

مقدمه

تغییر اقلیم و اثرات احتمالی آن بر روی بخش‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی و زیست‌محیطی، به‌عنوان یکی از پیامدهای مضر فن‌آوری بشر مطرح شده است. مطالعه پارامترهای اقلیمی نظیر دما و بارندگی، الویت بیشتری نسبت به سایر پارامترها در آشکارسازی تغییرات اقلیمی دارند چرا که دارای تغییرات زمانی و مکانی قابل‌ملاحظه‌ای هستند. باتوجه به این‌که منابع آب در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیم قرار دارند، بررسی تغییرات این پارامترها در سال‌های آینده می‌تواند راهگشای معضلاتی چون خشک‌سالی، سیلاب‌های ناگهانی، تبخیر زیاد و تخریب‌های زیست‌محیطی باشد. در حال حاضر مدل‌های جهانی اقلیم (GCM²) تنها ابزاری هستند که اثر تغییر اقلیم در سطح جهانی را برای عناصر اتمسفری در شبکه‌های بزرگ مکانی شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها عناصر اتمسفری را در شبکه‌هایی به ابعاد ۱۵۰ × ۱۵۰ تا ۲۵۰ × ۲۵۰ کیلومتر مربع شبیه‌سازی می‌کنند [۱۱]. به همین دلیل این مدل‌ها نمی‌توانند اثر شرایط محلی نظیر توپوگرافی، پوشش گیاهی و غیره را روی متغیرهای اتمسفری نظیر دما، بارش و غیره دخالت دهند [۲۲]. لذا به ابزاری نیاز است که بتوان از داده‌های مدل عمومی گردش جو در مقیاس محلی استفاده نمود، به همین منظور دانشمندان روش‌های متعددی ابداع نموده‌اند که به مجموع این روش‌ها، ریزمقیاس‌گردانی می‌گویند [۱۱]. در همین راستا ویلی و داوسون (۲۰۰۷) کلیه روش‌های ریزمقیاس‌گردانی را در چهار گروه دینامیکی، سینوپتیکی، آماری و تابع انتقالی طبقه‌بندی کردند. از آنجا که مدل‌های دینامیکی و سینوپتیکی جهت شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی نیاز به پردازشگرهای بسیار پیشرفته و ابزارهای پیچیده دارند، امروزه مدل‌های آماری خصوصاً تابع انتقالی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ این گروه نیز برحسب این‌که بر پایه روابط آماری یا ریاضی استوار باشند، به دو دسته مدل‌های آماری و مدل‌های ریاضی دینامیکی تقسیم بندی می‌شوند. مدل SDSM یکی از مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی تابع انتقالی آماری به حساب می‌آید [۲۴]. این مدل که از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس‌سازی بوده کاربرد بسیاری در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژیکی، جغرافیایی و زیست‌محیطی دارد [۲۵]. در این روش از الگوهای گردش روزانه بزرگ مقیاس مانند متغیرهای رطوبت اتمسفر در مقیاس ایستگاهی

 کاربرد روش ریزمقیاس‌گردانی آماری در برآورد
 تغییر اقلیم حوزه کرخه تا محل سد
مسعود گودرزی^۱، مجید حسینی^۱ و منصورپاره کار^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۰

چکیده

رشد سریع فعالیت‌های صنعتی و در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده است که به آن تغییر اقلیم اطلاق می‌شود. هدف این پژوهش بررسی تاثیرات تغییرات اقلیمی بر روی بارش و دمای بیشینه و کمینه حوزه کرخه در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی است. بدین منظور، ابتدا با استفاده از سناریوهای اقلیمی مدل‌های جفت شده اقیانوسی - اتمسفری گردش عمومی جو، در دوره پایه ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰، به انتخاب مدل معرف منطقه پرداخته شد. مقایسه شاخص‌های عملکرد مدل‌های مختلف AOGCM در شبیه‌سازی دما و بارش نشان داد که در مجموع می‌توان مدل HadCM3 را به عنوان مدلی مناسب، در نظر گرفت. با در نظر گرفتن ایستگاه‌های سینوپتیکی و کلیماتولوژی منطقه، مراحل ریزمقیاس‌گردانی خروجی مدل AOGCM معرف صورت پذیرفت. برای ریزمقیاس‌نمایی از مدل SDSM استفاده شد. نتایج نهایی برای آینده نزدیک (۲۰۱۰-۲۰۳۹) نشان دهنده کاهش حدود ۲ درصدی بارش در ایستگاه‌های سینوپتیکی کرمانشاه و خرم‌آباد و کاهش ۴ درصدی آن در ایستگاه حمیدیه می‌باشد. افزایش درجه حرارت حداکثر برای ایستگاه‌های فوق‌ترتیب ۱۱ و ۹ و ۳ درصد و افزایش درجه حرارت حداقل بترتیب ۲۴ و ۴ و ۱ درصد می‌باشد. پیش‌بینی‌ها برای آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۰) نشان می‌دهد، هرچه از شمال حوزه به سمت جنوب (مناطق سردتر به گرمتر) حرکت کنیم تاثیر تغییرات اقلیمی بر درجه حرارت حداکثر و حداقل کمتر خواهد شد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌گردانی، حوزه کرخه، مدل SDSM، HadCM3، AOGCM.

۱- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی massoudgoodarzi@yahoo.com

