

ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرپذیری بارش و دما (مطالعه موردی: ایستگاه‌های کاشان و خوروبابانک)

۱- مریم رضائی، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲- هدی قاسمیه، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۲۴

پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۸

چکیده

مدل‌های گردش عمومی، توسط آژانس‌های اقلیمی به منظور پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده، به کار گرفته می‌شوند. خروجی مدل‌های گردش عمومی به‌عنوان رابط محلی، قدرت تفکیک فضائی بزرگتری از متغیرهای شبیه‌سازی شده دارند. در پژوهش حاضر، مدل ریزمقیاس نمائی آماری SDSM، به منظور تخمین تغییرپذیری بارش و دما در ایستگاه‌های سینوپتیک کاشان و خور و بیابانک در استان اصفهان براساس سناریوی تغییر اقلیم ریزمقیاس شده از مدل HadCM3، مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور ابتدا تغییرات میانگین دما و بارش دوره پایه تحت سناریوی A2 مدل HadCM3، با استفاده از داده‌های بلندمدت روزانه ایستگاه‌های مذکور، بررسی گردید، سپس تخمین و پیش‌بینی دوره‌های آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) صورت گرفت. نتایج نشان داد که در هر دو ایستگاه، مقادیر دما و بارش شبیه‌سازی شده تطابق و سازگاری نزدیکی با مقادیر مشاهداتی داشتند، ولی عملکرد فرآیند ریزمقیاس نمایی در پیش‌بینی بارش در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی، نسبت به پیش‌بینی دما پایین‌تر بود. نتایج نشان داد دمای میانگین در ایستگاه کاشان، ۰/۴۲، ۱/۰۸ و ۲/۱۶ درجه سانتی‌گراد در دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) میلادی نسبت به دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۸۷)، افزایش می‌یابد. همچنین نتایج، کاهش دمای میانگین را در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، سپتامبر و دسامبر و افزایش در سایر ماه‌ها را نشان داد. نتایج در ایستگاه خور و بیابانک نیز نشان داد که درجه حرارت به‌طور مداوم در منطقه، افزایش خواهد یافت. همچنین متوسط بارش سالانه، تحت سناریو A2، ۱/۳۸ میلی‌متر در طول دوره پیش‌بینی (۲۰۹۹-۲۰۷۰) در مقایسه با دوره مشاهداتی افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم؛ ریزمقیاس نمایی آماری؛ سناریو A2؛ NCEP؛ مدل SDSM و ایران.

مقدمه

نیز از این تغییرات بزرگ مقیاس مستثنی نبوده و اثرات آن در بسیاری از حوزه‌های آب‌خیز کشور مشاهده شده است [۹]. دما و بارش از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی و از عمده‌ترین و اساسی‌ترین عوامل مؤثر در تعیین پراکندگی سایر عناصر اقلیمی به‌شمار می‌آیند. این شاخص‌ها، اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار در مطالعات اقلیمی نیز می‌باشند [۳]. گرمایش جهانی برای کشورهایی چون ایران که بارش اندکی دارند از اهمیت زیادی برخوردار است [۲۲ و ۲۹]. پدیده تغییر اقلیم و ارتباط تغییرات جهانی با تغییرات منطقه‌ای و محلی متغیرهای دما، بارش، رطوبت و ابرناکی که طیف وسیع‌تری از پدیده تغییر اقلیم را پوشش می‌دهند و همچنین با توجه به متفاوت بودن روند تغییر اقلیم در نقاط مختلف جهان، بررسی روند درازمدت مهم‌ترین پارامترهای اقلیم یعنی دما و بارندگی، ضرورتی

تغییر اقلیم از طریق تغییر در الگوی دما، بارش و سایر متغیرهای آب و هوایی بر همه فرآیندهای هیدرولوژیک تأثیرگذار است. یکی از مهمترین تبعات تغییر آب و هوا، تأثیر آن بر مصرف آب کشاورزی می‌باشد که می‌تواند مدیریت منابع آب را با چالش‌های جدی روبرو سازد [۶] و یک تهدید بزرگ برای زندگی جوامع بشری و موجودات زنده، بر روی کره زمین می‌باشد [۲۰]. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به دلیل فعالیت‌های بشری، عامل انسانی تشدید پدیده تغییر اقلیم می‌باشد [۳۶]. بخش‌های کشاورزی، هیدرولوژی و منابع آب از مناطق عمده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم می‌باشند [۱۸]. در دهه‌های اخیر، تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط جهان آثار خود را به جای گذاشته و انتظار می‌رود در دهه‌های آینده نیز، اثرات این تغییرات تشدید گردد. متأسفانه کشور ایران

A2، مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از افزایش بارش و دما در دوره آتی بود [۴۲]. در مطالعه‌ای دیگر، شبیه‌سازی میزان بارش دوره‌های آتی را در دو حوزه گنجیز^۴ و براهماپوترا^۵ در جنوب آسیا با استفاده از مدل SDSM و تحت دو سناریوی A1B و A2 بررسی نمودند. نتایج نشان داد میزان بارش در طول و بعد از تابستان در هر دو حوزه افزایش می‌یابد در حالی که میزان بارش قبل از تابستان در هر دو حوزه کاهش می‌یابد [۳۲]. در پژوهشی دیگر، سناریوهای تغییر اقلیم آینده از سه مدل جهانی (CGCM3.1 A2، CGCM1 GHG+A1) و HadCM3 A2 را برای تعیین حساسیت برآورد تغذیه توسط مدل‌های اقلیمی مختلف در حوضه خشک اوکانگان مورد استفاده قرار دادند. میزان تغییرات برآورد تغذیه، بین مدل‌ها بطور قابل توجهی متفاوت بود. CGCM3.1 دارای بیشترین افزایش در میزان تغذیه، CGCM1 افزایش بسیار کمی داشت و HadCM3 نسبتاً پایدار بود. نتایج هر سه مدل، افزایش دما در دوره‌های آتی را نشان می‌دهد، به طور خاص، CGCM3.1 و HadCM3 افزایش زیاد در دما را در دوره‌های آتی نشان دادند و همه CGCM ها کاهش بارش در تابستان در دوره‌های زمانی آینده را نشان می‌دهند [۳۸]. در مطالعه‌ای، از مدل‌های SDSM و SSVM^۶ برای ریزمقیاس نمودن بارش روزانه در حوضه هانجیانگ چین، استفاده نمودند. نتایج بیانگر کارایی و عملکرد بهتر مدل SDSM بود [۸]. در پژوهشی دیگر، عملکرد و توانایی مدل (SDSM)، برای شبیه‌سازی رویدادهای حدی، در حوزه خشک اندین^۷، در شیلی مورد بررسی قرار دادند. پس از آن، روند دمای فصلی و بارش در آینده برای سناریوهای A2 و B2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد، افزایش قابل توجه دما در فصل زمستان و تابستان، سرعت ذوب برف در زمستان را دگرگون می‌کند. رواناب به طور موقت افزایش و در بلند مدت کاهش خواهد یافت. هر دو سناریوی A2 و B2، روندی کاهشی را در میزان بارش نشان دادند [۳۵]. در پژوهشی که در آلمان انجام گرفت نیز از روش‌های

