical transactions Series A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* 366: 1885. 4647-4664.
25. Knutti, R., Furrer, R., Tebaldi, C., Cermak, J., and Meehl, G. 2010. Challenges in combining projections from multiple climate models. *J. Clim.* 23: 10. 2739-2758.
26. Kohi, M., and Sanayi Nejad, H. 2013. Climate change scenarios based on the results of the two methods of handling statistical downscaled variable reference evapotranspiration in Orumiye. *J. Irrig. Drain.* 4: 7. 559-574. (In Persian)
27. Kripalanai, R.H., and Kulkarni, A. 2007. South Asian summer monsoon precipitation variability, 2007: coupled climate model simulations and projections under IPCC AR4. *Theor. Appl. Climatol.* 90: 133-159.
28. Kumar, P., Wiltshire, A., Mathison, C., Asharaf, Sh., Ahrens, B., Lucas-Picher, P., Christensen, H.J., Gobiet, A., Saeed, F., Hagemann, S., and Jacob, D. 2013. Downscaled climate change projections with uncertainty assessment over India using a high resolution multi-model approach. *Science of the Total Environment.* 468: 18-30.
29. Lavaysse, C., Vrac, M., Drobinski, P., Lengaigne, M., and Vischel, T. 2012. Present and projection in an anthropogenic scenario. *Natural Hazards and Earth System Science.* 12: 3. 651-670.
30. Meinshausen, M., Raper, S., and Wigley, T. 2008. Emulating IPCC AR4 atmosphere ocean and carbon cycle models for projecting global-mean, hemispheric and land/ocean temperatures: MAGICC 6.0. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions.* 8: 2. 6153-6272.
31. Mojtahedi, S.M.H., and Oo, B.L. 2014. Coastal buildings and infrastructure flood risk analysis using multi-attribute decision-making. *J. Flood Risk Manage.* 9: 1. 87-96.
32. Pir moradian, N., Hadinia, H., and Ashrafzadeh, A. 2016. Prediction of Minimum and Maximum Temperature, Radiation and Precipitation in Rasht Synoptic Station under Different Climate Change Scenarios. *J. Geograph. Plan.* 20: 55. 29-44. (In Persian)
33. Rowell, D.P., Senior, C.A., Vellinga, M., and Graham, R.J. 2016. Can climate projection uncertainty be constrained over Africa using metrics of contemporary performance? *Climate Change.* 134: 621-633.
34. Samadi, S., Wilson, A.M.E., and Moradkhani, H. 2013. Uncertainty analysis of statistical downscaling models using Hadly Center Coupled Model. *Theoretical and Applied Climatology.* 113: 3-4. 673-690.
35. Semenov, M., and Stratonovitch, P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research.* 41: 1-14.
36. Sheffield, J., and Wood, E. 2008a. Global Trends and Variability in Soil Moisture and Drought Characteristics, 1950-2000, from Observation-Driven Simulations of the Terrestrial Hydrologic Cycle. *J. Clim.* 21: 3. 432-458.
37. Sheffield, J., and Wood, E. 2008b. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario. *IPCC AR4 simulations, Climate Dynamics.* 31: 1. 79-105.
38. Stainforth, D., Allen, M., Tredger, E., and Smith, L. 2007. Confidence, uncertainty and decision-support relevance in climate predictions. *Philosophical Transactions of the Royal Society A – Mathematical. Physical and Engineering Sciences.* 365: 2145-2161.
39. Sunyer, M.A., Hundechea, Y., Lawence, D., Willems, P., Martinkova, M., Vormoor, K., Burger, G., Hanel, M., Kriauciuniene, J., Loukas Osuch, M., and Yucel, I. 2014. Inter-comparison of projection of extreme precipitation in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions.* 11: 6167-6214.
40. Tao, H., Gemmer, M., Jiang, J., Lai, X., and Zhang, Z. 2012. Assessment of CMIP3 climate models and projected changes of precipitation and temperature in the Yangtze River Basin, China. *Climate Change.* 111: 737-751.

41. Tebaldi, C., and Knutti, R. 2007. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections, *Philosophical Transactions of the Royal Society. Series A. Mathematical. Physical and Engineering Sciences.* 365: 1857. 2053-2075.
42. Turley, M.C., and Ford, E.D. 2009. Definition and calculation of uncertainty in ecological process models. *Ecological Modelling.* 220: 1968-1983.
43. van Asselt, M., and Rotmans, J. 2002. Uncertainty in Integrated Assessment Modelling. *Climatic Change.* 54: 1-2. 75-105.
44. Vasiliades, L., Loukas, A., and Patsonas, G. 2009. Evaluation of a statistical downscaling procedure for the estimation of climate change impacts on droughts. *Natural Hazards and Earth System Science.* 9: 3. 879-894.
45. Yu, W., Nakakita, E., Kim, S., and Yamaguchi, K. 2016. Impact assessment of uncertainty propagation of ensemble NWP rainfall to flood forecasting with catchment scale. *Advances in Meteorology.* 2016: 1-17.
46. Zhang, H., Huang, G., Wang, D., and Zhang, X. 2011. Uncertainty assessment of climate change impacts on the hydrology of small prairie wetlands. *J. Hydrol.* 396:1-2. 94-103.
47. Zhang, X., Zwiers, F.W., Hegerl, G.C., Lambert, F.H, Gillett, N.P, Solomon, S., Stott, P., and Nozawa, T. 2007. Detection of human influence on twentieth century precipitation trends. *Nature.* 448: 461-465.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(1), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Uncertainty analysis of rainfall projections (Case study: Bojnourd and Mashhad synoptic gauge station)