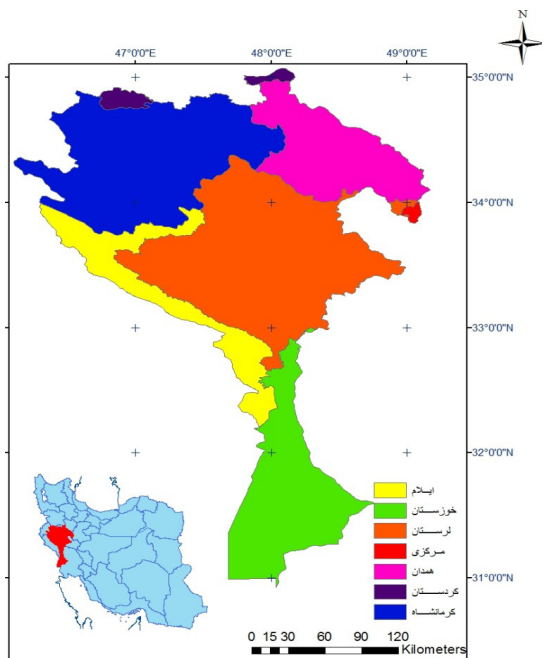
استفاده می‌شود و در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم هزینه از تغییرات اقلیمی باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و در مورد مولدهای هواشناسی تصادفی و روش‌های توابع تغییرشکل یافته نتایج قابل قبولی ارائه داده است [۲۲]. باتوجه به این که مدل‌های جهانی عموماً عناصر اقلیمی را تا آستانه سال ۲۱۰۰ میلادی شبیه‌سازی نموده‌اند، امکان استفاده از داده‌های مدل‌های جهانی به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای مورد نظر نظیر دما و بارش در سطح حوزه‌های آبخیز و حتی مقیاس نقطه‌ای (ایستگاه‌های هواشناسی) وجود دارد. مالکوم و همکاران (۲۰۰۶) شش مدل آماری و تابع انتقالی از جمله مدل SDSM و دو مدل دینامیکی را برای شبیه‌سازی بارش‌های سنگین در دو ایستگاه هواشناسی شمالغرب و جنوب شرق کشور انگلستان مورد ارزیابی قرار دادند نتایج حاصل نشان داد که از بین مدل‌های آماری، مدل SDSM در بسیاری از موارد نتایج بهتری نسبت به بقیه ارائه می‌نماید. فیلیپ و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی تغییرات دما در شمال کانادا با استفاده از دو مدل گردش عمومی HadCM3 و CGCM2 تحت دو سناریوی A2 و B2 و با استفاده مدل ریزگرذانی SDSM پرداختند، نتایج حاصل نشان داد که در منطقه مورد مطالعه در دوره ۲۰۷۷-۲۰۹۹ فصل زمستان نسبت به فصل تابستان و همچنین سناریوی A2 نسبت به B2 دمای گرم‌تری را دارا می‌باشد و مدل HadCM3 نسبت به مدل CGCM2 دارای دقت بیشتری است. عبدو و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل HadCM3 تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 و ریزمقیاس‌گردانی آماری به ارزیابی اثرات تغییرات دما و بارش بر هیدرولوژی در حوزه گیلجل ابی^۱ در اتیوپی پرداختند نتایج آن‌ها نشان داد که حجم رواناب برای فصل بارندگی در دوره زمانی (۲۰۹۹-۲۰۷۱) با سناریوهای A2 و B2 به ترتیب ۱۱/۶ و ۱۰/۱ درصد کاهش خواهد یافت. گودرزی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تغییرات آب و هوایی با استفاده از روش ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM تحت سناریوهای A2 و B2 در کرمانشاه پرداختند مقایسه بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان داد که مدل SDSM قادر به نشان دادن بهتر شبیه‌سازی حداقل و حداکثر درجه حرارت است در حالی که برای شبیه‌سازی بارش کمی پایین‌تر تخمین می‌زند اما هنوز با توجه به ابزارهای آماری قابل قبول است. چن و همکاران (۲۰۱۲) به مقایسه و ارزیابی مدل‌های HadCM3 و CGCM3 و روش‌های ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM و SVM^۲ تحت سناریوی A2 و مدل‌های هیدرولوژیکی در مطالعه تغییرات آب و هوایی و تأثیر آن بر رواناب در حوزه‌هانجینگ^۳ در کشور چین پرداختند نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش عملکرد بهتر از SVM دارد. جوو و همکاران (۲۰۱۴) به تأثیرات تغییرات اقلیمی بر اکوهیدرولوژی حوزه رودخانه جیوشو^۴ در کشور چین با استفاده از مدل HadCM3 و روش مقیاس‌گردانی

- 1- Gilgel Abay
- 2- Smooth Support Vector Machine
- 3- Hanjiang
- 4- Guishui

SDSM تحت دو سناریوی A2 و B2 در دوره‌ی ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ پرداختند نتایج حاصل از بررسی آنان نشان داد که درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه و تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده در ۹۰ سال آینده دارای روند افزایشی است در حالی که بارش و رواناب سطحی به‌طور کلی نشان‌دهنده روند کاهشی در این حوزه است. صمدی و همکاران (۱۳۸۸) به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی، کارایی مدل SDSM را در حوزه آبخیز رودخانه قره سو مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که این مدل به منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش از توانایی مناسبی برخوردار است. گودرزی (۱۳۹۰) تأثیرات تغییر اقلیم را روی رواناب سطحی در سرشاخه‌های کرخه علیا با استفاده از مدل‌های SWAT و SDSM بررسی نمود و کاهش حدود ۱۹٪ رواناب را در این حوزه برای دوره‌های آبی پیش‌بینی نمود. اسپنانی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تغییر اقلیم در دوره‌های آبی به کمک مدل SDSM در حوزه بهشت‌آباد کارون شمالی پرداختند. نتایج حاصل بیانگر افزایش دمای حداقل و حداکثر و همچنین افزایش بارش به‌صورت وقایع حدی در حوزهمورد بررسی است. انصاری‌مقدم و حسامی‌کرمانی (۱۳۹۱) به پیش‌بینی بارش با استفاده از روش ریزمقیاس‌گردانی ASD^۵ و خروجی دو مدل اقلیم جهانی CGCM3 و HadCM3 در دریاچه ارومیه در سه دوره زمانی مختلف پرداختند نتایج با استفاده از خروجی مدل HadCM3 برای دوره زمانی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) کاهش بارش را نشان نداد. آقاشاهی و همکاران (۱۳۹۱) به معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به منظور ریزمقیاس‌سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم پرداختند نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM دارای عدم قطعیت کمتر و فرآیند شبیه‌سازی پیچیده‌تر است. حمیدیان‌پور و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از برونداد مدل HadCM3 به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوزه بارو طاغان نیشابور تحت دو سناریوی A2 و B2 و روش ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM پرداختند. نتایج تحقیق بیانگر افزایش دما و کاهش بارندگی تحت دو سناریوی A2 و B2 در دوره (۲۰۴۰-۲۰۱۱) در مقایسه با دوره پایه می‌باشد. آبکار و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از دو مدل گردش عمومی HadCM3 و CGCM1 پرداختند نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM توانایی لازم جهت شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی را دارد و استفاده از داده‌های مدل HadCM3 نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. زینتی و حسامی (۱۳۹۳) به مقایسه دو روش نروفازی و ASD در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در ایستگاه کرمان پرداختند نتایج افزایش درجه حرارت حداکثر و میانگین در دوره‌های آبی را نشان می‌دهد در حالیکه بارش روند یکسانی در دوره‌های مختلف ندارد و مدل در پیش‌بینی بارش ضعیف‌تر عمل می‌کند. قرمزچشمه و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی اثر عوامل مورفو- اقلیمی بر دقت

5- Automated Statistical Downscaling

متوسط ۱۷۶ متر مکعب در ثانیه (۵/۶ میلیارد متر مکعب در سال) ۱۱۵ هزار هکتار اراضی آبخور را در وضع موجود با رژیم طبیعی آبیاری تحت پوشش دارد. بر اساس مطالعات انجام شده، ۳/۶ میلیارد متر مکعب آب از محل سد مخزنی کرخه برای تأمین آب آبیاری حدود ۲۲۰۰۰۰ هکتار اراضی تحت پوشش شبکه مذکور، شامل ۷۲۰۰۰ هکتار از کرخه علیا و ۱۴۹۰۰۰ هکتار در کرخه سفلی پیش بینی شده است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران قابل مشاهده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig 1. location of the study area

ریزمقیاس گردانی مدل SDSM در هشت ایستگاه سینوپتیک در شمال غرب کشور پرداختند نتایج حاصل نشان داد که دقت مدل در ایستگاه‌های منتخب متفاوت بوده ولی شبیه‌سازی دما با دقت مناسب‌تری انجام گرفته و در برآورد بارشاز دقت کم‌تری برخوردار بوده است. لذا با توجه با اینکه حوزه آبخیز کرخه در چند دهه اخیر با کاهش آب مواجه شده است در این پژوهش سعی گردید با توجه به خروجی‌های مدل جهانی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 از مجموعه سناریوهای SRES چشم انداز تغییرات دما و بارش این حوزه آبخیز، در دهه ۲۰۲۰ (۲۰۳۰-۲۰۱۱) شبیه‌سازی گردد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