اجتناب‌ناپذیر است [۲۴]. به‌طور کلی، مدل‌های گردش عمومی (GCM)^۱، قادر به شبیه‌سازی در ابعاد بزرگ هستند و برای شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی مانند سرعت باد، فشار سطح دریا و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۱]. یکی از مدل‌های گردش عمومی جو که در سراسر جهان توسعه یافته، مدل HadCM3^۲ می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی و تشخیص گرمایش جهانی، شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دوره‌های آتی و سایر مطالعات حساس آب و هوایی مورد استفاده قرار گرفته است و دقت آن در بسیاری از مطالعات به اثبات رسیده است [۱۳، ۲۳، ۳۷ و ۴۱] و در پژوهش حاضر، مورد استفاده قرار گرفت. مدل HadCM3، یک مدل گردش عمومی است که داده‌های آن در گام زمانی روزانه می‌باشند و دارای قدرت تفکیک افقی ۲/۵ در ۳/۷۵ عرض و طول جغرافیایی می‌باشد. تعداد لایه‌های این مدل در راستای قائم ۱۹، می‌باشد [۲۵]. به‌منظور کاربردی کردن شبیه‌سازی‌های مدل‌های گردش عمومی در مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴۰]. در حالت کلی، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی به دو دسته کلی دینامیکی و آماری تقسیم می‌گردد. تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری شامل تعیین روابط آماری بین متغیرهای اتمسفری بزرگ مقیاس و متغیرهای مشاهداتی در مقیاس ایستگاهی می‌باشد [۱۲]. تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری متفاوتی وجود دارد که از میان آن‌ها مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM)^۳ به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است [۷]. در پژوهشی، مدل SDSM را برای ریزمقیاس‌نمایی بارش و دما و ارزیابی تغییرات اقلیم منطقه‌ای با استفاده از روش‌های آماری ابداع نموده‌اند [۳۹]. در زمینه پیش‌بینی اثرات تغییرات اقلیم بر روی میزان بارش و دما با استفاده از مدل SDSM، تحقیقات گسترده‌ای در سرتاسر جهان و از جمله ایران انجام شده است، که می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد: در پژوهشی دیگر، با استفاده از مدل SDSM، اثرات پدیده تغییرات اقلیم را بر روی میزان بارش و دما در حوزه Xin در کشور چین تحت سناریوی

4- Ganges

5- Brahmaputra

6- Smooth Support Vector Machine

7- Andean

1- General Circulation Model

2- Hadley Centre Coupled Model, version 3

3- Statistical Downscaling model

نمودند. میزان تغییرات بارش و نمایه‌های حدی این دوره نسبت به دوره پایه نشان داد که مقدار بارش پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه، ۳/۳ درصد در سناریوی A2 و ۳/۶ درصد در سناریوی B2 کاهش می‌یابد [۱۶]. در مطالعه‌ای دیگر، توانمندی مدل SDSM را در اقلیم گرم و خشک برای ریزمقیاس نمایی دما و بارش حاصل از خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 مورد ارزیابی قرار دادند. در این راستا از داده‌های روزانه بازتجزیه NCAR/NCEP و ایستگاهی دما و بارش در دوره (۲۰۰۱-۱۹۶۱) و داده‌های خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 برای تولید سناریوی آتی با مختصات ایستگاه‌های همدیدی یزد و طبس استفاده نمودند. مقایسه نتایج حاصل از تحلیل آماری برای هر دو مجموعه داده مشاهداتی و ریزمقیاس نمایی شده نشان داد که مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی دمای خروجی مدل HadCM3 در اقلیم گرم و خشک به درستی عمل می‌کند. در حالی که بارش روزانه حاصل از ریزمقیاس نمایی مدل SDSM در اقلیم گرم و خشک با داده مشاهداتی در اغلب آمارها از جمله حداکثرها و حداقل‌های بارش تفاوت بارزی دارد [۲۸]. در تحقیقی دیگر، به منظور ریزمقیاس نمایی متغیرهای دما و بارش، حساسیت مدل SDSM به دوره پایه و داده‌های بازتجزیه شده در ایستگاه همدیدی شهر کرمان به عنوان نماینده مناطق خشک، را بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل به نوع و دوره پایه‌ی داده‌های بازتجزیه شده حساسیت نشان می‌دهد، همچنین میانگین خطای مطلق حاصل از داده‌های بازتجزیه شده‌ی مدل CGCM برای متغیرهای دمایی متوسط حداکثر، حداقل و متوسط دمای روزانه به ترتیب معادل با ۱۱، ۴/۵ و ۴/۷ برابر حالتی است که از داده‌های مدل HadCM3 استفاده می‌شود [۱]. در پژوهشی دیگر، از مدل SDSM به منظور پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک (کرمان) و فراخشک (بم)، استفاده نمودند، نتایج نشان داد که این مدل در منطقه خشک از توانایی و دقت بالاتری برای پیش‌بینی میزان بارندگی نسبت به منطقه فراخشک برخوردار است. سایر نتایج نشان داد میزان بارندگی تا سال ۲۰۹۹، در در ایستگاه کرمان در سناریوهای A2 و B2، به ترتیب ۱/۳ و ۰/۳ میلی‌متر

ریزگردانی و سناریوهای A2 و B2 استفاده شد. نتایج نشان داد در هر دو سناریو مقدار میانگین فصلی بارش و دماهای حداکثر و حداقل روزانه افزایش می‌یابد [۱۴]. در مطالعه‌ای با استفاده از مدل SDSM، در حوزه آبخیز دریاچه‌ی ارومیه ارزیابی آثار تغییر اقلیم را با در نظر گرفتن دو سناریو A2 و B2 پیش‌بینی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که برای دوره‌ی آماری ۲۰۹۹-۲۰۰۰، دما، به میزان ۰/۴۵ و ۰/۳۵ درجه‌ی سانتیگراد و بارندگی نیز تحت این دو سناریو به ترتیب ۱۰ و ۹ درصد افزایش می‌یابد [۱۷]. در پژوهشی دیگر، کارایی الگوهای ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG را در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوزه آبخیز دریاچه‌ی ارومیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد الگوی SDSM در دو ایستگاه تبریز و ارومیه، برای دمای کمینه و بیشینه روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد، در حالی که برای بارش روزانه نتایج عملکرد دو الگو تا حدودی در دو ایستگاه مشابه بود [۳۴]. در تحقیقی دیگر، اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس، با ریزمقیاس نمایی به وسیله نرم‌افزارهای SDSM و LARS-WG ارزیابی نمودند. نتایج بررسی تغییر اقلیم حاکی از افزایش دمایی بین ۰/۷ تا ۱/۸ درجه برای دمای حداقل و ۰/۷ تا ۱/۷ درجه‌ای برای دمای حداکثر می‌باشد. برای بارش نیز هرچند میزان افزایش بسیار کم بوده است ولی نتایج افزایش ۲ تا ۱۲ درصدی در میزان بارش را نشان داد. نتایج بررسی رواناب نیز کاهش رواناب در ماه‌های آوریل، می، جون، اکتبر و افزایش در سایر ماه‌ها را نشان داده است [۲]. در تحقیقی دیگر، تأثیر تغییر اقلیم را بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج در دشت تجن مورد مطالعه قرار دادند، نتایج با استفاده از مدل SDSM، نشان‌دهنده کاهش در مقدار بارندگی و افزایش دما در دوره‌های آتی است و به این نتیجه رسیدند که هر چه به سال ۲۱۰۰ نزدیکتر شویم بارش مؤثر با مقدار کمتری می‌تواند نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری برنج را در منطقه مورد نظر تأمین کند [۳۳]. در پژوهشی دیگر، با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM بارش روزانه در منطقه ارومیه را تحت دو سناریوی A2 و B2 ریزمقیاس و نمایه‌های حدی را برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ محاسبه

خور و بیابانک که از شهرستان‌های استان اصفهان می‌باشند، انجام گرفته است. ایستگاه‌های مذکور، به دلیل آمار بلندمدت مناسب بارندگی و دما بعنوان ایستگاه مبنا در این پژوهش انتخاب گردیدند و نماینده منطقه اقلیمی فراخشک می‌باشند. روش طبقه‌بندی دومارتن توسعه یافته، روش طبقه‌بندی اقلیمی مناسب برای شرایط پوشش گیاهی ایران می‌باشد [۱۵] که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

در روش دومارتن توسعه یافته هشت نوع اقلیم مشخص گردیده که با توجه به مقدار I از جدول ۱ تعیین می‌شود [۲۶]. مشخصات جغرافیایی و نتایج حاصل از طبقه‌بندی اقلیمی صورت گرفته برای ایستگاه‌های کاشان و خور و بیابانک در جدول ۲ آورده شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور در شکل ۱، ارائه شده است.

