

(۱۹۶۱) پیش‌بینی شد که نتایج حاصل از این بخش نیز افزایش دما و کاهش بارش را تا سال ۲۰۹۹ برای حوضه کن نشان داد.

کلید واژه‌ها: ریزمقیاس گردانی، سلول HadCM3، مدل آماری SDSM، حوضه کن.

مقدمه

دگرگونی اقلیم یک پدیده طبیعی است که در مقیاس زمانی بلند مدت به وقوع می‌پیوندد. یکی از عوامل ایجاد این دگرگونی در دهه‌های اخیر افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای بوده است. بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که به دلیل روند افزایشی دمای کره زمین، تغییرات زمانی و مکانی محسوسی در میزان بارش و تبخیر بوجود آمده و تغییر الگوهای بارندگی، وضعیت منابع آبی را تغییر می‌دهد، از این‌رو، تولیدات کشاورزی و صنایع را به شدت تحت تاثیر خود قرار داده است. تاکنون سناریوهای مختلفی در خصوص افزایش گازهای گلخانه‌ای در قالب مدل‌های گردش عمومی جو تعریف شده است. از آنجاییکه دقت مکانی این مدل‌ها پایین بوده و نمی‌توان خروجی آن‌ها را با این ابعاد در بررسی اثر دگرگونی‌های اقلیمی بر منابع مختلف بکار برد، لذا به منظور مطالعات در مقیاس محلی تکنیک ریزمقیاس گردانی بکار گرفته می‌شود [۱۵] و [۲۰]. بطور کلی دو روش دینامیکی و آماری برای ریزمقیاس کردن وجود دارد [۱۲]. در روش‌های آماری که از روش‌های مرسوم می‌باشد بین متغیرهای اقلیمی (دما و بارش) و خروجی مدل‌های AOGCM⁴ در مقیاس روزانه رابطه برقرار می‌شود. روش‌های آماری در مقیاس با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است [۷]. از جمله مدل‌هایی که در روش‌های آماری استفاده می‌شوند می‌توان به CLIMGEN⁴، SDSM⁵، ASD⁶، LARS-WG⁷ اشاره کرد. مدل SDSM اولین بار توسط ویلی و داوسون [۲۰] به منظور ریزمقیاس گردانی داده‌های دما و بارش ارائه شد. هارفام و ویلی [۱۰] چندین مدل ریزمقیاس گردانی را جهت شبیه‌سازی بارش مورد ارزیابی قرار دادند و عملکرد مدل SDSM را نسبت به سایر روش‌های ریزمقیاس گردانی بهتر دانستند.

بررسی عملکرد مدل SDSM در ایستگاه‌های مختلف و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای دوره آتی

مرضیه حاجی محمدی^۱، باقر قرمز چشمه^۲ و ابوالفضل عزیزیان^۳
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۹

چکیده

طبق گزارش چهارم IPCC وقوع تغییر اقلیم و تأثیر آن بر خشکسالی، سیل، مشکلات بهداشت و کمبود غذا تأیید شده است. بنابراین شناخت مقدار و چگونگی تغییرات اقلیمی می‌تواند در مدیریت منابع مختلف بخصوص مدیریت منابع آب حائز اهمیت تلقی گردد. مدل‌های گردش عمومی جو ابزاری برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای دوره آتی هستند که برای استفاده از خروجی این مدل‌ها در مقیاس محلی نیاز به ریزمقیاس گردانی آنها در سطح ایستگاه می‌باشد. در ریزمقیاس گردانی آماری انتقال داده خروجی یک سلول به ایستگاه هواشناسی انجام می‌شود. با توجه به اینکه ایستگاه در چه قسمتی از سلول قرار گرفته باشد، ممکن است دقت ریزمقیاس گردانی متفاوت باشد. هدف از این پژوهش پیش‌بینی متغیرهای دما و بارش حوضه کن تا سال ۲۰۹۹ توسط خروجی مدل بزرگ مقیاس HadCM3 تحت سناریو A2 و مدل آماری SDSM بود. هم‌چنین ارتباط بین دقت ریزمقیاس گردانی مدل آماری SDSM در ایستگاه‌های مختلف مربوط به حوضه کن در یک شبکه HadCM3 واقع شده‌اند با موقعیت و شرایط اقلیمی ایستگاه‌ها بررسی شد. براساس نتایج حاصل در ایستگاه‌هایی که متوسط دما و بارش آن‌ها به متوسط دما و بارش سلول HadCM3 نزدیک‌تر بود شبیه‌سازی با دقت بالاتری بدست آمد. در نهایت تغییرات مقادیر دما و بارش برای سه دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، آینده میانی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۱-۲۰۴۱)

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان
 ۲- نویسنده مسئول و استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پست الکترونیک: Baghergh@gmail.com
 ۳- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

4. Atmosphere-Ocean General Circulation Model
 5. Statistical Down Scaling Model

تریون و دگتانو [۱۸] مدل آماری SDSM و مدل HADRM3^۱ را به منظور شبیه‌سازی بارش‌های حدی به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که نتایج مدل آماری SDSM به مقادیر مشاهداتی نزدیک‌تر است. ویلیبی و داوسون [۲۱] در پژوهشی، مدل ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM را مورد ارزیابی قرار دادند. ارزیابی مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش و دما نشان داد که مدل SDSM، دارای الگوریتم بسیار قدرتمندی است که حتی با حذف داده‌ها در دوره گذشته توانسته این دوره را شبیه‌سازی و بازسازی کند و از این داده‌ها استفاده نماید.