این حوزه از شمال به حوزه رودخانه‌های سیروان، قزل اوزن و قره‌چای از مغرب به حوزه رودخانه‌های مرزی ایران و عراق، از شرق به حوزه رودخانه دز و از جنوب به قسمتی از مرز غربی کشور محدود می‌گردد. طول مرز مشترک حوزه کرخه با حوزه سیروان ۲۱۰ کیلومتر، با قزل اوزن ۳۸ کیلومتر، با حوزه قره چای ۱۹۵ کیلومتر و نهایتاً با حوزه دز ۴۵۰ کیلومتر می‌باشد. متوسط بارندگی حوزه بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر متغیر است و نیمی از کل بارندگی سالیانه در زمستان نازل می‌شود و پس از آن بیشترین بارندگی مربوط به فصول پائیز و بهار است. ریزش‌های جوی در تابستان اندک بوده و عموماً از یک درصد کل ریزش سالیانه تجاوز نمی‌نماید. شبکه رودخانه کرخه از پنج شاخه اصلی به نام‌های قره سو، گاماسیاب، سیمره، کشکان و کرخه پائین تشکیل شده است. این پنج شاخه از به هم پیوستن سرشاخه‌ها و شاخه‌های فرعی دیگری بوجود می‌آیند و از منابع متفاوتی تغذیه می‌شوند (جدول ۱). رودخانه کرخه با دبی

جدول ۱- مشخصات زیرحوضه‌های اصلی کرخه

Table 1. characteristics of main sub-basins of Karkheh

Height (m) ارتفاع	Hydrometric station ایستگاه هیدرومتری	area (Km ²) مساحت	Main stream رودخانه اصلی
Max بیشینه	Min کمینه		
3346	1314	5354	Qarasu قره سو
3559	1304	10852	Gamasiab-dinavar گاماسیاب-دیناور
3272	990	4431	Seimareh سیمره
3600	739	9227	Kashkan کشکان
2591	555	8392	Seimareh سیمره
2702	146	4626	Karkheh کرخه

مواد و روش‌ها

مربوط به زراعت آبی مختلط با دیم با ۱۳/۷ درصد، مرتع متوسط با ۱۱/۵۷ درصد و جنگل نیمه متراکم با ۱۰/۶۲ درصد می‌باشد. اهمیت استراتژیک این حوزه از نظر مطالعات منابع آب و از طرفی احداث عظیم‌ترین سد مخزنی ایران که قسمت اعظم آب‌های خروشان آن به مصرف آبادانی حاصلخیزترین استان کشور می‌رسد، سبب شده تا بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه کرخه در اولویت قرار گیرد. بدین منظور، باید ریزمقیاس گردانی را در مقیاس یک ایستگاه هواشناسی و با استفاده از متغیرهای اقلیمی مناسب انجام داد و سپس مقادیر متغیرهای حاصل از خروجی مدل‌ها (در این تحقیق متغیرهای بارش و دما)، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. به همین منظور، با مطالعه‌ای که بر روی ایستگاه‌های مختلف حوزه انجام شد، ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، خرم آباد و ایستگاه‌های کلیماتولوژی حمیدیه و بستان به عنوان ایستگاه‌های مناسب در بالا دست و پایین دست حوزه کرخه برای ریزمقیاس گردانی انتخاب شدند. شکل ۲ پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده را در حوزه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۲- پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی

Fig 2. selected synoptic stations

در این پژوهش داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک، داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) و داده‌های مدل جهانی HadCM3 تحت دوسناریوی A2 و B2 مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک شامل: دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش روزانه از اول ژانویه سال ۱۹۶۱ تا پایان دسامبر ۱۹۹۰ جهت واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. بدین منظور این داده‌ها ابتدا به فرمت قابل قبول مدل SDSM تبدیل شدند. این مدل برای اولین بار توسط ویلی و همکاران در سال ۲۰۰۲ تهیه شده است که براساس ترکیبی از روش‌های رگرسیونی و تولید داده‌های آب و هوای مصنوعی برای کوچک مقیاس‌سازی می‌باشد که یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس‌سازی می‌باشد [۲۵]. داده‌های مدل HadCM3 همراه با داده‌های مشاهداتی مربوط به مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) نیز از طریق سایت این مرکز قابل دسترسی می‌باشند. این داده‌ها در شبکه‌هایی به ابعاد ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد خروجی این مدل‌ها بدون هیچ تغییری و به‌طور مستقیم قابل استفاده در مدل SDSM می‌باشند [۱]. جدول (۲) مشخصات مدل HadCM3 را نشان می‌دهد. جهت بررسی ابتدا از داده‌های ۳۰ ساله NCEP از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ که شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد، جهت کالیبره کردن و تعیین متغیرهای پیش‌بینی کننده استفاده شد. حال مدل کالیبره شده قادر است با کمک داده‌های بزرگ‌مقیاس NCEP اقدام به تولید داده‌های مصنوعی در بازه (۲۰۹۹-۱۹۶۱) نماید؛ اما در این داده‌های مصنوعی، سناریوهای گازهای گلخانه‌ای تأثیر ندارند، لذا مدل با بهره‌گیری از پیش‌بینی کننده‌های HadCM3 که خود سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (عمدتاً در این مدل دوسناریوی A2 و B2) را گنجانده‌اند و به‌طور همزمان و با توجه به سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، اقدام به ایجاد سناریوهای اقلیمی می‌نمایند؛ سپس با تطابق سناریوهای حاصل از مدل HadCM3 و داده‌های مصنوعی حاصل از پیش‌بینی کننده NCEP، نهایتاً داده‌های ریزمقیاس شده خروجی که دما و بارش روزانه ایستگاهی هستند، ارائه می‌گردند. بیشترین کاربری در این حوزه به ترتیب

جدول ۲- مشخصات مدل جفت شده جوی- اقیانوسی HadCM3

Table 2. characteristics of HadCM3

SRES simulated scenarios سناریوهای شبیه سازی شده	Simulation period دوره شبیه سازی	GHG simulation گازهای گلخانه ای	OGCM Resolution دقت	AGCM Resolution دقت	Model مدل
B2, B1, A2, A1	Control runs: 240 SRES scenarios: 1950-2099	CO2: 1860-1989 SO4: 1860-1989	2.5 × 3.75	2.5 × 3.75	HadCM3

منبع: IPCC, ۱۹۹۹ به نقل از آشفته و مساح‌بوانی، ۱۳۸۹: ۳۰

معیارهای ارزیابی عملکرد

جهت ارزیابی عملکرد مدل ریزگردانی SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای مورد بررسی از شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و همچنین ضریب تعیین (R^2) و ضریب همبستگی (R) استفاده شد که در ادامه به توضیح مختصری راجع به آنها پرداخته خواهد شد.

۱- ضریب تعیین: معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد [۲۴]:

$$R^2 = \frac{\sum_{K=1}^K X_K Y_K}{\sqrt{\sum_{K=1}^K X_K^2 \sum_{K=1}^K Y_K^2}} \quad (1)$$

۲- مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا: نشان‌دهنده میزان خطای مدل می‌باشند که بهترین مقدار آن‌ها برابر صفر است و از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند [۲۴]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (X_k - Y_k)^2}{K}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{K=1}^K |X_K - Y_K|}{K} \quad (3)$$

در روابط فوق X_K مقادیر مشاهداتی، Y_K مقادیر شبیه‌سازی شده و K تعداد داده‌ها می‌باشد.