کاهش و در ایستگاه بم حدود ۴/۵۶ و ۵/۴۶ میلی‌متر نسبت به دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۷۱)، افزایش خواهد یافت [۲۷]. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی پدیده تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی ایستگاه‌های کاشان و خور و بیابانک در استان اصفهان است که تلاش شده با استفاده از مدل SDSM، پیش بینی کننده‌های مناسب را انتخاب و جهت ریزمقیاس کردن داده‌های تغییر اقلیم، از مدل SDSM استفاده شود و بدین منظور نیز داده‌های تغییر اقلیم HadCM3 مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت وضعیت بارش و دمای دوره‌های آبی ایستگاه‌های مذکور تا سال ۲۰۹۹، شبیه‌سازی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر بر روی دو ایستگاه سینوپتیک کاشان و

جدول ۱- طبقه بندی اقلیمی دومارتن توسعه یافته

نوع اقلیم	فراخشک	خشک	نیمه خشک	مدیترانه‌ای	نیمه مرطوب	مرطوب	خیلی مرطوب تیپ الف	خیلی مرطوب تیپ ب
مقدار I	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۲۴	۲۴-۲۸	۲۸-۳۵	۳۵-۵۵	۵۵

جدول ۲- خصوصیات جغرافیایی و محاسبه ضریب خشکی ایستگاه‌های سینوپتیک کاشان و خور و بیابانک

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری (۱۹۷۱-۲۰۰۱)	بارش (میلی‌متر)	دما (درجه سانتیگراد)	شاخص خشکی	نوع اقلیم
۱	کاشان	۵۱°۲۷'E	۳۳°۵۹'N	۹۸۲/۳	(۱۹۷۱-۲۰۰۱)	۱۳۷/۰۵	۱۹/۰۴	۴/۷۲	فراخشک
۲	خور و بیابانک	۵۵°۵'E	۳۳°۴۷'N	۸۴۵	(۱۹۸۷-۲۰۰۱)	۸۹/۸۹	۲۰/۱۵	۲/۹۸	فراخشک

مدل گردش عمومی HadCM3

در این پژوهش از مدل گردش عمومی HadCM3، که از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت‌شده جوی-اقیانوسی^۱ می‌باشد، استفاده شده است. مدل جوی دارای قدرت تفکیک افقی ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه عرض و طول جغرافیایی می‌باشد و مشخصات مدل اقیانوسی آن دارای ۲۰ لایه با قدرت تفکیک افقی ۱/۲۵ در ۱/۲۵ درجه می‌باشد. متغیرهای بزرگ مقیاس (متغیرهای NCEP^۲) منطقه مطالعاتی در مقیاس روزانه در دوره پایه به عنوان

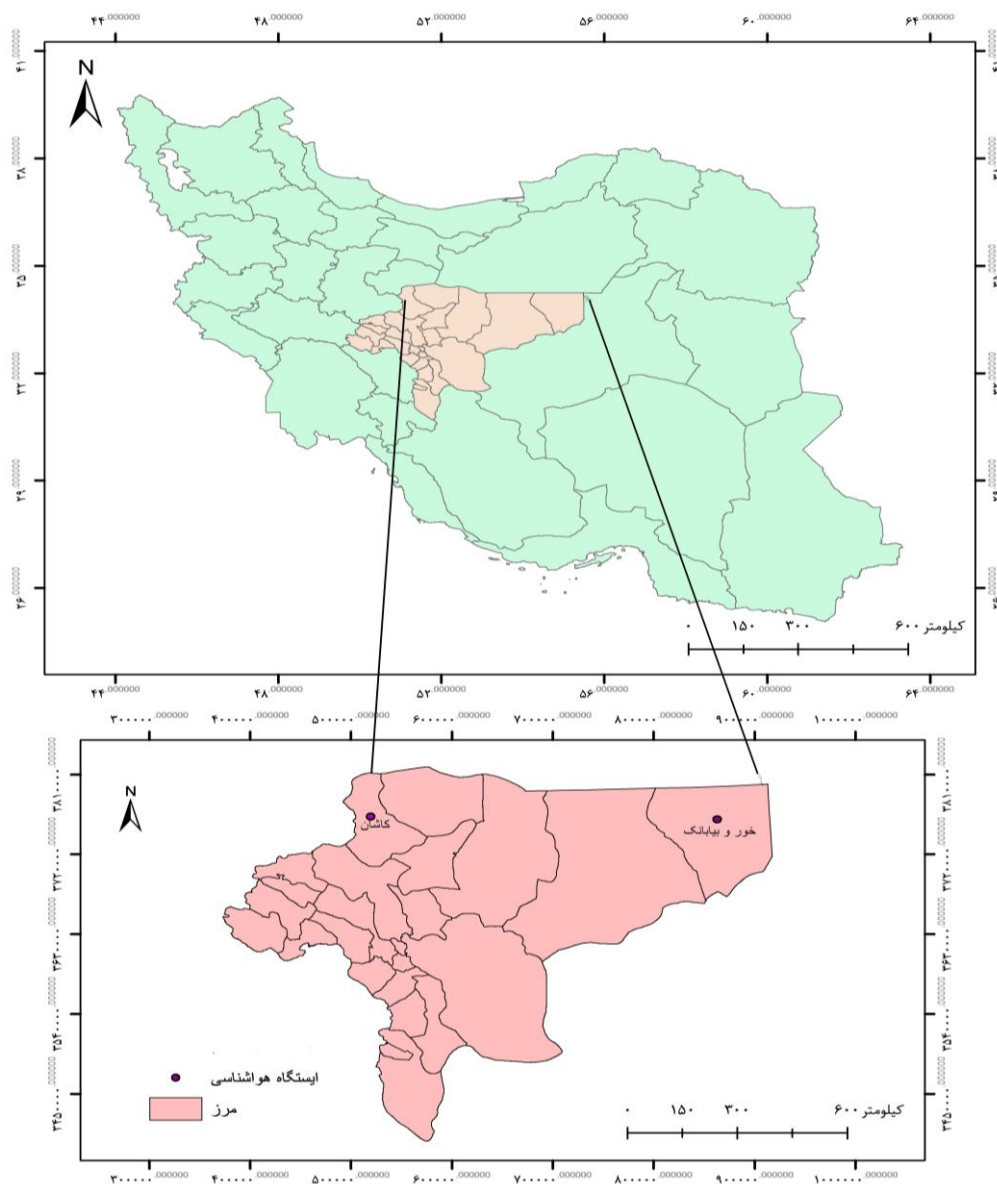
روش انجام پژوهش

مدل‌های GCM، قادر به شبیه‌سازی در سطوح بزرگ می‌باشند، بنابراین جهت استفاده از این داده‌ها، نیاز است تا داده‌های GCM به وسیله روش‌های مختلف در سطوح ایستگاهی ریزمقیاس گردند. برای بررسی وضعیت دما و بارش دوره‌های آبی ایستگاه‌های کاشان و خور و بیابانک، ابتدا داده‌های دما و بارش در مقیاس روزانه از سازمان هواشناسی اخذ گردید، سپس داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه‌ها از لحاظ کیفیت در نرم افزار SDSM، بررسی گردید.

1- Atmospheric-Ocean General Circulation Model
2- National Centers for Environmental Prediction

اقلیمی شامل بارش و دمای میانگین ماهانه اقدام گردید. همچنین برای کاربردی کردن نتایج خروجی مدل بزرگ مقیاس و تبدیل این داده‌ها به داده‌های قابل استفاده در پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر میزان بارش و دمای کاشان و خور و بیابانک از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM استفاده شد.