قرمزچشمه [۷] در پژوهشی در حوزه آبخیز ارومیه ۳ مدل آماری، SDSM، LARS-WG و شبکه عصبی را جهت شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش توسط داده‌های HadCM3 تحت سناریوی A2 مورد مقایسه قرار داد. در نهایت نتایج نشان داد که در منطقه مطالعاتی عملکرد مدل SDSM بهتر از دو مدل دیگر بوده است. در مطالعه‌ای دیگر قرمزچشمه و همکاران [۸] اثر عوامل مرفواقلیمی را بر دقت ریزمقیاس‌گردانی مدل SDSM بررسی کردند. براساس نتایج بدست آمده دقت شبیه‌سازی دمای حداکثر در ایستگاه‌هایی که اختلاف ارتفاع کمتری با متوسط ارتفاع سلول HadCM3 داشتند، بیشتر بود. همچنین داده‌های بارش در ایستگاه‌های واقع در گوشه‌های سلول HadCM3 با دقت کمتری شبیه‌سازی شدند. احمدی و همکاران [۲] عملکرد مدل SDSM را در شبیه‌سازی دما و بارش ایستگاه بابلسر در دو حالت فصلی و سالانه مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در مورد بارش مدل در حالت فصلی عملکرد بهتری دارد ولی در مورد دما نتایج فصلی و سالانه تفاوتی ندارد. شمس و همکاران [۱۶] توانمندی مدل SDSM و LARS-WG را به منظور شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مهرآباد مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM توانایی مناسبی را در شبیه‌سازی دما و مدل LARS-WG توانایی مناسب در شبیه‌سازی بارش و دما دارد. گودرزی و همکاران [۹] عملکرد دو مدل LARS-WG و SDSM را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که هر دو مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی دما نسبت به بارش داشتند و در شبیه‌سازی ماهانه دما و بارش مدل SDSM دارای عدم قطعیت کمتری بوده است اما مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دوره‌های بارش از کارایی بهتری برخوردار بود.

لیو و زو [۱۳]، تغییرات اقلیمی را در چین به وسیله چندین مدل GCM (CSIRO30, ECHAM5 و GFDL21) و دو مدل ریزمقیاس‌گردانی آماری NHMM^۲ و SDSM بررسی کردند. عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی در شبیه‌سازی بارش سالانه یکسان بود. در پژوهشی ویدیا و داتاری [۱۹]، اثر تغییر اقلیم بر مقادیر دما و بارش را در بالادست حوضه رودخانه Godavari، در هند مورد

بررسی قرار دادند. نتایج حاصل افزایش دما و بارش را برای هر دو مدل نشان داد.

دسترنج و همکاران [۵]، اثر تغییر اقلیم را بر دما، بارش و اقلیم ایستگاه‌های تهران، زنجان و قزوین در جبهه جنوبی و ایستگاه‌های رشت، رامسر، بابلسر و گرگان در جبهه شمالی بررسی کردند. در این پژوهش ریزمقیاس‌گردانی داده‌های HadCM3 توسط مدل SDSM انجام شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی نشان داد شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی توسط مدل با دقت بالایی انجام گرفته است. در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه بارش در دوره (۲۰۴۹-۲۰۲۰) در مقایسه با دوره (۲۰۰۸-۱۹۷۹) دارای یک روند افزایشی می‌باشد ولی شدت افزایش در جبهه‌های جنوبی بیشتر از شمالی خواهد بود. همچنین درجه حرارت نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۷۹) افزایش خواهد یافت که شدت افزایش دما در جبهه جنوبی بیشتر از شمالی خواهد بود. منابع مورد بررسی نشان داد که مدل SDSM در بعضی مناطق دارای دقت مناسب بوده و در برخی تحقیقات نیز بخصوص در شبیه‌سازی بارش از دقت مناسبی برخوردار نبوده است. همچنین در منابع مورد بررسی به نقش عوامل مورفو اقلیمی ایستگاه‌ها در دقت ریزمقیاس‌گردانی کمتر اشاره شده بود.

هدف از این مطالعه ارزیابی دقت مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM در ایستگاه‌های مختلف مربوط به حوضه کن، بررسی اثر عوامل اقلیمی بر دقت آن و پیش‌بینی دما و بارش است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در حوزه آبخیز کن انجام شد. این حوضه که از زیر حوضه‌های آبخیز مرکزی کشور محسوب می‌شود، در طول جغرافیایی ۹' ۵۱° تا ۲۲' ۵۱° شمالی و عرض جغرافیایی ۴۵' ۳۵° تا ۵۷' ۳۵° شرقی واقع شده است. مساحت این حوضه حدود ۲۲۰ کیلومتر مربع می‌باشد و در یک منطقه کوهستانی قرار گرفته که اختلاف ارتفاع بین بلندترین و پست‌ترین نقطه ۲۰۰۰ متر می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه حوضه ۶۲۵ میلی‌متر است و براساس مطالعات موجود حداکثر، حداقل و متوسط درجه حرارت سالانه به ترتیب معادل ۱۳/۲، ۱/۶ و ۷/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [۱]. شکل (۱) موقعیت حوضه کن را در ایران نشان می‌دهد.

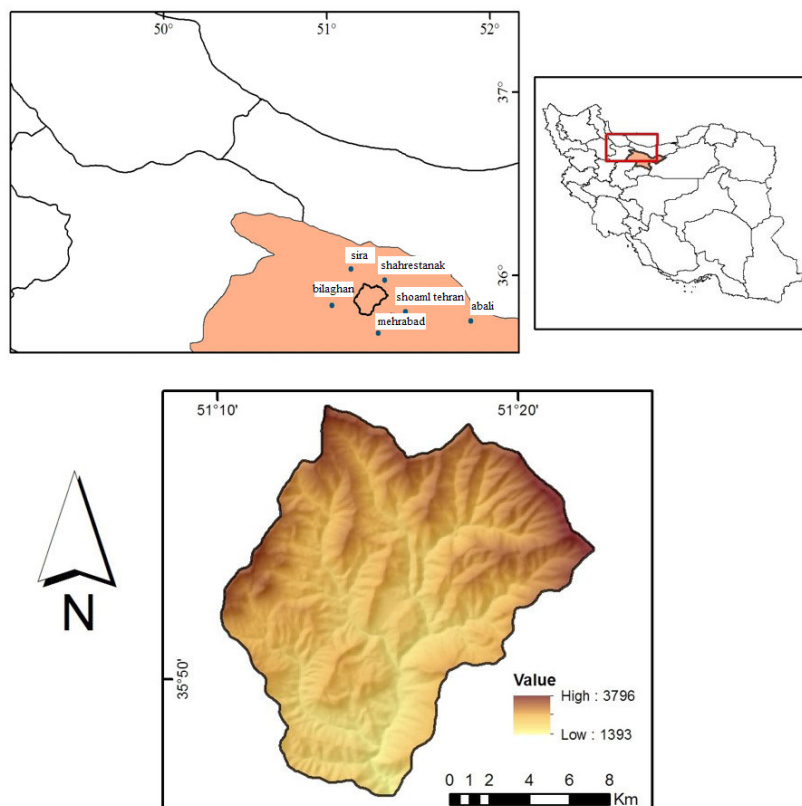
در مطالعات تغییر اقلیم دو سری داده بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی جو و داده‌های مشاهداتی روزانه ایستگاه‌های زمینی مورد نیاز است. بدین منظور، داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی جو مربوط به شبکه‌ای که حوضه مورد مطالعه در آن واقع شده است (14X, 21Y)، از سایت‌های (http://www. IPCC^۳، cccsn.ec.gc.ca) دریافت شد. در این پژوهش این داده‌ها شامل داده‌های NCEP^۴ از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ و داده‌های HadCM3 تحت