۳- میانگین مربعات خطا: برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می‌شود که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند [۲۳]:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Obs_i - For_i)^2 \quad (4)$$

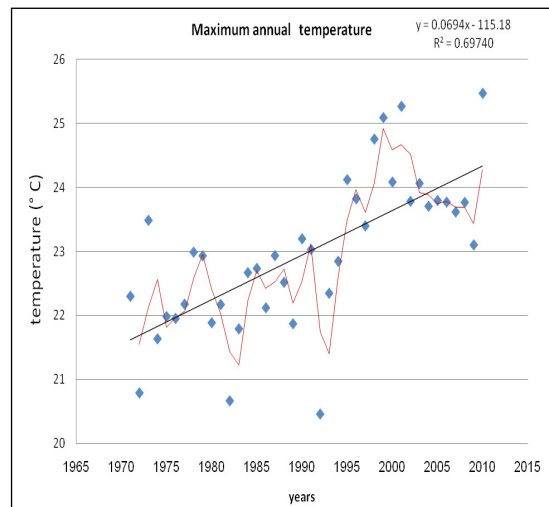
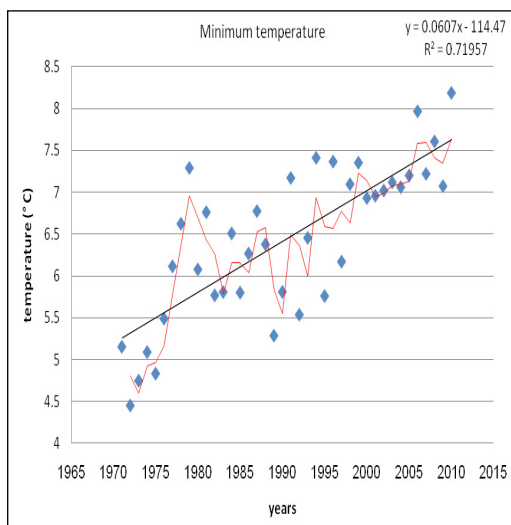
در روابط فوق Obs_i و For_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دما یا بارش در دوره پایه و n تعداد کل داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

۴- ضریب همبستگی: بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج برآورد شده مدل و داده‌های واقعی می‌باشد که بر اساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۵: ۵) در واقع ضریب همبستگی ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی بسیار کاربرد دارد [۲۰].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act}) (y_{est} - \bar{y}_{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act})^2 \sum_{i=1}^n (y_{est} - \bar{y}_{est})^2}} \quad (5)$$

که در آن، y_{act} : مقادیر مشاهداتی، \bar{y}_{act} : میانگین مقادیر مشاهداتی، y_{est} : مقادیر شبیه‌سازی شده و \bar{y}_{est} : میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد.

پس از ارزیابی عملکرد مدل SDSM با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و اطمینان از مناسب بودن مدل، داده‌های دهی ۲۰۲۰ با استفاده از مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 تولید می‌شود. پس از تولید داده‌های روزانه برای ۲۰ سال آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) از خروجی‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر مدل، میانگین‌گیری شده و میانگین ماهانه و دوره‌ای پارامترهای مذکور در ۲۰ سال آتی محاسبه می‌شود سپس تغییرات آن‌ها نسبت به مقادیر میانگین دوره پایه محاسبه شده و نمودارهای تغییرات دما و بارش



شکل ۳- تغییرات دراز مدت سالانه دمای حداقل (سمت چپ) و حداکثر (سمت راست) در دوره ۳۰ ساله ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ در ایستگاه کرمانشاه.
Fig 3. long-term changes of annual min. temp.(left), and max temp. (right) in a 30yr period 1971-2010 in Kermanshah station

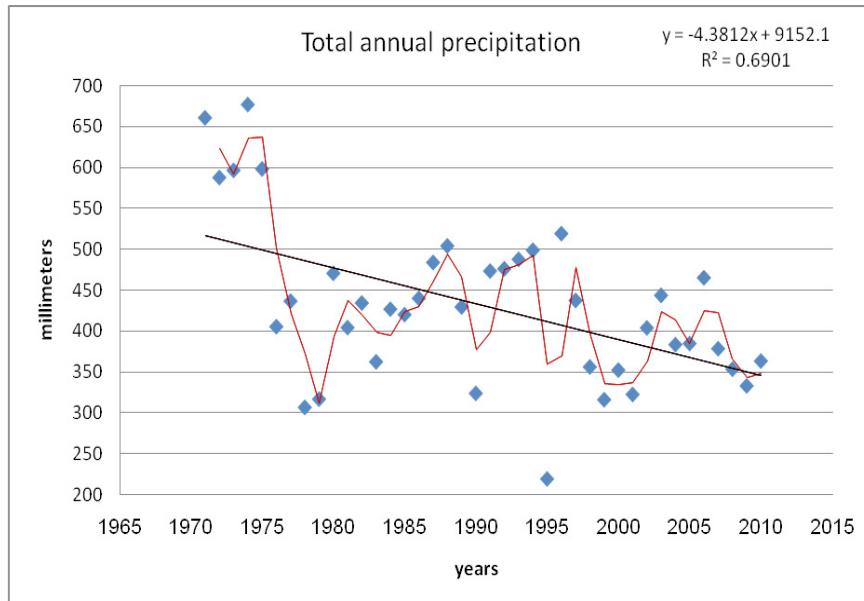
مربوط به هرکدام از ایستگاه‌ها ترسیم می‌گردد.

نتایج

بررسی پارامترهای اقلیمی منطقه

تغییرات دمای حداقل، متوسط و حداکثر دراز مدت سالانه در

ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ در اشکال ۳ تا نشان داده شده است. خط مشکی نشان دهنده روند داده‌ها و خط قرمز میانگین متحرک داده‌هاست. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، روند حداقل دما با یک شیب تند در حال افزایش بوده است. در مورد دمای حداکثر، شیب روند افزایش کمی ملایم تر بوده است. بررسی



شکل ۴- میانگین متحرک بارش سالانه در دوره ۳۰ ساله ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ در ایستگاه کرمانشاه

Fig 4. annual precipitation moving average in a 30yr period 1971-2010 in Kermanshah station

جدول ۳- لیست پیش بینی کننده‌های پایگاه داده

Table3. predictor list of data center (NCEP)

Predictors	Code	No.	Predictors	Code	No.
پیش بینی کننده‌ها	کد		پیش بینی کننده‌ها	کد	
500hPa Divergence واگرایی	P5zheu	14	Mean Sea Level Pressure فشار متوسط سطح	Mslpeu	1
850hPa Airflow Strength قدرت جریان هوا	P8_feu	15	Surface Airflow Strength جریان سطحی	p_feu	2
850hPa Zonal Velocity سرعت ناحیه ای	p8_ueu	16	Surface Zonal Velocity سرعت مداری سطحی	p_ueu	3
850hPa Meridional Velocity سرعت مداری	p8_veu	17	Surface Meridional Velocity سرعت مداری سطحی	P_veu	4
850hPa Vorticity سرعت	P8_zeu	18	Surface Vorticity سرعت سطحی	p_zeu	5
850hPa Geopotential ژئوپتانسیل	p850eu	19	Surface Wind Direction جهت باد سطحی	p_theu	6
850hPa Wind Direction جهت باد	p8theu	20	Surface Divergence واگرایی سطحی	p_zheu	7
850hPa Divergence واگرایی	P8zheu	21	500hPa Airflow Strength قدرت جریان هوا	p5_feu	8
Relative or Specific Humidity at 500hPa رطوبت نسبی	r500eu	22	500hPa Zonal Velocity سرعت ناحیه ای	P5_zeu	9
Relative or Specific Humidity at 850hPa رطوبت نسبی	r850eu	23	500hPa Meridional Velocity سرعت مداری	P5_veu	10
Near surface specific humidity رطوبت ویژه در نزدیک سطح	Shum	24	500hPa Vorticity سرعت	p500zeu	11
Near surface relative humidity رطوبت نسبی در نزدیک سطح	Rhumeu	25	500hPa Geopotential ژئوپتانسیل ۵۰۰	P500eu	12
Mean Temperature at 2m دمای متوسط	Tempeu	26	500hPa Wind Direction جهت باد	P5theu	13