متغیرهای مستقل و بارش و دمای میانگین روزانه مشاهداتی به عنوان متغیر وابسته وارد مدل شدند. متغیرهای HadCM3 و NCEP از مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا و از طریق سایت www.ccds- dscc.ec.gc.ca قابل دسترسی می‌باشند. به کمک مدل بزرگ مقیاس HadCM3 نسبت به پیش‌بینی پارامترهای



شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های سینوپتیک کاشان و خور و بیابانک و موقعیت در استان اصفهان و ایران

(پیش‌بینی کننده) و متغیرهای مشاهداتی (پیش‌بینی شونده) محلی استوار است (۵). بعد از بررسی پیش‌بینی کننده‌های مختلف، پیش‌بینی کننده‌های منتخب

مدل رگرسیون خطی چند متغیره SDSM
مدل SDSM، بر پایه روابط آماری روش‌های رگرسیون چندمتغیره خطی بین متغیرهای بزرگ مقیاس NCEP

(۲) و ضریب ناش- ساتکلیف^۳ (NS) (معادله ۳) استفاده گردیده است که فرمول محاسبه آن‌ها به ترتیب، به شرح زیر است:

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

$$MAE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{p_i - o_i}{n} \right| \quad (2)$$

$$NS = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}_i)^2} \right) \quad (3)$$

در روابط ذکر شده اندیس p و o به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و \bar{p} و \bar{o} میانگین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی و پیش‌بینی بارش دوره پایه ایستگاه کاشان با استفاده از مدل SDSM

دوره آماری موجود برای بارش ایستگاه سینوپتیک کاشان شامل سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۱ میلادی می‌باشد. برای دوره واسنجی، داده‌های بارش مربوط به سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۷۱ میلادی انتخاب شد. متغیرهای (NCEP)، طی این سال‌ها انتخاب و وارد مدل شدند. از بین ۲۶ متغیر مستقل موجود، سه متغیر (رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین) که در ترکیب با یکدیگر مقدار بارش را طی ۱۲ ماه سال توجیه می‌کردند با استفاده از همبستگی بین متغیرهای مستقل و پیش‌بینی شونده انتخاب شدند. در ادامه بارش روزانه طی دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی مدل (۲۰۰۱-۱۹۹۲) شبیه‌سازی شد (شکل

جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های میانگین دما و بارش ماهانه در ایستگاه‌های مطالعاتی معرفی گردیدند. از آنجائی که مدل HadCM3 برای دوره حاضر و آتی ۲۶ پارامتر سینوپتیکی (پیش‌بینی‌کننده‌ها) را محاسبه می‌نماید، ایجاد یک رابطه با ۲۶ متغیر همراه با خطای تجمعی متغیرها همراه است و باید به متغیرهای مرتبط کاهش یابد. برای نیل به این هدف، میزان همبستگی هر یک از پیش‌بینی‌کننده‌ها (متغیرهای NCEP) با عوامل بارش و دمای میانگین محاسبه و متغیرهایی که از همبستگی بالایی برخوردار بودند انتخاب می‌شوند. برای دست‌یابی به نتایج مناسبی در زمینه مطالعه اثرات تغییر اقلیم، بایستی مطالعات بررسی مدل گردش عمومی و ریزمقیاس نمایی در مقیاس ایستگاه هواشناسی را با استفاده از متغیرهای اقلیمی مناسب انجام داد. خروجی مدل HADCM3 تحت سناریوی A2 به کمک مدل SDSM، ریزمقیاس می‌گردد. سناریوی A2، به رشد جمعیت زیاد، رشد اقتصادی به صورت منطقه‌ای، ناهمگونی زیاد توسعه و تغییرات فن‌آوری به صورت منطقه‌ای اشاره دارد (۵)، همچنین ویژگی‌های سناریوی انتشار A2، بر صنعتی شدن و رشد سریع کشورها بدون توجه به محیط زیست و انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای تأکید می‌کند که این موضوع به واقعیت‌های جهان امروز نزدیکتر است (۳۲)، لذا در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت. با تکیه بر روش ریزمقیاس نمایی آماری، نتایج مربوط به دوره‌های واسنجی (۷۰ درصد از داده‌ها) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد از داده‌ها) بررسی گردید و نتایج به دست آمده از مدل با مقادیر مشاهداتی مقایسه و عملکرد مدل مورد ارزیابی قرار گرفت، در ادامه با استفاده از داده‌های مدل، دما و بارش برای سه دوره (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) میلادی شبیه‌سازی و با دوره پایه مقایسه گردید.

معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

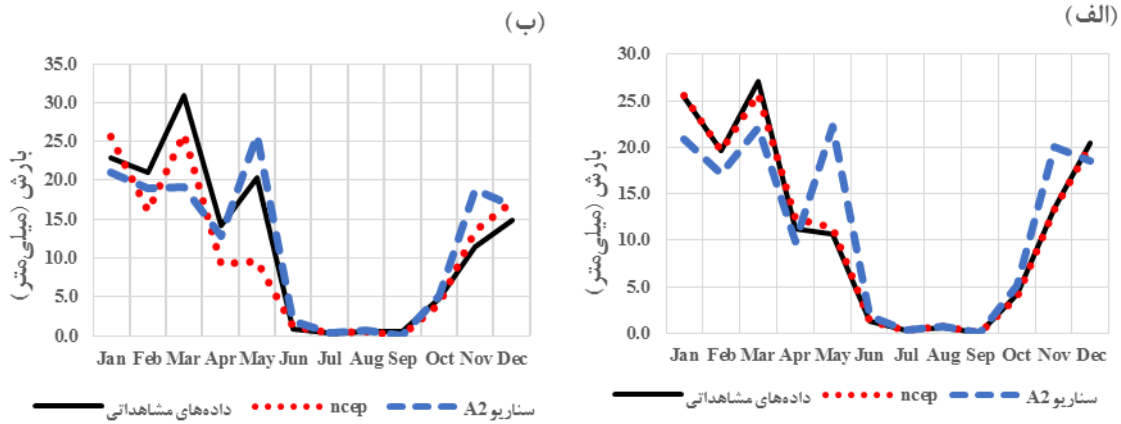
برای ارزیابی دقت مدل از شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطا^۱ (معادله ۱)، میانگین خطای مطلق^۲ (معادله

2- Mean Absolute Error
3- Nash-Sutcliffe efficiency

1- Root Mean Squared Error

متغیرهای HadCM3 وارد مدل شد و داده‌های بارش روزانه دوره پایه، ریزمقیاس گردید (شکل ۳).

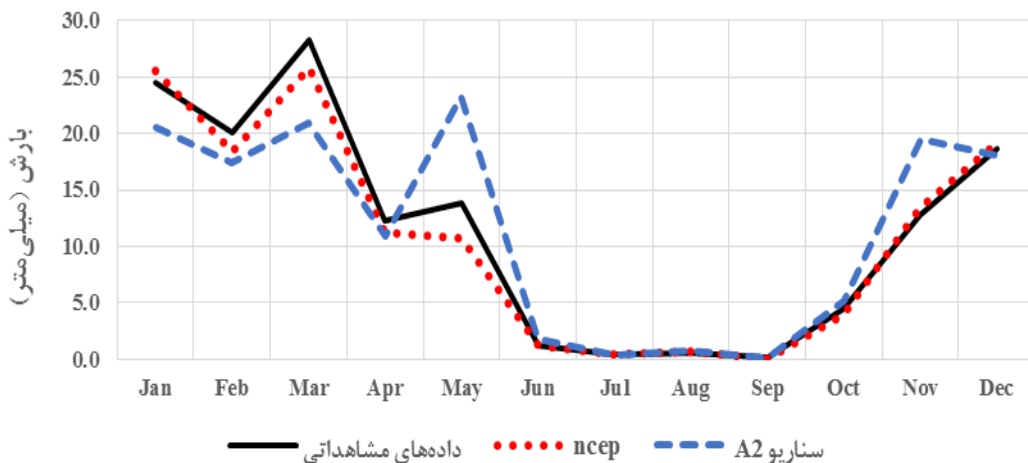
۲ الف و ب). پس از اطمینان از کارایی مدل در ریزمقیاس نمایی بارش (با توجه به نتایج دوره صحت‌سنجی)،



شکل ۲- مقایسه بارش میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM در دو دوره واسنجی ۱۹۷۱-۱۹۹۱ (الف) و صحت‌سنجی ۱۹۹۲-۲۰۰۱ (ب) ایستگاه کاشان

ناش-ساتکلیف، مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق استفاده گردید، که نتایج مربوط به معیارهای عملکرد مدل در جدول ۳، ارائه شده است. این یافته‌ها به‌خصوص در مورد معیارهای NS و R^2 حاکی از آن است که مدل الگوی تغییرات بارش منطقه مطالعاتی را در دوره‌های واسنجی، اعتبارسنجی و دوره پایه به خوبی شبیه‌سازی نموده است.