***H. Rouhani¹, A. Ghandi², S.M. Seyedian¹ and M. Kashani³**

¹Assistant Prof., Dept. of Range and Watershed Management, University of Gonbad-e-Kavouse,

²M.Sc. Graduate, Dept. of Range and Watershed Management, University of Gonbad-e-Kavouse,

³Lecturer and Ph.D. Student, Dept. of Statistical Sciences, University of Gonbad-e-Kavouse

Received: 01/12/2016; Accepted: 05/08/2017

Abstract

Background and Objectives: The scarcity of water resources caused by environmental pollution and population growth has become an issue of vital importance around the world. Assessing the water resources for the future is of great significance for water resources management and policy maker. Despite recent progress in developing reliable climate models, the different uncertainties inherent in climate change projections. Therefore, a successful application of a climate parameters simulation in applied water research strongly depends on uncertainty analysis of model output. Here we present a detailed and quantitative uncertainty assessment of rainfall for first future epoch (2011-2040) and second future epoch (2040-2070), based on the projections of wide range of rainfall projections resulting from the factorial combination of four emission scenarios, five GCMs and two downscaling methods (LARS-WG and SDSM) in Bojnourd and Mashhad synoptic stations. This enabled us to decompose the uncertainty in the ensemble of projections using Box-whisker plot and Bootstrapping method.

Materials and Methods: Bojnourd and Mashhad synoptic stations based on the reliability of their data and long date series were chosen for this study. A 30- year base weather data (1982-2011) including daily precipitation, maximum and minimum temperature, solar radiations were obtained from Iranian meteorological organization. The uncertainty in precipitation change in response to the general circulation model (GCM) from HadCM3, NCPCM, CNM3, GFCM2, CGCM3, SRES emission scenarios (A1B, A2, B1 and B2) and two downscaling method (SDSM and LARS-WG) was investigated in two future epochs. In this study, we evaluate the impact of uncertainty in climate change projections on the future precipitation by Box-whisker plots and Bootstrap technique. In the first step, the outliers were excluded by box-and-whisker plots. In the next step the precipitation projected which is reported by ten different scenarios, is then a vector of about 6000 bootstrap replications (500 per model), from which we take the 2.5th and 97.5th percentiles to calculate the range containing 95% of projected estimates. The fundamental idea of the model-based sampling theory approach to statistical inference is that the data arise as a sample from some conceptual probability distribution.

Results: The GCM models show wide variation in their results, particularly for Bojnourd precipitation forecasting. According to Box-whisker graph in Bojnourd synoptic station (BSS), the projected precipitations by CGCM3 and HadCM3 in first and second epoch fall under the 2.5th and 97.5th percentiles. In Mashhad synoptic station (MSS) some scenarios projected precipitation significantly different from other scenarios which were belonging to CGCM3 in January and March and GFCM3 in summer months. On the basis of these results, it is clear that both stations will experience an increase in precipitation for epoch1 and epoch2, with the largest increase found for epoch2. In the next step confidence interval estimation by the bootstrap method is investigated for the uncertainty quantification of precipitation projections using the

* Corresponding Author; Email: rouhani.hamed@gonbad.ac.ir

random sampling method. In BSS the confidence interval band is large in all month except in August and October. It is interesting that for MSS, the range in GCM predictions is relatively small for all seasons except in spring. This means that the uncertainty in climate predictions is considerably smaller for these months. Results also illustrate that the confidence interval band in Bojnourd station is wider than Mashhad station and suggest that precipitation projections is highly uncertain than in Mashhad Station. On the other hand in both stations climate predictions for the far future are more uncertain than climate predictions for the near future.

Conclusion: All GCM and downscaling outputs are inherently uncertain because no model can ever fully describe physical systems. Most studies in the literature on the climate change projection do not capture the full range of plausible future climate variation, making their findings seem more precise than they actually are and as a result making them less credible among climate scientists and potentially misleading for policymakers. We feel that the methodological approach presented here addresses a fundamental shortcoming in the past research. We show that failing to account for climate uncertainty lead to a false sense of confidence about the likely future impacts of climate change, when in fact impacts are actually far less certain.

Keywords: Box-whisker, Bootstrap, Climate change, Rainfall, Uncertainty