Table 4. groups of predictors in each station

Station ایستگاه	Precipitation بارش			Tmax بیشینه دما			Tmin کمینه دما		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Bostan بستان	mslpaf	p8_zaf	p8_zaf	Mslpaf	mslpaf	p850af	p850af	p500af	Mslpaf
	p500af	shumaf	rhumaf	p850af	p500af	Rhumaf	rhumaf	p850af	p850af
	r850af	tempaf	shumaf	r850af	rhumaf	Shumaf	shumaf	Shumaf	r850af
Kermanshah کرمانشاه	p5zhaf	mslpaf	p5_vaf	Mslpaf	mslpaf	mslpaf	p_zhaf	p_zhaf	p_zhaf
	r500af	r500af	r500af	p_zaf	p850af	p_zhaf	p5zhaf	p8_vaf	p850af
	rhumaf	rhumaf	rhumaf	p850af	p8thaf	r850af	p8_vaf	p850af	r850af
Hamidieh حمیدیه	p5_faf	p5_uaf	p5thaf	p_zhaf	p5_zaf	mslpaf	p_vaf	p_zhaf	p850af
	p5zahf	p5zhaf	p8_zaf	p850af	p500af	rhumaf	p5_vaf	p5_vaf	r850af
	rhumaf	rhumaf	rhumaf	r850af	p850af	shumaf	p8_vaf	p8_vaf	Shumaf
Khoramabad خرم‌آباد	p5_vaf	mslpaf	p5_vaf	Mslpaf	p5_zaf	p_uaf	p_zhaf	p_zhaf	Mslpaf
	p8_zaf	p5_vaf	r500af	p_zaf	p500af	p500af	p850af	p8_vaf	p_zhaf
	r850af	r850af	r850af	p8_zaf	p850af	p850af	r850af	p850af	Rhumaf

p850af

دمای حداقل ارائه شده است. این گروه‌ها بر اساس بهترین نتایج همبستگی پارامتر پیش‌بینی کننده با پارامتر مشاهداتی، با استفاده از نرم افزار SDSM حاصل شده‌اند. با توجه به تحقیقات مختلف انجام شده به کمک مدل SDSM و استفاده اکثر محققان از گروه‌های سه تایی از پیش‌بینی کننده‌ها، در این تحقیق نیز معیار کار به همین شکل قرار گرفته است. اگر چه این مورد به این معنی نیست که ترکیب‌های دیگری از پیش‌بینی کننده‌ها مورد آزمون قرار نگرفته اند اما در بسیاری موارد مشاهده شد که باز هم ترکیب‌های سه تایی نتایج بهتری نشان داده‌اند و از سوی دیگر با توجه به وجود اختلاف‌ها در نتایج ترکیبات سه تایی، در این مطالعه کلیه پروسه با چند ترکیب سه تایی مورد بررسی قرار گرفت که در گزارش تحت عنوان مدل‌سازی معکوس ارائه گردید. در مرحله بعد با مقایسه نتایج بدست آمده نسبت به میانگین و واریانس داده‌های مشاهداتی، از بین گروه‌های A, B, C بهترین گروه از نظر میزان همبستگی و همچنین بهترین نتیجه، بر اساس نتایج مربوط به واسنجی و اعتبار سنجی مشخص گردید. نتایج مربوط به شاخص‌های آماری میانگین و واریانس داده‌های مشاهداتی در جدول ۶ و شاخص‌های مربوط به گروه‌های مختلف مذکور در دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی سه پارامتر در جداول ۷ تا ۱۰ ارائه گردیده است. در مورد بزرگی واریانس پارامتر بارندگی (جدول ۸) یکی از ایستگاه‌ها می‌توان گفت

داده‌های ثبت شده نشان داده است که کمترین مقدار دما مربوط به ماه ژانویه و بیشترین مقدار مربوط به ماه جولای است. بررسی روند و میانگین متحرک بارش در نمودار نشان دهنده روند کاهشی این پارامتر مهم اقلیمی در این دوره می‌باشد، همانطور که در شکل نشان داده شده است اگرچه در سال‌های اولیه بارش کل سالیانه به حدود ۷۰۰ میلی‌متر نیز نزدیک شده است، ولی در سال‌های اخیر، به کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر رسیده است.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق روش شناسی اتخاذ گردید تا بوسیله آن بتوان تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم را با حداقل خطای ممکن بررسی نمود. بدین منظور از مدل SDSM و روش مدل‌سازی معکوس استفاده گردید. مهم ترین مرحله در استفاده از این مدل انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها می‌باشد. پیش‌بینی کننده‌های ۲۶ گانه ذکر شده، یکی از ورودی‌های مدل SDSM می‌باشد که در این مطالعه با پیاده سازی فرآیند مدل‌سازی معکوس، حالات مختلف آنالیز شد و بهترین پیش‌بینی کننده‌ها بر اساس نتایج جدول ۵ بعنوان منبای ادامه روند تحقیق قرار گرفت. در این جدول، بهترین گروه‌های سه تایی از پیش‌بینی کننده‌ها در سه گروه A, B, C برای هر یک از پارامترهای بارش، دمای حداکثر و

سناریوی A2 و B2 نتایج حاصل شده به شرح زیر می‌باشد. بارش در این ایستگاه تحت سناریوی A2 در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۰) به میزان ۱۲٫۸٪ نسبت به دوره پایه مشاهداتی افزایش نشان می‌دهد که بیشترین افزایش مربوط به ماه می می‌باشد اما روند افزایش در دوره آینده میانی (۲۰۶۹-۲۰۴۰) کمتر خواهد شده به طوری که میزان افزایش به طور میانگین بلند مدت سالانه به میزان ۷٪ نسبت به دوره مشاهداتی خواهد بود. در آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۰) روند افزایش نسبت به دوره میانی بیشتر بوده و به میزان ۸٫۴٪ نسبت به دوره مشاهداتی بدست آمده است. اما در کل بارش در هر دو دوره آینده میانی و دور نسبت به دوره آینده نزدیک کاهش خواهد داشت. بارش این ایستگاه تحت سناریوی B2 به این شکل خواهد بود که روند افزایشی از دوره آینده نزدیک تا دوره آینده دور وجود خواهد داشت. نسبت این افزایش به صورت میانگین بلند مدت برای دوره آینده نزدیک برابر ۵۸٪، برای دوره آینده میانی برابر ۷۲٪ و برای دوره آینده دور برابر ۸۵٪ نسبت به دوره مشاهداتی بدست آمده

که علت این مورد می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. یکی از این دلایل و شاید مهمترین آن در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی می‌تواند عدم همبستگی مناسب داده‌های مربوط به پیش‌بینی کننده و داده مشاهداتی باشد. لازم به ذکر است با توجه به حساسیت مقدار واریانس، در این مطالعه از معیار واریانس نیز جهت انتخاب بهترین سری پیش‌بینی کننده استفاده می‌شود لذا اعداد بزرگ گویای این است که تنها معیار میانگین نمی‌تواند کاملاً گویای اختلاف نتایج سریهای پیش‌بینی کننده باشد و معیار واریانس با ایجاد این اعداد بزرگ به ضعف آشکار نتایج این سری از پیش‌بینی کننده‌ها در ماههای خاص اشاره داشت و کمک به رد آنها اعتبار آنالیز و انتخاب را بالاتر برده است.