همانطور که در شکل ۳، مشاهده می‌شود بیش‌برآوردی^۱ در مقدار بارش در ماه‌های می و نوامبر و کم برآوردی^۲ در ماه‌های ژانویه و مارس توسط سناریوی A2، رخ داده است. در بقیه ماه‌ها تفاوت مقدار بارش ناچیز می‌باشد. علی‌رغم اختلاف در مقدار برآوردی برخی ماه‌ها، الگوی تغییرات بارش به‌خوبی شبیه‌سازی شده است. برای ارزیابی عملکرد مدل از معیارهای آماری ضریب



شکل ۳- مقایسه بارش میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM، دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۱) کاشان

1- Overestimate
2- Underestimate

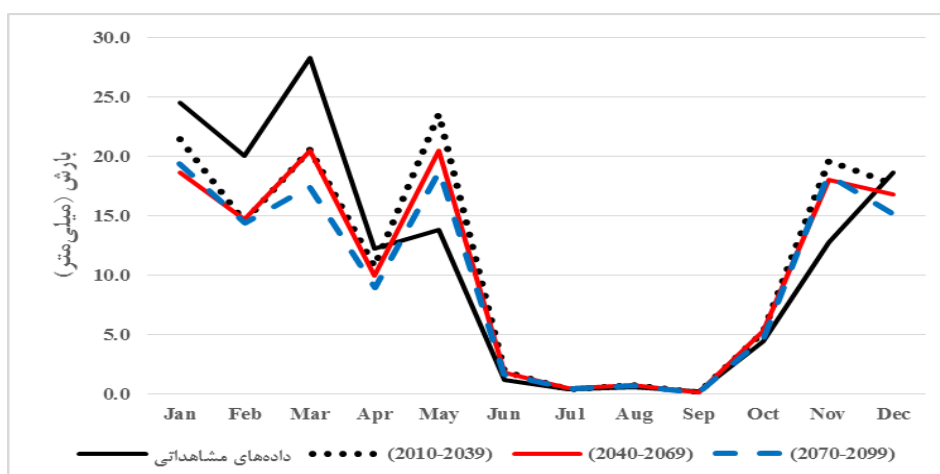
جدول ۳- معیارهای عملکرد مدل SDSM در پیش‌بینی بارش ماهانه ایستگاه کاشان

ضریب ناش-ساتکلیف		مجذور میانگین مربعات خطا			میانگین خطای مطلق		
دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی
۰/۸۰۵	۰/۸۰۶	۴/۲۵۲	۴/۶۱۰	۲/۸۳۰	۲/۸۷۰	۲/۹۳۸	۲/۹۳۸

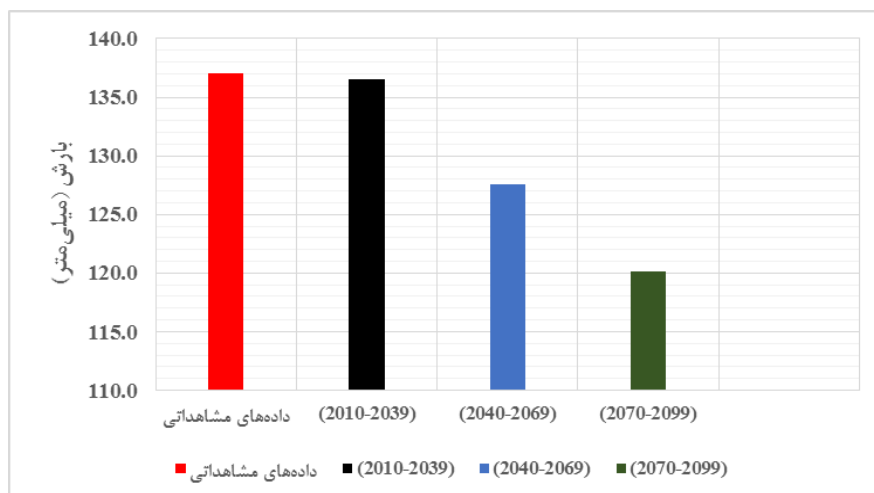
شبیه‌سازی و پیش‌بینی بارش دوره‌های آبی ایستگاه کاشان

روند افزایشی دارد. بیشترین کاهش بارش در ماه مارس (۱۰/۸۴ میلی‌متر) و بیشترین افزایش در میزان بارش در ماه نوامبر (۵/۶۳ میلی‌متر) مشاهده گردید. در مقیاس سالانه در دوره‌های (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) میلادی به ترتیب ۰/۵۷، ۹/۴۹ و ۱۶/۹۳ میلی‌متر کاهش در میزان بارش کاشان نسبت به دوره پایه مشاهده گردید (شکل ۵).

بارش پیش‌بینی شده برای سه دوره پیش‌بینی (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) میلادی در شکل شماره ۴، آورده شده است. نتایج نشان داد، مقدار بارش برای فصول بهار و زمستان دارای روند کاهشی و برای فصول تابستان و پائیز دارای روند افزایشی بود. همچنین بارش برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، سپتامبر و دسامبر روند کاهشی و در بقیه ماه‌های سال



شکل ۴- مقایسه بارش میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آبی کاشان توسط مدل SDSM

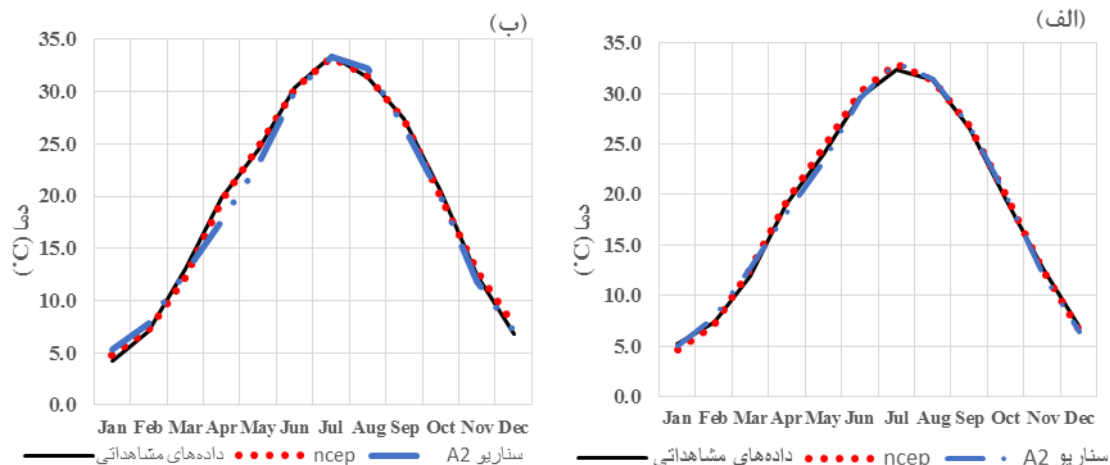


شکل ۵- مقایسه بارش میانگین سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آبی کاشان توسط مدل SDSM

شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای دوره پایه ایستگاه کاشان

دما در ارتفاع دو متری با استفاده از همبستگی بین متغیرهای مستقل (پیش‌گو) و پیش‌بینی شونده انتخاب شدند. پس از اطمینان از کارایی مدل در ریزمقیاس نمایی دما (با توجه به نتایج دوره صحت‌سنجی)، متغیرهای HadCM3 وارد مدل شد و داده‌های دمای میانگین روزانه ریزمقیاس گردید (شکل ۶).