3. Intergovernmental Panel of Climate Change

4. National Center Environment Prediction

1- Hadley Centre's regional climate model

2- nonhomogeneous hidden Markov model



شکل ۱- موقعیت حوضه کن در کشور و شبکه HadCM3

Fig 1. position of the KAN watershed in country and HadCM3 grid HadCM3

جدول ۱- متوسط متغیرهای اقلیمی محاسبه شده برای ایستگاه‌های منتخب و سلول

Table 1. average climatic variables calculated for the selected stations and HadCM3 cell

نام ایستگاه Station name	دوره آماری Period	نوع ایستگاه Station type	ارتفاع (متر) Elevation (m)	دما (درجه سانتی‌گراد) Temperature (°C)	بارش (میلی‌متر) Rain (mm)
HadCM3 (14X, 21Y)	1961-2099	-	1314	12.7	649.7
مهرآباد Mehrabad	1961-2001	سینوپتیک Synoptic	1190	17.4	230.2
شمال تهران Shomale tehran	1988-2001	سینوپتیک Synoptic	1549	15.4	408.2
آبعلی Abali	1983-2001	سینوپتیک Synoptic	2465	8.4	429.8
شهرستانک Shahrestanak	1970-2001	باران سنجی Rain gauge	2193	-	587.7
سیرا Sira	1970-2001	باران سنجی Rain gauge	1790	-	598.4
بیلقان Bilaghan	1970-2001	باران سنجی Rain gauge	1360	-	332.1

سناریو A_2 از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ بودند. با توجه به طول دوره آماری مدل بزرگ مقیاس NCEP دوره پایه انتخاب شده باید بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ باشد، بنابراین ایستگاه‌های انتخاب شده باید دارای آمار کافی در این دوره باشند. موقعیت ایستگاه‌های منتخب در سلول HadCM3 و نسبت به منطقه مطالعاتی در شکل (۱) نشان داده شده است.

مراحل اجرای مدل SDSM به این ترتیب می‌باشد: ۱- کنترل کیفی داده‌ها، ۲- تبدیل داده‌ها، ۳- انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده و انتخاب حدود چهار الی شش متغیر [۶] از بین ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده NCEP، ۴- واسنجی مدل و تعیین روابط رگرسیونی توسط ۷۵ درصد از داده‌های ایستگاه‌ها و پیش‌بینی کننده‌های منتخب مدل NCEP، ۵- اعتبارسنجی مدل و بررسی دقت آن با ۲۵ درصد داده‌های باقیمانده، هم‌چنین، داده‌های کل دوره مشاهداتی ایستگاه‌ها و HadCM3، ۶- تولید سناریوهای اقلیمی براساس متغیرهای منتخب در مرحله واسنجی. ارزیابی دقت مدل براساس اختلاف میانگین (MBE) و اختلاف میانگین مطلق (MAE) انجام شد. پایین بودن مقادیر مربوط به این پارامترها نشان دهنده کارایی بهتر مدل است.

به‌منظور بررسی اثر عوامل اقلیمی بر دقت شبیه‌سازی دما و بارش، پارامترهای ارتفاع، دما و بارش برای ایستگاه‌های منتخب و سلول HadCM3 محاسبه شد که در جدول (۱) آورده شده است. در ادامه همبستگی بین اختلاف وضعیت اقلیمی هر ایستگاه با سلول HadCM3 و خطای ریزمقیاس‌گردانی بدست آمد.

در نهایت به‌منظور از بین بردن اثر خطای مدل SDSM بر نتایج پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی، متغیرهای دما و بارش برای دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۶۱) و سه دوره آتی پیش‌بینی شد و مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج

از بین ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده NCEP، حدود چهار الی شش مورد از مهم‌ترین آن‌ها که همبستگی بالاتری با متغیرهای اقلیمی (دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش) داشتند با در نظر گرفتن همبستگی داخلی متغیرهای پیش‌بینی کننده، انتخاب شدند. پیش‌بینی کننده‌های منتخب برای هر متغیر پیش‌بینی شونده در هر ایستگاه در جدول (۲) آورده شده است. براساس نتایج این جدول پیش‌بینی کننده‌های ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی سطحی در شبیه‌سازی فرآیند بارش تأثیرگذار بودند. هم‌چنین ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال و دما در ارتفاع دو متری همبستگی خوبی با دمای بیشینه و کمینه داشتند. شبیه‌سازی بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه توسط داده‌های HadCM3 و تحت سناریوی A_2 صورت گرفت و ارزیابی دقت شبیه‌سازی برای دوره پایه هر ایستگاه انجام شد که نتایج حاصل در جدول (۳) آورده شده است.

براساس نتایج بدست آمده دقت شبیه‌سازی متغیر دما بالاتر از بارش بدست آمد که به دلیل پیچیده بودن فرآیند بارش می‌باشد.