در انتهای بررسی با در نظر گرفتن همزمان کلیه نتایج بدست آمده، بهترین دسته پیش‌بینی کننده از میان سه گروه برای هر ایستگاه انتخاب گردید. (جدول ۱۰)

خروجی‌های مدل SDSM برای بارش در ایستگاه بستان تحت دو

جدول ۵- میانگین و واریانس داده‌های مشاهداتی دوره پایه

Table 5. mean and variances of the observed data in the base period

Observed مشاهداتی	Obs. Precipitation بارش مشاهداتی		Obs. max T دمای بیشینه مشاهداتی		Obs. Min T دمای کمینه مشاهداتی	
	Mean	Var.	Mean	Var.	Mean	Var.
	(mm) متوسط	واریانس	(°C) متوسط	واریانس	(°C) متوسط	واریانس
Bostan بستان	0.57	10.47	32.43	25.87	15.73	19.57
Kermanshah کرمانشاه	1.24	17.68	22.67	69.59	6.18	38.67
Hamidieh حمیدیه	0.62	10.75	33.17	60.72	15.46	34.70
Khoramabad خرم آباد	1.39	23.20	24.78	68.02	8.44	34.64

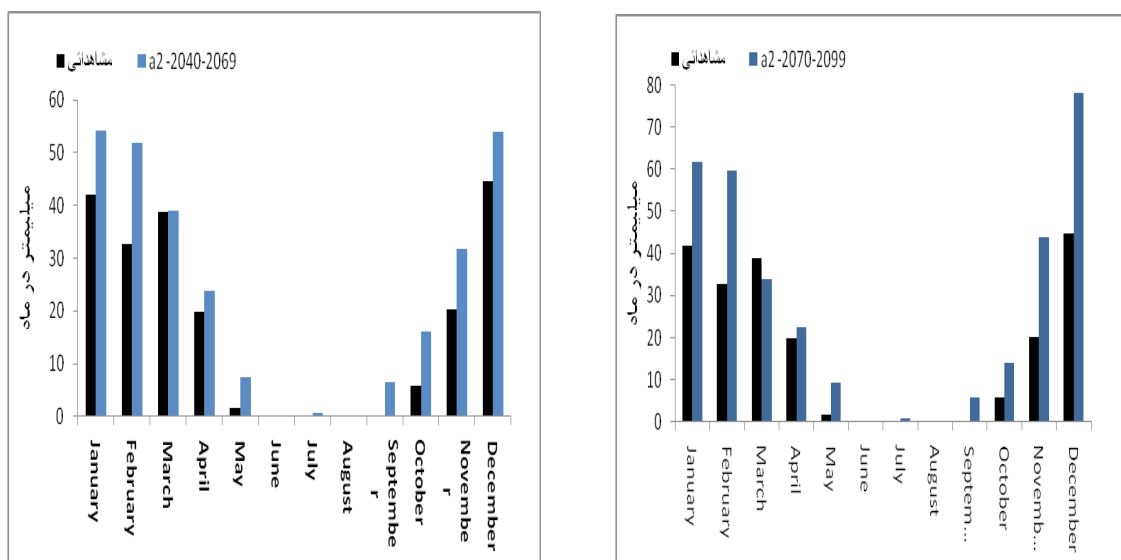
جدول ۶- نتایج واسنجی (بهترین مقدار R² بدست آمده از SDSM برای هر یک از ایستگاه‌ها)

Table 6. calibration results (based on the best square R in each station derived from SDSM)

Station ایستگاه	Step مرحله	Precipitation بارش			Max. Temp. بیشینه دما			Min. temp. کمینه دما		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
		Bostan بستان	Calibration واسنجی	0.415	0.415	0.421	0.582	0.502	0.41	0.402
Kermanshah کرمانشاه	Calibration واسنجی	0.225	0.262	0.231	0.498	0.461	0.289	0.235	0.162	0.177
Hamidieh حمیدیه	Calibration واسنجی	0.146	0.142	0.14	0.253	0.364	0.339	0.146	0.163	0.254
Khoramabad خرم آباد	Calibration واسنجی	0.177	0.242	0.241	0.205	0.226	0.225	0.208	0.152	0.227

جدول ۷- نتایج مرحله اعتبار سنجی بارندگی
Table 7. verification results for precipitation

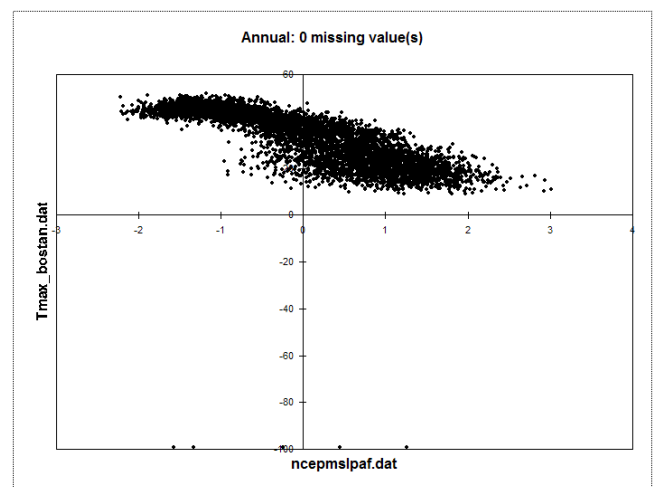
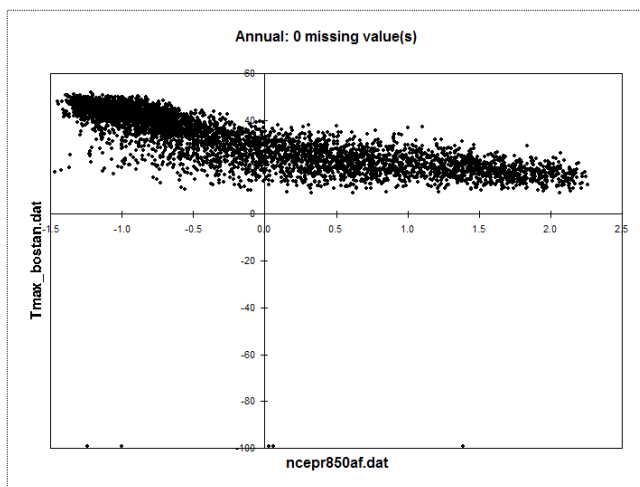
A		B		C		Step مرحله	Station ایستگاه
Mean متوسط mm	Variance واریانس	Mean متوسط mm	Variance واریانس	Mean متوسط mm	Variance واریانس		
0.5	7	4.6	566121.6	18	5318256	Calibration	Bostan بستان
0.8	12.5	0.7	10.1	7	1403013	Verification	
0.7	11.5	0.8	648	9	2003213	A2 اعتبارسنجی Verification	
1.2	18.5	1.2	18.1	1.2	18.5	B2 اعتبارسنجی Calibration	Kermanshah کرمانشاه
1.2	17.7	1.5	22	1.3	18.2	Verification	
1.2	16.9	1.5	22.2	1.3	19	A2 اعتبارسنجی Verification	
0.4	6.4	0.4	6.3	0.4	5.8	B2 اعتبارسنجی Calibration	Hamidieh حمیدیه
0.5	6.8	0.5	6.8	0.4	4.7	Verification	
0.6	10.1	0.5	6.5	0.4	4.6	A2 اعتبارسنجی Verification	
1.3	25	1.4	26.2	1.3	25	B2 اعتبارسنجی Calibration	Khoramabad خرم آباد
1.4	22.5	1.3	21.8	1.3	20.3	Verification	
1.3	22.4	1.3	21.5	1.3	20.2	A2 اعتبارسنجی Verification	
						B2 اعتبارسنجی	