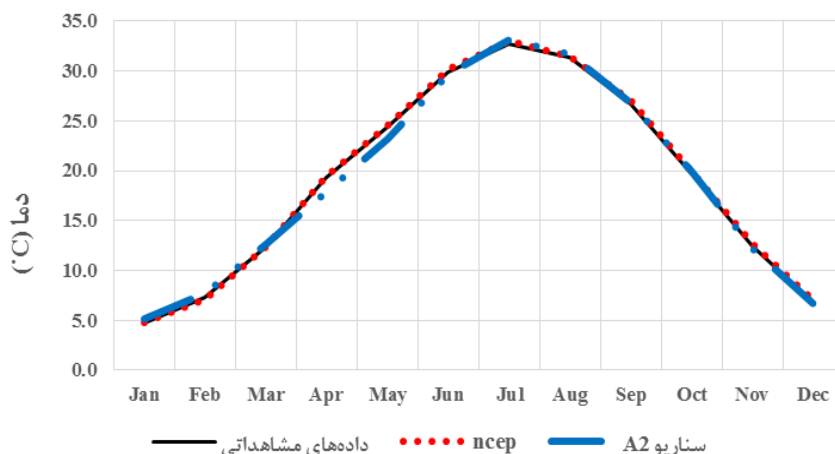
برای پیش‌بینی دمای میانگین ایستگاه سینوپتیک کاشان، برای دوره واسنجی مدل، داده‌های مربوط به سال‌های ۱۹۷۱-۱۹۹۱ میلادی انتخاب شد و از دوره (۱۹۹۲-۲۰۰۱) برای صحت‌سنجی مدل استفاده گردید. سه متغیر (ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین و میانگین



شکل ۶- مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM در دو دوره واسنجی ۱۹۷۱-۱۹۹۱ (الف) و صحت‌سنجی ۱۹۹۲-۲۰۰۱ (ب) ایستگاه کاشان

برآورد شده است، در بقیه ماه‌ها تفاوت مقدار دمای برآوردی بسیار ناچیز می‌باشد و الگوی تغییرات دمایی به خوبی شبیه‌سازی شده است که حاکی از کارایی بسیار بالای مدل می‌باشد.

با استفاده از مدل SDSM، دمای میانگین ماهانه ایستگاه کاشان برای دوره پایه پیش‌بینی شد. نتایج در شکل ۷، ارائه شده است و معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل (جدول ۴) محاسبه گردید. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود مقدار دمای میانگین در ماه‌های می و ژوئن توسط سناریوی A2، کم



شکل ۷- مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM، دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۱) کاشان

جدول ۴- معیارهای عملکرد مدل SDSM در پیش‌بینی دمای ماهانه ایستگاه کاشان

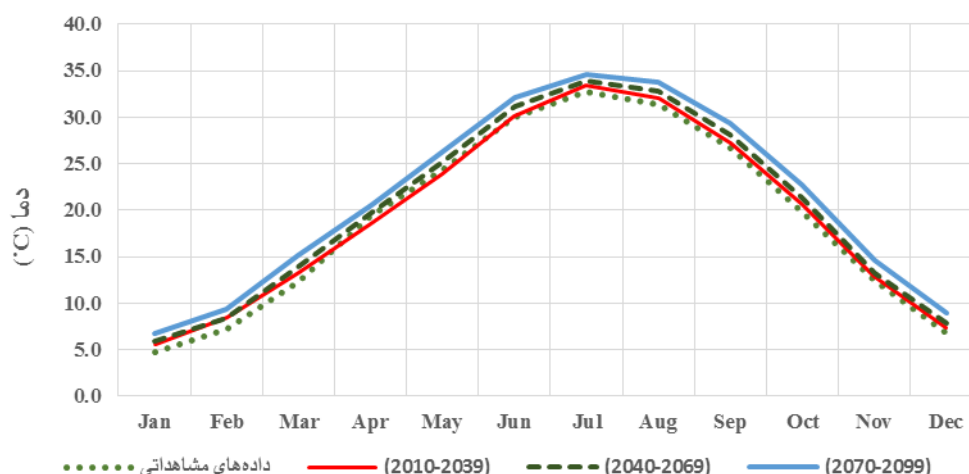
ضریب ناش-ساتکلیف		مجذور میانگین مربعات خطا			میانگین خطای مطلق		
دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی
۰/۹۵۷	۰/۹۹۰	۰/۵۸۳	۰/۹۴۳	۰/۴۳۹	۰/۷۷۹	۰/۴۳۹	۰/۴۶۰

داد، میزان دمای میانگین برای دوره‌های آتی در کلیه فصول دارای روند افزایشی بود. بیشترین افزایش دما در ماه اکتبر (۲/۹۸ درجه سانتی‌گراد) در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ مشاهده گردید. نتایج نشان داد دمای میانگین در دوره‌های (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) میلادی به ترتیب ۰/۴۲، ۱/۰۸ و ۲/۱۶ درجه سانتی‌گراد افزایش در میزان دمای میانگین کاشان مشاهده گردید (شکل ۹).

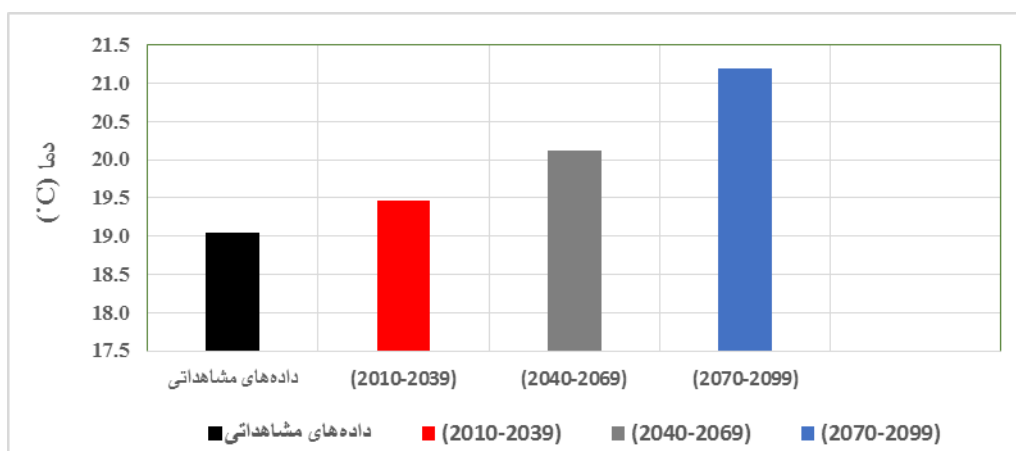
آماره‌های جدول ۴، عملکرد قابل قبول و رضایت‌بخش مدل را تأیید می‌کند و حاکی از نزدیک بودن مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM می‌باشد.

شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای دوره‌های آتی ایستگاه کاشان

دمای میانگین پیش‌بینی شده برای سه دوره آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) میلادی، در شکل شماره ۸، آورده شده است. نتایج نشان



شکل ۸- مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آتی کاشان توسط مدل SDSM



شکل ۹- مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آتی کاشان توسط مدل SDSM

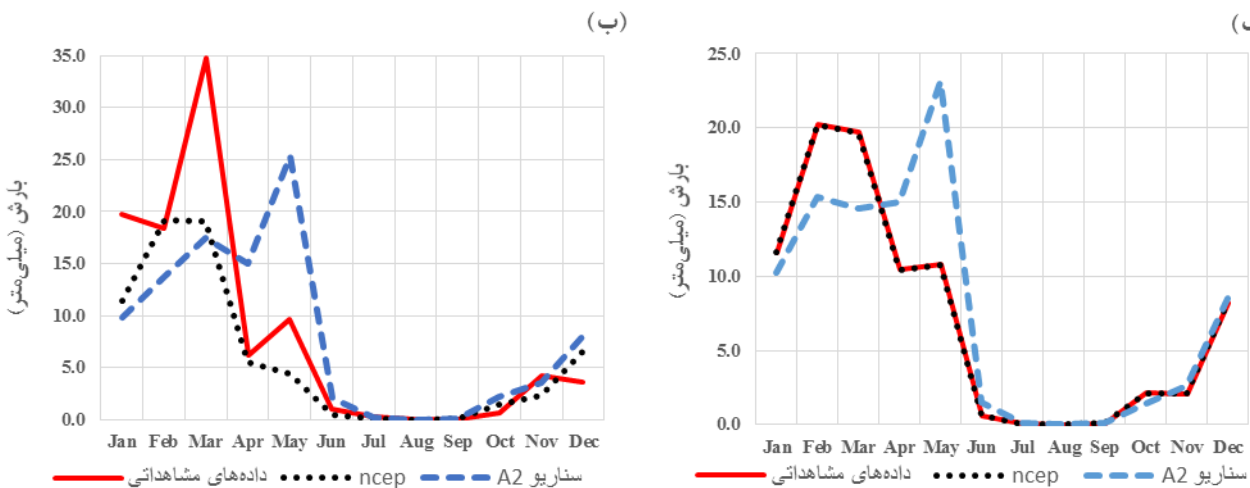
شبیه‌سازی و پیش‌بینی بارش دوره پایه ایستگاه خور و بیابانک

همانطور که در شکل ۱۱، مشاهده می‌شود بیش برآوردی در مقدار بارش در ماه‌های آوریل و می و بارش ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس توسط سناریوی A2، کم برآورد شده است و در بقیه ماه‌ها تفاوت مقدار بارش بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی می‌باشد. معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل (جدول ۵) محاسبه گردید.

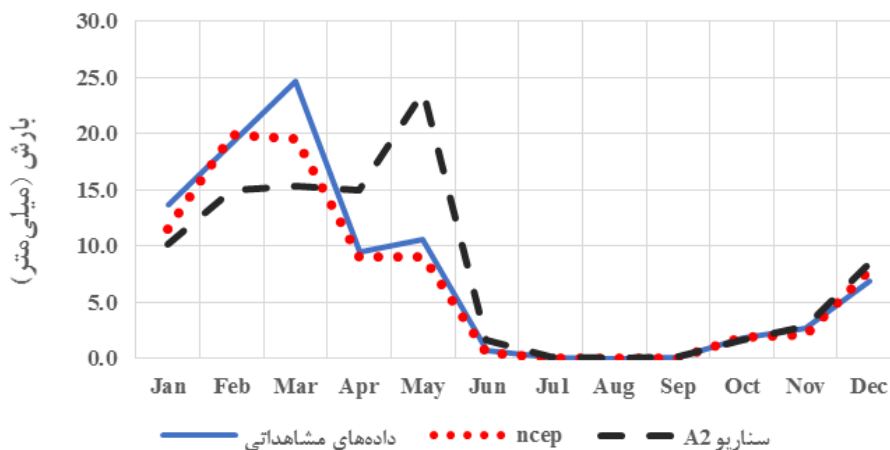
مقادیر MAE و RMSE و NS حاکی از این است که داده‌های شبیه‌سازی شده نسبت به حالت پیش‌بینی دما همخوانی و تطابق کمتری نسبت به داده‌های واقعی دارند ولی در مجموع نتایج حاکی از عملکرد قابل قبول مدل می‌باشد.

دوره آماری موجود برای بارش شهر خور و بیابانک شامل سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱ میلادی می‌باشد. برای دوره واسنجی مدل، داده‌های بارش مربوط به سال‌های ۱۹۸۷-۱۹۹۷ میلادی انتخاب شد. سه متغیر (رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین و واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال) به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شدند. سپس متغیرهای HadCM3 وارد مدل SDSM شد و داده‌های بارش روزانه ریزمقیاس گردید (شکل ۱۰).

در ادامه بارش میانگین ماهانه ایستگاه خور و بیابانک برای دوره پایه پیش‌بینی شد. نتایج در شکل ۱۱، ارائه شده است.



شکل ۱۰- مقایسه بارش میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM در دو دوره واسنجی ۱۹۸۷-۱۹۹۷ (الف) و صحت‌سنجی ۱۹۹۸-۲۰۰۱ (ب) ایستگاه خور و بیابانک



شکل ۱۱- مقایسه بارش میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM، دوره پایه (۱۹۸۷-۲۰۰۱) خور و بیابانک

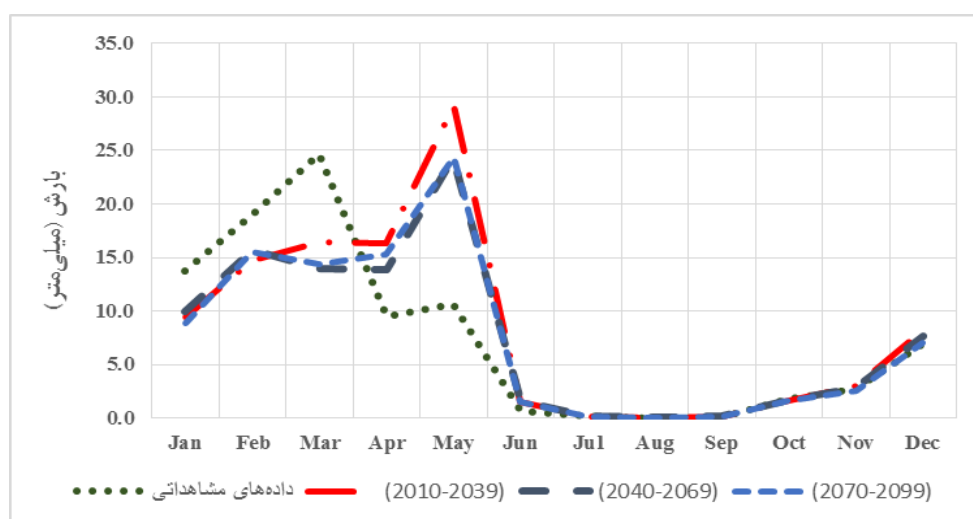
جدول ۵- معیارهای عملکرد مدل SDSM در پیش‌بینی بارش ماهانه ایستگاه خور و بیابانک

میانگین خطای مطلق		مجذور میانگین مربعات خطا			ضریب ناش-ساتکلیف	
اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی
۲/۵۶۸	۳/۲۱۱	۴/۳۵۴	۸/۰۰۶	۵/۱۷۹	۰/۶۳۱	۰/۴۰۵
۵/۳۶۴	۰/۷۰۹					

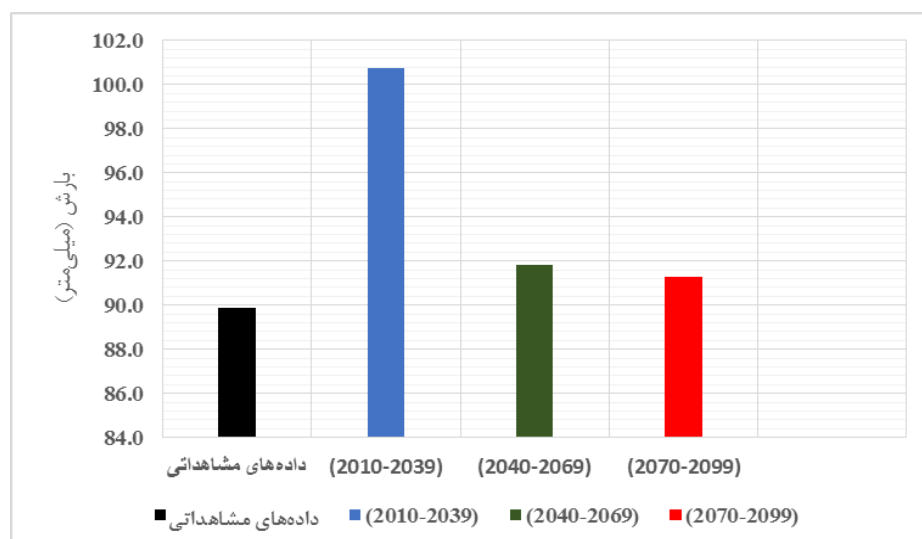
شبیه‌سازی و پیش‌بینی بارش دوره‌های آبی ایستگاه خور و بیابانک

بارش در ماه مارس (۱۰/۲۷ میلی‌متر) در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مشاهده گردید. در مقیاس سالانه در دوره‌های (۲۰۷۰-۲۰۹۹) و (۲۰۴۰-۲۰۶۹)، (۲۰۱۰-۲۰۳۹) میلادی به ترتیب ۱۰/۸۸، ۱/۹۱ و ۱/۳۸ میلی‌متر افزایش در میزان بارش میانگین خور و بیابانک مشاهده گردید (شکل ۱۳).