بالاترین مقادیر خطای دمای بیشینه و کمینه در اکثر ایستگاه‌ها در فصل بهار مشاهده شد. هم‌چنین بالاترین خطای شبیه‌سازی دما برای ایستگاه مهرآباد برابر ۰/۸۹ درجه سانتی‌گراد بدست آمد و پایین‌ترین آن مربوط به ایستگاه شمال تهران و برابر ۰/۶۸ درجه سانتی‌گراد بود. مقایسه خطای شبیه‌سازی و اختلاف متغیرهای اقلیمی با متوسط سلول HadCM3 در جدول (۴) آورده شده است با توجه به نتایج جدول متوسط دمای ایستگاه مهرآباد با سلول HadCM3 بالاترین اختلاف را (برابر ۴/۷ درجه سانتی‌گراد) داشت و متوسط دمای ایستگاه شمال تهران دارای پایین‌ترین اختلاف (برابر ۲/۷ درجه سانتی‌گراد) بود که به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر خطا نیز برای این دو ایستگاه بدست آمده است. هم‌چنین شکل (۲) رابطه همبستگی بین اختلاف دما و اختلاف ارتفاع ایستگاه‌های مطالعاتی را با خطای هر ایستگاه نشان می‌دهد که براین اساس خطای ایستگاه‌های مطالعاتی با اختلاف دما رابطه داشتند اما اختلاف ارتفاع تأثیری بر دقت شبیه‌سازی نداشت.

با توجه به نتایج جدول (۳) کم‌ترین درصد خطا در شبیه‌سازی بارش مربوط به فصل تابستان بود که می‌تواند به دلیل بارش اندک در این فصل باشد و بالاترین مقادیر خطای بارش برای فصول بهار و پاییز بدست آمد. معمولاً بیش‌ترین درصد خطای بارش مربوط به فصولی است که بارش‌های محلی در آن‌ها زیاد اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه مدل‌های گردش عمومی جو پدیده‌های فراگیر را در نظر می‌گیرند بنابراین قادر به شبیه‌سازی شرایط محلی نیستند [۸].

در ایستگاه‌های منتخب بالاترین مقادیر خطای بدست آمده مربوط به فصول پاییز و بهار بود که هم مقادیر بارش در این فصول بالا بوده و هم بارش‌های محلی بیشتر اتفاق می‌افتد. در پژوهشی که توسط قرمزچشمه و همکاران [۸] در شمال غرب کشور انجام شد نیز بالاترین خطا در شبیه‌سازی بارش در فصول بهار و پاییز رخ داده بود.

هم‌چنین بیش‌ترین خطای شبیه‌سازی بارش مربوط به ایستگاه بیلقان برابر ۳۵/۸ درصد و کم‌ترین آن مربوط به ایستگاه‌های سیرا و شهرستانک به ترتیب برابر ۲۱/۴ و ۲۲/۷ درصد بود. براساس نتایج جدول (۴) کم‌ترین اختلاف بارش مربوط به ایستگاه‌های سیرا و شهرستانک بود که کم‌ترین مقادیر درصد خطا برای این دو ایستگاه بدست آمد و ایستگاه‌های مهرآباد و بیلقان دارای بیش‌ترین اختلاف بارش بودند که بالاترین درصد خطا مربوط به ایستگاه بیلقان بود اما دقت شبیه‌سازی بارش در ایستگاه مهرآباد نسبتاً خوب بود.

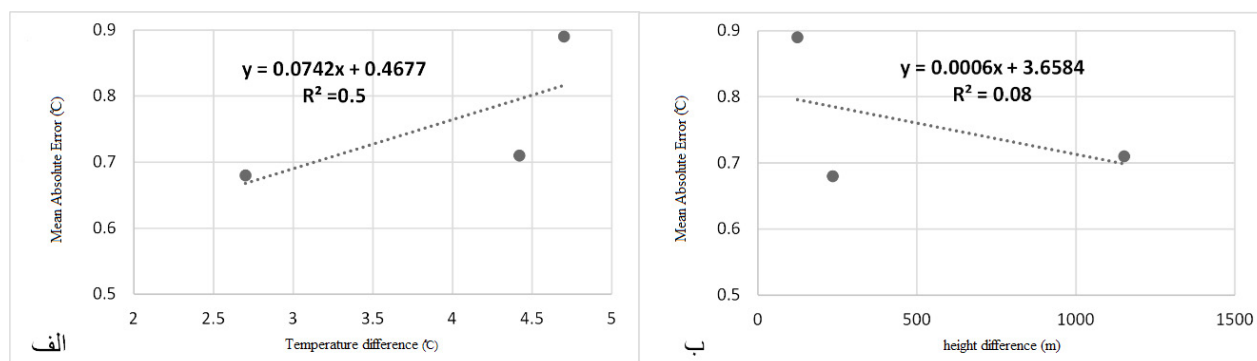
لازم به ذکر است که دقت شبیه‌سازی در ایستگاه‌های مختلف علاوه بر اختلاف شرایط اقلیمی ایستگاه با سلول HadCM3 تحت تأثیر عوامل دیگری نظیر کیفیت تهیه داده‌ها، جابه‌جایی ایستگاه‌ها، اثرات شهری شدن و سایر عوامل محلی که توسط مدل‌های بزرگ مقیاس در نظر گرفته نمی‌شوند و ... می‌باشد. بنابراین بالاتر بودن دقت ایستگاه مهرآباد می‌تواند به دلیل کیفیت بالاتر تهیه داده‌ها در این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها باشد. براساس نتایج شکل

جدول ۲- متغیرهای پیش‌بینی کننده منتخب برای هر متغیر پیش‌بینی شونده

Table 2. selected predictor variables for each predicted variable

ایستگاه station	متغیر پیش‌بینی شونده Predicted variable	متغیر پیش‌بینی کننده Predictor variable
	بارش Rain	P-z, P5-z, R500, Rhum
مهرآباد Mehrabad	دمای بیشینه Maximum temperature	P5-z, P500, P8-u, Shum, Temp
	دمای کمینه Minimum temperature	P-v, P5-f, P500, P8-u
شمال تهران Shomaletahran	بارش Rain	P-z, P5-z, P500, Rhum
	دمای بیشینه Maximum temperature	P500, P8-u, Shum, Temp
	دمای کمینه Minimum temperature	P-v, P5-u, P500, Shum
آبعلی Abali	بارش Rain	P5-z, P5-f, P500, Rhum
	دمای بیشینه Maximum temperature	P-v, , P5-z, P500, Temp
	دمای کمینه Minimum temperature	P-zh, P5-z, P500, P8-u
شهرستانک Shahrestanak	بارش Rain	P5-u, P5-z, P500, P5-zh, Rhum
سیرا Sira	بارش Rain	P-z, P5-f, P5-z, P500, Rhum
بیلقان Bilaghan	بارش Rain	P-z, P5-z, P500, R500, Rhum