شکل ۵- پیش بینی بارش بستان در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (سمت راست) و دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ (سمت چپ) تحت سناریوی A2
Fig. 5. prediction of precipitation in 2070-2099(right) and 2040-2069 (left) under A2 scenario in Bostan

جدول ۸- نتایج مرحله اعتبار سنجی حداقل دما
Table 7. verification results for min. temperature

A		B		C		Step مرحله	Station ایستگاه
Mean متوسط °C	variance	Mean متوسط °C	Variance واریانس	Mean متوسط °C	Variance واریانس		
32.3	11	32.3	11.2	32.3	11.4	Calibration واسنجی	Bostan بستان
31.5	15.3	31.7	13.6	31.8	12.3	Verification اعتبار سنجی A2	
31.9	15.4	32	13.9	32	13	Verification اعتبار سنجی B2	Kermanshah کرمانشاه
22.7	15.2	22.7	15.1	22.6	15.2	Calibration واسنجی	
22.5	23.2	22.6	23.9	22.9	17.5	Verification اعتبار سنجی A2	Hamidieh حمیدیه
22.6	23.1	22.7	23.3	22.9	17.7	Verification اعتبار سنجی B2	
33.2	11.4	33.3	11.1	33.2	11.4	Calibration واسنجی	Khoramabad خرم آباد
32.7	13.2	33	13.1	33.1	11.9	Verification اعتبار سنجی A2	
32.8	13.3	33	13.2	33.1	12.1	Verification اعتبار سنجی B2	
24.8	13.6	24.8	13.4	24.8	13.4	Calibration واسنجی	
24.7	16.7	24.6	15	24.7	14.4	Verification اعتبار سنجی A2	
24.8	16.6	24.7	15	24.7	14.5	Verification اعتبار سنجی B2	



شکل ۶- همبستگی پیش بینی کننده‌های منتخب با حداکثر دما ایستگاه بستان
Fig 6. correlation between selected predictor and max. Temperature in Bostan

جدول ۹- نتایج مرحله اعتبار سنجی حداکثر دما
Table 9, verification results for max. Temperature

A		B		C		Step	Station
Mean	Variance	Mean	Variance	Mean	Variance	مرحله	ایستگاه
متوسط °C	واریانس	متوسط °C	واریانس	متوسط °C	واریانس		
32.3	11	32.3	11.2	15.7	13	Calibration واسنجی	
16.2	11.5	16.6	13.6	15.9	17.9	Verification A2 اعتبارسنجی	Bostan بستان
16.2	11.7	16.5	13.6	16	17.9	Verification B2 اعتبارسنجی	
6.2	15	6.2	14.9	6.2	15.1	Calibration واسنجی	Kermanshah کرمانشاه
6.3	14.7	6.4	15.4	6.2	32.7	Verification A2 اعتبارسنجی	
6.3	14.8	6.4	15.2	6.2	32.1	Verification B2 اعتبارسنجی	
15.4	13.5	15.4	13.6	15.4	13.6	Calibration واسنجی	Hamidieh حمیدیه
14.9	13.5	15.6	14.1	15.5	14.1	Verification A2 اعتبارسنجی	
14.9	13.4	15.6	14.1	15.5	14.1	Verification B2 اعتبارسنجی	
8.4	12.8	8.4	12.7	8.4	12.8	Calibration واسنجی	
8.3	14.6	8.7	13.1	8.8	13.8	Verification A2 اعتبارسنجی	Khoramabad خرم آباد
8.3	14.6	8.7	13	8.8	13.7	Verification B2 اعتبارسنجی	

رسیده است که رشد روند افزایشی دما در این دوره را نیز نشان می‌دهد، برای دوره آینده دور، دمای حداکثر به میزان ۱۱٪ نسبت به دوره پایه مشاهداتی افزایش نشان داده است. در مقایسه میانگین بلند مدت دمای حداکثر در دوره‌های آتی تحت سناریوی B2، مشاهده می‌شود که با توجه به ویژگیهای سناریوی B2، روند افزایشی دما رشد بیشتری نسبت به سناریوی A2، در این ایستگاه داشته است، به طوری که در دوره آینده دور، تحت سناریوی B2، میزان افزایش دمای حداکثر به مقدار ۲٪ نسبت به دوره پایه بوده است. برای دوره آینده میانی، این نسبت به میزان ۵٫۴٪ رشد نشان داده است و در این دوره نیز دمای حداکثر در ماه‌های آوریل و می کاهش داشته

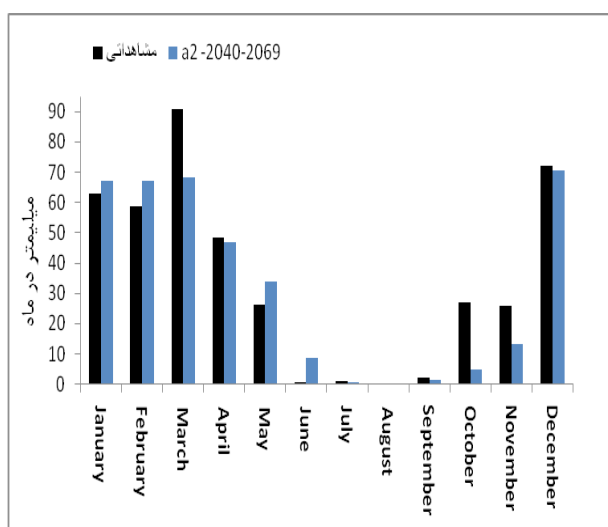
است. نکته قابل توجه این است که خروجی بارش تحت سناریوی B2، در دوره آینده نزدیک، در ماه‌های ژانویه، مارس و آوریل، در دوره آینده میانی، در ماه مارس و آوریل و در دوره آینده دور در ماه مارس روند کاهشی را نشان داده است که در واقع ماه‌های سرد سال را شامل می‌شوند.

خروجی‌های مدل SDSM در دوره‌های آتی: در مقایسه میانگین بلند مدت دمای حداکثر در دوره‌های آتی نسبت به دوره مشاهداتی تحت سناریوی A2، در دوره آینده نزدیک، به میزان ۱٫۴٪ به صورت میانگین نسبت به دوره پایه افزایش دما رخ داده است. برای دوره آینده میانی، میزان نسبت میانگین‌ها افزایش داشته و به مقدار ۴٫۸٪

جدول ۱۰- رتبه بندی بهترین پیش بینی کننده نهایی برای هر یک از ایستگاهها

Table 10. ranking best predictor for each station

Precipitation	Max. Temp.	Min. temp.	Station
بارش	بیشینه دما	کمینه دما	ایستگاه
A	A	C	Bostan بستان
A	A	A	Kermanshah کرمانشاه
A	C	C	Hamidieh حمیدیه
C	C	C	Khoramabad خرم آباد



شکل ۷- پیش بینی بارش کرمانشاه در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (سمت راست) و دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ (سمت چپ) تحت سناریوی A2
Fig 7. prediction of precipitation in 2070-2099(right) and 2040-2069 (left) under A2 scenario in Kermanshah

جولای، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر کاهش بارش و در بقیه ماهها افزایش بارش وجود داشته است. در دوره آینده دور، روند کاهش بارش نسبت به دوره میانی بیشتر خواهد بود و به میزان ۲۵٪ نسبت به دوره مشاهداتی بدست آمده است و افزایش بارش تنها در ماههای ژوئن و آگوست مشاهده شده است. بارش در این ایستگاه تحت سناریوی B2، نیز کاهش نشان داده است اما این روند کاهش نسبت به سناریوی A2، مقدار کمتری داشته است. نسبت این کاهش به صورت میانگین بلند مدت برای دوره آینده نزدیک برابر ۱۰٪ می باشد و میزان کاهش بارندگی ۱۰٪ بدست آمده است. برای دوره آینده دور کاهش بارندگی نسبت به دوره دیگر کمتر بوده و نسبت