P-z: تاوایی سطحی، P-v: سرعت نصف‌النهاری سطحی، P-zh: واگرایی سطحی، P5-f: قدرت جریان در ۵۰۰ هکتوپاسکال، P5-u: سرعت مداری در ۵۰۰ هکتوپاسکال، P5-z: تاوایی در ۵۰۰ هکتوپاسکال، P500: ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال، P5-zh: واگرایی در ۵۰۰ هکتوپاسکال، P8-u: سرعت مداری در ۸۵۰ هکتوپاسکال، R500: رطوبت ویژه یا نسبی در ۵۰۰ هکتوپاسکال، shum: رطوبت ویژه سطحی، Rhum: رطوبت نسبی سطحی، Temp: متوسط دما در ارتفاع دو متری.



شکل ۲- الف- رابطه خطای دما با اختلاف دما، ب- رابطه خطای دما با اختلاف ارتفاع

Fig 2. A, the relationship between Mean Bias Error for temperature and temperature difference, B- the relationship between Mean Bias Error for temperature and elevation difference

جدول ۳- مقادیر MBE دما (درجه سانتی گراد) و بارش (درصد) برای دوره پایه ایستگاه‌ها

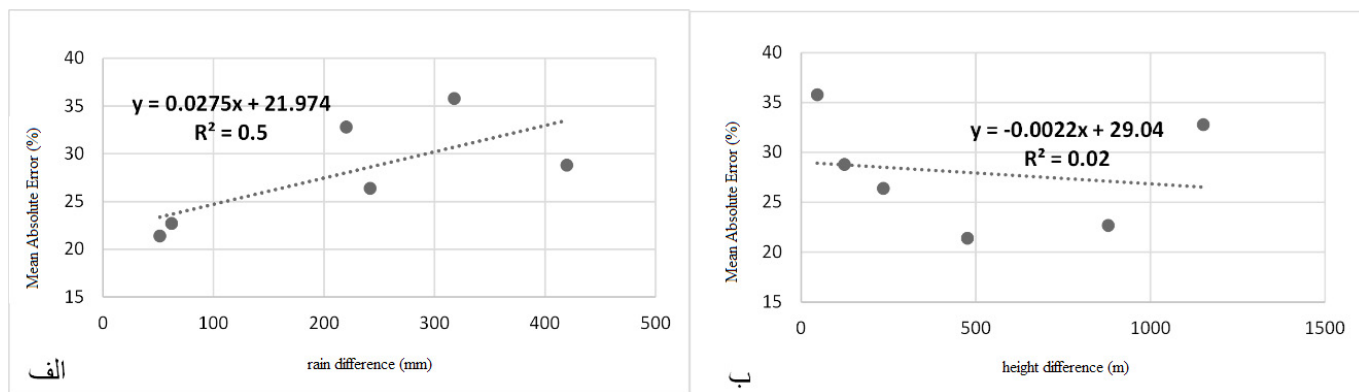
Table 3. the values MBE for temperature (°C) and precipitation (%) for basic period stations

ایستگاه Station	شاخص Index	دوره آماری Period	مقادیر اختلاف میانگین در فصول مختلف Mean bias error in different season			
			بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter
مهرآباد Mehrabad	دمای بیشینه Maximum temperature	1961-2001	-1	-0.3	-0.4	0.5
	دمای کمینه Minimum temperature		-1.1	0.1	-0.3	-0.6
	بارش Rain		-25.7	19.4	15.1	-21.8
شمال تهران Shomaletehran	دمای بیشینه Maximum temperature	1988-2001	-1.3	0	-0.6	0.8
	دمای کمینه Minimum temperature		-0.9	0.2	0.2	1.5
	بارش Rain		29	3.6	50	3.2
آبعلی Abali	دمای بیشینه Maximum temperature	1983-2001	-2	0.5	-1.1	0.3
	دمای کمینه Minimum temperature		-0.7	0.1	-0.3	0.1
	بارش Rain		13.5	-13.3	35.2	-23.5
شهرستانک Shahrestanak	بارش Rain	1970-2001	-4.8	-9.7	11.5	-13.8
سیرا Sira	بارش Rain	1970-2001	4.4	13.3	24.1	-6.4
بیلقان Bilaghan	بارش Rain	1970-2001	-7	-20.6	49.2	23.4

جدول ۴- مقادیر MAE و اختلاف عناصر اقلیمی برای هر ایستگاه

Table 4. model error values and climate variables difference for each station

ایستگاه station	اختلاف ارتفاع (m) Elevation difference	اختلاف دما (°C) Temperature difference	خطای دما (°C) Temperature bias	اختلاف بارش (mm) Rain difference	خطای بارش (%) Rain bias
مهرآباد Mehrabad	124	4.7	0.89	419.5	28.8
شمال تهران Shomaletehran	235	2.7	0.68	241.5	26.4
آبعلی Abali	1151	4.4	0.71	220	32.8
شهرستانک Shahrestanak	879	-	-	62	22.7
سیرا Sira	476	-	-	51.3	21.4
بیلقان Bilaghan	46	-	-	317.6	35.8



شکل ۳- الف- رابطه خطای بارش با اختلاف بارش، ب- رابطه خطای بارش با اختلاف ارتفاع

Fig 3. A, the relationship between Mean Bias Error for rain and rain difference, B- the relationship between Mean Bias Error for rain and elevation difference

جدول ۵- تغییرات دما (درجه سانتی گراد) در دوره‌های آتی

Table 5. change in temperature (C) in future period

ایستگاه station	دوره مطالعاتی Study period	تغییرات دمای بیشینه Change in maximum temperature	تغییرات دمای کمینه Change in minimum temperature
مهرآباد Mehrabad	2011-2040	1.12	0.29
	2041-2070	2.42	1.08
	2071-2099	4.58	2.34
شمال تهران Shomaletehran	2011-2040	0.87	0.92
	2041-2070	2.17	1.88
	2071-2090	4.44	3.22
آب‌علی Abali	2011-2040	0.7	0.57
	2041-2070	1.97	1.43
	2071-2099	4.21	2.85

در ماه‌های فوریه و ژوئن به ترتیب ۲/۲۵ و ۱/۵۹ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه آب‌علی بیش‌ترین افزایش در ماه مارس برابر ۱/۶۷ درجه سانتی‌گراد بدست آمد.