است. در دوره آینده دور، دمای حداکثر به مقدار ۷٫۷٪ نسبت به دوره پایه مشاهداتی تحت سناریوی B2، افزایش خواهد داشت که در این دوره نیز در ماه آوریل کاهش دمای حداکثر نسبت به دوره پایه مشاهداتی وجود خواهد داشت. بارش در ایستگاه بستان تحت سناریوی A2 در دوره آینده نزدیک به میزان ۲٪ کاهش نشان می دهد و در ماههای مارس، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر کاهش میزان بارندگی و در بقیه ماهها افزایش در این دوره پیش بینی شده است. روند کاهش بارش در دوره آینده میانی نیز وجود خواهد داشت به طوری که میزان کاهش به طور میانگین بلند مدت سالانه به میزان ۱۴٪ خواهد بود و در این دوره در ماههای مارس، آوریل،

منابع

- as drought indicators, 37-48. In: Australian Bureau of Meteorology.
- [12]. Haltiner G., R. Williams. 1980. Numerical Prediction and Dynamic Meteorology, John Wiley & Sons. pp. 115-120.
- [13]. Hasheni nasab, F. A., Mosavi baygi, M., Bakhtiari, B., Davari, K. (2013). Forecast for the next 20 years by using downscaling changes in rainfall and General Circulation Model (Case Study Mashhad and Kerman station). The first national conference on water and weather. Kerman.
- [14]. Hidalgo, H., M. Dettinger., D. Cayan. 2008. Downscaling with constructed analogues: Daily precipitation and temperature fields over the United States. Pier Final Project Report, Prepared for: California Energy Commission Public Interest Energy Research Program.
- [15]. Iran Water Resources Management Company, in 1393, running Kani Sive Reservoir Dam, vice president of information system development plan. (<http://www.tarh-agrw.ir>).
- [16]. Khalili, Country's water master plan Publication- Updating report. JAMAB Consultancy Company, Ministry of Power, Tehran, Iran, 1999.
- [17]. Loukas, A., Vasiliades, L. & Tzabiras, J. (2008) Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, 17(17), 23-29.
- [18]. Maani madani, S, F., Mosavi, M, Ansari, H. (2012). Predict the situation droughts in Khorasan Razavi province during the period 2030-2011 using statistical downscaling output of LARS-WG, Mashhad, *Geography and environmental hazards*, 3, 21-37.
- [19]. Mohammadlo, M., Haghizade, A., Zeinivand, H., Karimi, H. (2014). The Prediction of Climatic Drought: A Case Study of Urmia and Khoy Cities. *International Bulletin of Water Resources & Development*, 7(4), 80-93.
- [20]. Mosaedi, A., M. Ghabaei Sough., 2011. Modification of Standardized Precipitation Index (SPI) based on relevant probability distribution function. *Journal of Water and Soil* 25, (5), 1206-1216.
- [21]. Nahvinia, M, J., Hashemi, M, R, Parsi nrjad, M., Bandak, E. (2009). Drought monitoring the northern regions of the multiple perspectives of meteorological drought index. The second national conference on the effects of drought and its management practices, Esfahan, 30-31 May.
- [1]. Alizadeh. A., 2009, Principles of Applied Hydrology. Twenty-Sixth Edition, Imam Reza University Press, 870PP.
- [2]. Babaeian, I., Z. Najafinik., 2010. The Analysis of Climate Change in Khorasan Razavi During 2010-2039 by Using Downscaling of GCM model output. *Journal of Geography and Regional Development* 15, 1-19.
- [3]. Babaeian, I., Z. Najafinik., A. Zakizadeh., 2005. The Preliminary study and evaluation of the Weather Generator Models. A Case Study: The evaluation of LARS-WG model on selected stations Khorasan. *Climatology Center. Project Report*.
- [4]. Bodagh Jamali, J., Asiair, M., Samadi Neghab, S., Javanmard, S. (2005). Drought risk management (knowledge and guidelines), Mashhad, Sokhan Gostar Publishing, Firest printing.
- [5]. Barrow, E., G. Yu., 2005. Climate Scenario for Alberta. A report prepared for the priarie Adaptation Research Climate Research Service.
- [6]. Bazrafshan, J. (2001). Adaptive study of some indicators of drought in some climatic zones in Iran. Master Level, College of Agriculture, Tehran University.
- [7]. Blenkinsop S. & Fowler, H. J. (2007) Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. *Journal of Hydrology*, 342(1), 50-71.
- [8]. Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Zalud, Z. & Hlavinka, P. (2009) Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions. *Theoretical Applied Climatology*, 96(1-2), 155-171.
- [9]. Edward, D.C., T.B. Mckee., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scales. pp. 155. In: *Climatology Report*. Colorado State University.
- [10]. Elshamy, M.E., H.S. Wheeler., N. Gedney., C. Huntingford., 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *Journal of Hydrology* 326, 1-24.
- [11]. Gibbs, w.J., J.V. Maher., 1967. Rainfall deciles

[25]. Wilby, R.L., I. Harris. 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the

[22]. Samadi Borujeni, H., Ebrahimi, A. (2010). The consequences of the drought and how to deal with it (in Chaharmahal Bakhtiari), Tehran, Sorosh publishing, Firest printing. (in Farsi)

[23]. Semenov, M.A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research* 35, 203-212.

[24]. Stuart, G., M. Frey., 2005. Drought Detection and Quantification Using Field-Based Measurements of Vegetation in Semi-Arid Regions. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Masters of Science in Hydrology New Mexico.

Abstract

Evaluation of Statistical Downscaling Method in Simulation of Climate Change of Karkheh Basin up to the Karkheh Dam

M. Goodarzi¹, M. Hoseini¹ and M. Parekar¹

In recent decades, the rapid growth of industrial activities has caused imbalance in climate of the earth which is so called climate change. This phenomenon directly affects meteorological parameters such as temperature and precipitation. The objective of this research is investigation of the impacts of climate change on precipitation and maximum and minimum temperatures in Karkheh River Basin during the period of 2010-2039. The representative climate model of the region using AOGCM and observed data period of 1971-2000 was selected. Comparison of performance indicators of few AOGCM models for rainfall and temperature simulation showed that generally HadCM3 model is suitable for the region using synoptic and climatological weather stations of the region. Statistical and regression downscaling was carried out for the selected AOGCM. Statistical and regression downscaling was performed using statistically dynamic model of SDSM. The final results for near future, 2010-2039, shows 2% reduction in rainfall for both synoptic stations of Kermanshah and Khoramabad in the north of the basin and 4% reduction in Hamidieh climatological weather station in the south of the basin. The increase in maximum temperature for above stations are estimated as 119 and 3% and increase in minimum temperature are 24, 4 and 1%, respectively. Using HadCM3 and SDSM for near future, period of 2010-2039, simulation shows that as one moves from north to the south of the basin (colder climate to warmer climate) the effects of climate change on maximum and minimum temperature are less pronounced while the trend for rainfall, although small, is opposite and is 2% for the north and 4% for the south.

Keywords: *Climate Change, Downscaling, Karkheh River Basin, SDSM, HadCM3, AOGCM*

1. Assistant professor in Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, SCWMRI, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Corresponding Author Email: massoudgoodarzi@yahoo.com.