در آینده میانی (۲۰۴۱-۲۰۷۰) افزایش دمای بیشینه و کمینه در ایستگاه مهرآباد به ترتیب ۲/۴۲ و ۱/۰۸ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه شمال تهران این مقادیر به ترتیب ۲/۱۷ و ۱/۸۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. تغییرات دمای بیشینه در ایستگاه آب‌علی کمتر از دو ایستگاه دیگر و برابر ۱/۹۷ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. هم‌چنین ۱/۴۳ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای کمینه برای این ایستگاه پیش‌بینی شد. بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در ایستگاه مهرآباد، شمال تهران و آب‌علی در ماه ژوئن به ترتیب برابر ۴/۱۳، ۳/۸۷ و ۳/۷۳ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. هم‌چنین بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در ایستگاه مهرآباد و شمال تهران در ماه‌های ژوئن و ژانویه برابر ۳/۰۵ و ۳/۳۷ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه آب‌علی برابر ۲/۲۵ و در ماه مارس مشاهده شد.

در آینده دور (۲۰۷۱-۲۰۹۹) برای همه ماه‌ها افزایش دما پیش‌بینی شد به‌طوری‌که تا سال ۲۰۹۹ حدود ۴ درجه سانتی‌گراد

(۳) در منطقه مطالعاتی دقت شبیه‌سازی بارش به اختلاف ارتفاع ایستگاه‌های مطالعاتی با متوسط ارتفاع سلول HadCM3 بستگی نداشت.

از آنجاییکه مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش در برخی ماه‌ها دارای بیش برآورد و در برخی ماه‌ها دارای کم برآورد بود، بنابراین به‌منظور از بین بردن اثر خطای مدل در نتایج پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی، سناریوهای دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش برای دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۶۱) و آتی ایجاد شد و مورد مقایسه قرار گرفت.

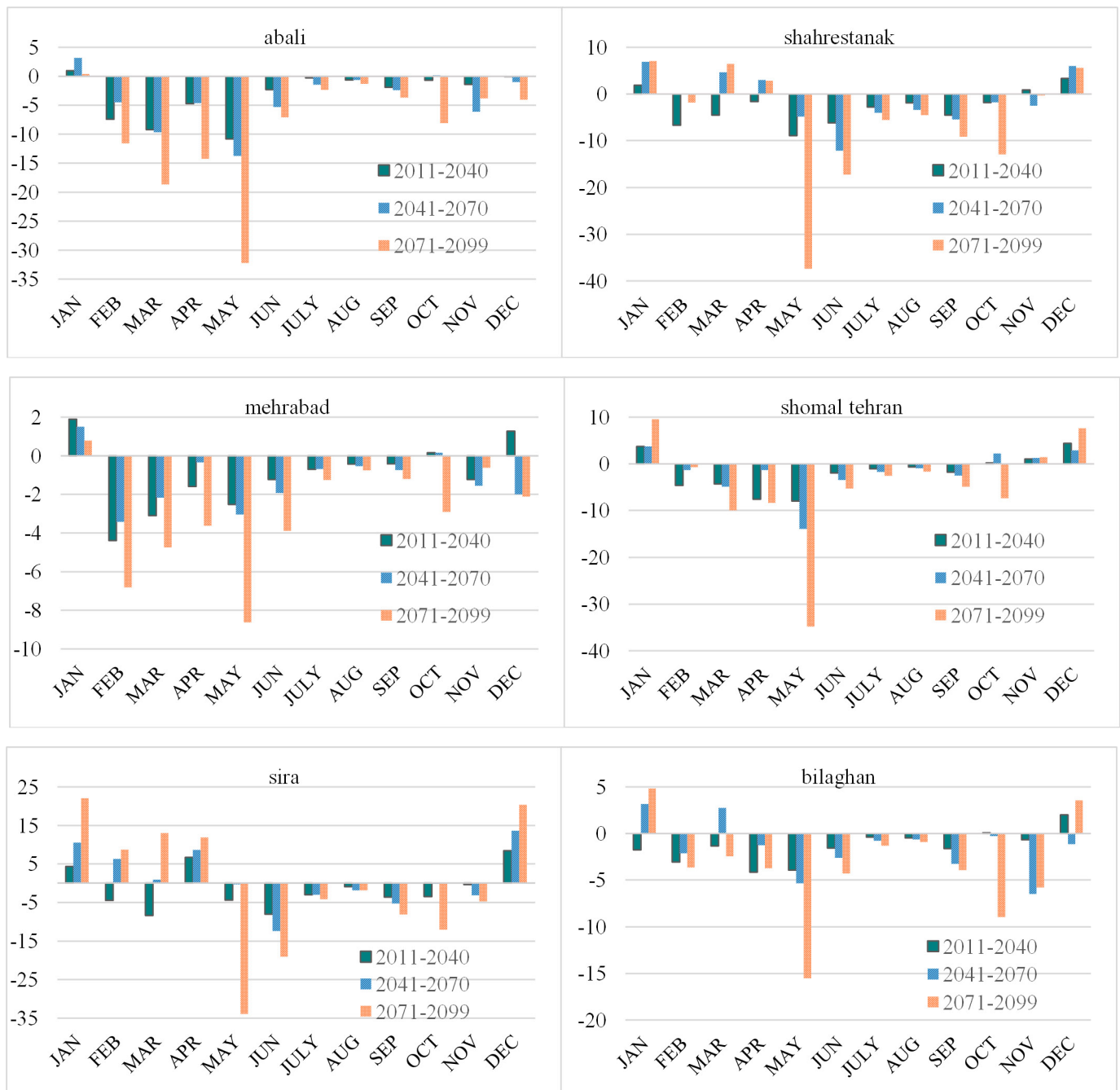
مقادیر دمای بیشینه و کمینه دوره آتی هر ایستگاه در جدول (۵) ارائه شده است. براین اساس در همه ایستگاه‌های منتخب برای هر سه دوره افزایش دمای بیشینه و کمینه پیش‌بینی شد.

در آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۱) بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در ایستگاه مهرآباد مربوط به ماه آوریل ۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه آب‌علی و شمال تهران بیش‌ترین افزایش مربوط به ماه فوریه به ترتیب برابر ۱/۷۷ و ۲/۲۹ درجه سانتی‌گراد بود. هم‌چنین بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در ایستگاه‌های شمال تهران و مهرآباد

ماه‌های ژانویه و مارس بدست آمد.

نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش براساس سناریوی A2 برای هر سه دوره در شکل (۴) بصورت نمودار آورده شده است. بر این اساس در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه در ماه‌های مربوط به فصل زمستان (ماه‌های دسامبر و ژانویه) افزایش بارش و در ماه‌های مربوط به فصل تابستان و پاییز کاهش بارش پیش‌بینی شد. بطورکلی در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه تا سال ۲۰۹۹ کاهش بارش دیده شد

افزایش دمای بیشینه بدست آمد. بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در ایستگاه‌های مهرآباد و آبعلی در ماه ژوئن و برابر ۷/۱۵ و ۶/۷۴ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه شمال تهران بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در ماه سپتامبر برابر ۶/۳۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. هم‌چنین بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در ایستگاه مهرآباد برابر ۴/۷۳ و در ماه ژوئن مشاهده شد. بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در ایستگاه‌های شمال تهران و آبعلی ۴/۰۹ و ۳/۸۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در



شکل ۴- تغییرات بارش پیش‌بینی شده برای سه دوره آتی، ایستگاه‌ها

Fig 4. predicted change for rain in three period for future of stations

جهت (افزایش دما و کاهش بارش) می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که پدیده تغییر اقلیم در حال وقوع است و در دراز مدت تأثیر زیادی بر وضعیت اقلیمی منطقه خواهد داشت در نتیجه پیشنهاد می‌شود که در مطالعات مدیریتی مختلف بخصوص در مدیریت منابع آب این مسئله در نظر گرفته شود.

منابع

1. Abbasi, M. 2009. Assessment of basin practices using HEC-HMS Model (Case study: KAN sub-basin in Tehran Province). Final Report of Research Plan, Agriculture Research and Education Organization. (In Persian)
2. Ahmadi, A., H. Ghasemieh and B. Ghermezcheshmeh. 2014. Assessment statistical downscaling SDSM in Seasonal and Annual ways (Case Study: synoptic station of Babolsar). Second National Conference on Water Crisis, Iran, Shahrekord. (In Persian)
3. Ahmadi, M. 2014. Analyzing Impact of Climate Change on Annual Discharge in Qorantalar Watershed. MSc thesis. (In Persian)
4. Babaeian, I. Zarghami, M. Koochi, M. Babaeian, O. Karimian, M. Modirian, R. 2014. Water Resources Assessment over Gharaghom Catchment under Climate Change (Case Study of Daregaz Sub-basin). Journal of Soil and Water. 27(5), 907-918. (In Persian)
5. Dastranj, A. Shahbazi, A. Mohseni Saravi, M. Salehnasab, A. Jafari, S. 2016. Climate Modeling and Comparison of changes in climatic parameters using SDSM in the northern and southern sides of the alborz. Journal of Iran-Watershed Management Science and Engineering. 10(32), 11-26. (In Persian)
6. Dibike, B. Y. Coulibaly. P. 2006. Temporal neural networks for downscaling variability and extremes. Neural networks. 19: 135-144.
7. Ghermezcheshmeh, B. 2014. Assessment of Downscaling GCM Models Uncertainty by Analyzed on Temperature and Precipitation (Case Study: Urmia Lake Basin). PHD thesis. (In Persian)
8. Ghermezcheshmeh, B. Rasuli, A. Rezaei Banafsheh, A. Massah Bovani, A. Khorshiddust, A. 2014. Impact assessment of morpho-climatic parameters in accuracy of SDSM. Journal of Watershed Engineering and Management. 6(2), 155-164. (In Persian)
9. Goudarzi, M. Salahi, B. Assad Hosseini, S. 2015.

که بیش‌ترین مقدار کاهش مربوط به ایستگاه مهرآباد (۱۸/۵ درصد) و کم‌ترین مقدار آن برای ایستگاه سیرا (۱/۲۷ درصد) بدست آمد. هم‌چنین در ایستگاه‌های شهرستانک، شمال تهران، بیلقان و آعلی به ترتیب ۱۲/۴۵، ۱۱/۷۸، ۱۱ و ۱/۶۳ درصد کاهش بارش تا سال ۲۰۹۹ پیش‌بینی شد. لازم به ذکر است که در ایستگاه سیرا برای دوره میانی (۲۰۴۱-۲۰۷۰) دو درصد افزایش بارش نسبت به دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۶۱) پیش‌بینی شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی متغیرهای دما و بارش با نتایج پژوهش مدرس و سرحدی [۱۴] در ایستگاه‌های سینوپتیک کل کشور، بابائیان [۴] در حوضه قره‌قوم، طائی سمیرمی [۱۷] در حوضه آبخیز بار نیشابور مطابقت داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش پیش‌بینی متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش برای حوضه کن در سه دوره آینده نزدیک، آینده میانی و آینده دور بود. برای این منظور مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM و داده‌های HadCM3 تحت سناریو A2 بکار گرفته شد. طبق نتایج بدست آمده در مورد انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب جهت واسنجی مدل پیش‌بینی‌کننده‌های ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی سطحی در شبیه‌سازی فرآیند بارش تأثیرگذار بودند. هم‌چنین ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال و دما در ارتفاع دو متری همبستگی خوبی با دمای بیشینه و کمینه داشتند. که در مطالعه‌ای که توسط قرمزچشمه [۷] در شمال غرب کشور انجام شد نیز این متغیرها همبستگی بالایی با دما و بارش داشتند هم‌چنین در مطالعه‌ای که توسط احمدی [۳] در شمال کشور انجام شد، متغیرهای منتخب برای دما مشابه تحقیق حاضر بود اما متغیرهایی که با بارش همبستگی بالایی داشتند با متغیرهای منتخب در این تحقیق متفاوت بود. بررسی دقت شبیه‌سازی دما و بارش در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که دقت شبیه‌سازی متغیر دما بالاتر از بارش بوده است که اغلب محققان نیز (از جمله [۱۱]، [۲۲]، [۹]، [۵]، ...) به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند. هم‌چنین در ایستگاه‌هایی که متوسط متغیرهای دما و بارش به متوسط آن‌ها در سلول HadCM3 نزدیک تر بود شبیه‌سازی با دقت بالاتری انجام شد. علاوه بر این دقت مدل تحت تأثیر شرایط محلی و کیفیت داده‌ها نیز می‌باشد بطوریکه در ایستگاه مهرآباد با وجود بالاترین اختلاف بارش شبیه‌سازی آن با دقت مناسبی انجام شد. هم‌چنین بالاترین مقادیر خطا برای ایستگاه‌های مطالعاتی برای فصول بهار و پاییز بدست آمد که با توجه به تأثیر شرایط محلی در این فصول نتایج بدست آمده منطقی به نظر می‌رسد.

نتایج حاصل از پیش‌بینی متغیرهای دما و بارش افزایش دما را برای هر سه ایستگاه سینوپتیک منطقه نشان داد و هم‌چنین کاهش بارش برای تمامی ایستگاه‌های منتخب تا سال ۲۰۹۹ پیش‌بینی شد. بیش‌ترین افزایش دما و کاهش بارش برای ایستگاه مهرآباد پیش‌بینی شد و کم‌ترین کاهش بارش برای ایستگاه سیرا بدست آمد. از آنجایی که در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی نتایج تغییرات دما و بارش در یک

Environment). (In Persian)

17. Taei Semiromi, S. Moradi, H. Khodaghali, M. 2015. Predicted Change in some of Climate Variables using downscale model LARS-WG and output of HadCM3 model under different scenarios. Journal of watershed Engineering and Management. 7(2), 145-156. (In Persian)

18. Tryhorn, L. Degaetano, A. 2011. A comparison of techniques for downscaling extreme precipitation over the northeastern united states. International journal of climatology. 31(13): 1975-1989.

19. Vidya, R. Dattatray, G. 2016. Assessment of Climate Change for Precipitation and Temperature Using Statistical downscaling Methods in Upper Godavari River Basin, India. Journal of Water Resource and Protection. 8(1):31-45.

20. Wilby, R. L. Dawson, C. W. Barrow, E. M. 2002. SDSM a decision support tool for the assessment of regional climate change impact. Journal of environmental modeling and software. 17(2):145-175.

21. Wilby, R. L. Dasown, C. 2013. Statistical Downscaling model-decision centric (SDSM-DC)

22. Yang, T. Li, H. Wang, W. XU, C. Y. Yu, Z. 2012. Statistical downscaling of extreme daily precipitation, evaporation, and temperature and construction of future scenarios. Journal of Hydrological Processes. 26(23): 3510-3523.

Performance Assessment of LARSE-WG and SDSM Downscaling Models in Simulation of Climate Change in Urmia Lake Basin. Journal of Iran-Watershed Management Science and Engineering. 9(31), (In Persian)

10. Harpham, H. Wilby, R. L. 2005. Multi-site downscaling of heavy daily precipitation occurrence and amount. Journal of Hydrology. 312(1): 235-255.

11. Hylock, M. R. Cawley, G. C. Haarpham, C. Wilby, R. L. Goodess, C. M. 2006. Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: a comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. International Journal of Climatology. 26(10): 1397-1415.

12. IPCC. 2007. Synthesis Report 2007:AR4. Cambridge university press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

13. Liu, Z. Xu, Z. 2015. Climate Change Scenarios generated by using GCM Outputs and Statistical Downscaling in an Arid Region. Journal of Desert. 20(2):101-115.

14. Moddarres, R. and Sarhadi, A. 2009. Rainfall trend analysis of Iran in the last half of the twentieth Century. Journal of Geophysical Research. 114(3):1-9.

15. Samadi, Z. 2009. Impact of Regression-Statistical Downscaling Methods (with uncertainty) on river runoff (Case Study: Upstream of Karkheh Basin). PHD thesis. . (In Persian)

16. Shams, R. Alimohammadi, S. Dehghanipour, A. 2014. Assessment of capability SDSM and LARS-WG models in downscaling of general circulation models (Case Study: synoptic stations MEHRABAD). Second National Conference on Water Crisis (Climate Change, Water and

Abstract

Evaluating the Performance of SDSM Model in Different Stations and Predict Climate Variables for Future

M. Hajimohammadi¹, B. Ghermezcheshmeh² and A. Azizian³

Received: 12-11-2016 Accepted: 30-05-2017

According to the fourth report from the IPCC, it was confirmed that climate change and its impacts on drought, floods, health problems and food shortages is real. Therefore, understanding of how climate change could be significant in the management of resources, especially water resources management. Atmosphere-Ocean Global Circulation Models (AOGCM) are tools for predicting the future climate variables and it must be downscaled its output for the studies on the local scale. In statistical downscaling methods, output of GCM grid was transferred to station. The accuracy of downscaling is dependent on location of weather stations in GCM grid. The main objective of this study was to predict temperature and precipitation by using the HadCM3 model under the A2 emission scenario and statistical downscaling model (SDSM) to year 2099. Furthermore, relation between accuracy of SDSM downscaling model in different station of KAN basin which is located in one grid was evaluated. The results showed at the station that mean of temperature and rain was closer than to mean of temperature and rain of HadCM3 grid, simulation were obtained with higher accuracy. Finally, temperature and precipitation for this three periods (2011-2040), (2041-2070) and (2071-2099) were predicted and compared with base period (1961-2001). The results showed temperature will increase and precipitation will decrease by 2099 in KAN watershed.

Keywords: *Downscaling, HadCM3 grid, SDSM statistical downscaling, KAN watershed.*

1. Student in M. Sc., Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University
 2. Corresponding Author and Assistant Professor, Education and Extension Organization (AREEO), Soil Conservation and Watershed Management Institute, Email: Baghergh@gmail.com
 3. Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University.