بارش میانگین پیش‌بینی شده برای سه دوره پیش‌بینی (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) میلادی تحت سناریوی A2، در شکل شماره ۱۲، آورده شده است. نتایج نشان داد، میزان بارش میانگین برای دوره‌های آبی دارای روند افزایشی بود. بیشترین افزایش بارش در ماه می (۱۳/۷۱ میلی‌متر) و بیشترین کاهش



شکل ۱۲- مقایسه بارش میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آبی خور و بیابانک توسط مدل SDSM



شکل ۱۳- مقایسه بارش میانگین سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آبی خور و بیابانک توسط مدل SDSM

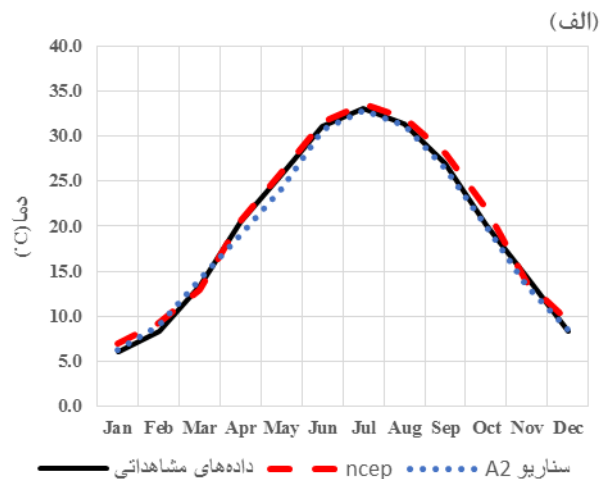
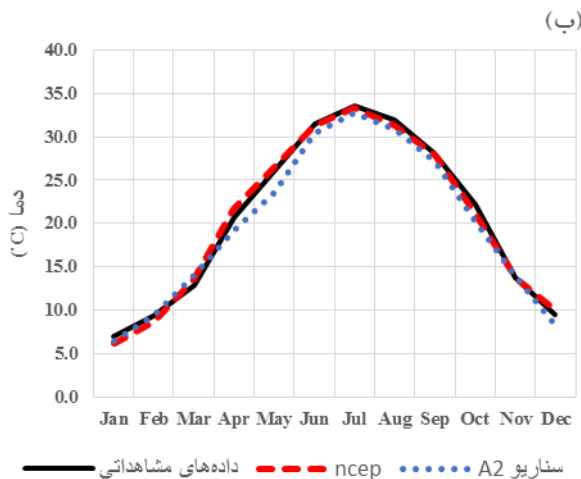
شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای دوره پایه ایستگاه خور و بیابانک

قابلیت و کارایی مدل SDSM، سنجیده شد (جدول ۶). همانطور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود مقدار دمای میانگین در ماه‌های می و ژوئن توسط سناریوی A2، کم برآورد شده است، در بقیه ماه‌ها تفاوت مقدار دمای برآوردی بسیار ناچیز می‌باشد و الگوی تغییرات دمایی به خوبی شبیه‌سازی شده است. برای ارزیابی و سنجش کارایی مدل SDSM، از معیارهای آماری ارزیابی عملکرد مدل استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل در جدول ۶، ارائه شده است.

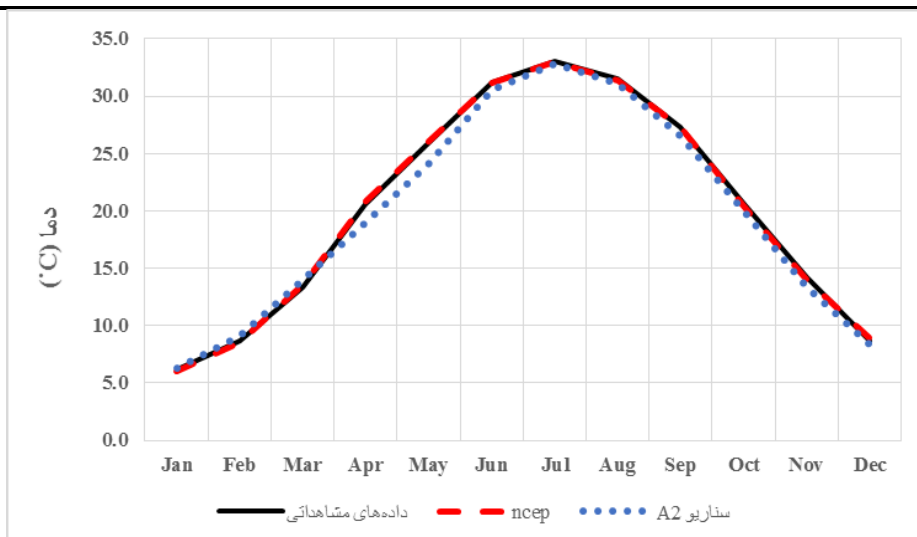
همانگونه که در جدول ۶، ملاحظه می‌شود، پایین بودن مقادیر مربوط به شاخص‌های خطاسنجی MAE و RMSE و بالا بودن مقدار NS حاکی از عملکرد رضایت‌بخش و دقت قابل قبول مدل، در تخمین دمای دوره پایه می‌باشد. نتایج نشان داد به‌طور کلی مدل به خوبی الگوی تغییرات پارامتر هواشناسی منطقه مطالعاتی را شبیه‌سازی نموده است.

دوره آماری موجود برای دمای شهر خور و بیابانک دوره آماری ۱۵ ساله شامل سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱ میلادی می‌باشد که دوره زمانی مذکور به عنوان دوره پایه انتخاب شده است. برای دوره واسنجی مدل، داده‌های مربوط به سال‌های ۱۹۸۷-۱۹۹۷ میلادی انتخاب شد. متغیرهای مستقل بزرگ مقیاس مشاهداتی (NCEP)، طی این سال‌ها انتخاب و وارد مدل شد. سه متغیر (ژئوپتانسیل در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین و میانگین دما در ارتفاع دو متری) با استفاده از همبستگی بین متغیرهای مستقل (پیش‌گو) و پیش‌بینی شونده انتخاب شدند. سپس دمای میانگین روزانه طی دو دوره واسنجی (۱۹۸۷-۱۹۹۷) و صحت‌سنجی مدل (۲۰۰۱-۱۹۹۸) شبیه‌سازی شد (شکل ۱۴).

دمای میانگین ماهانه پیش‌بینی شده دوره پایه برای ایستگاه خور و بیابانک در شکل ۱۵، ارائه شده است. با استفاده از معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل، میزان



شکل ۱۴- مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM در دو دوره واسنجی ۱۹۸۷-۱۹۹۷ (الف) و صحت‌سنجی ۲۰۰۱-۱۹۹۸ (ب) ایستگاه خور و بیابانک



شکل ۱۵- مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM، دوره پایه (۲۰۰۱-۱۹۸۷) خور و بیابانک

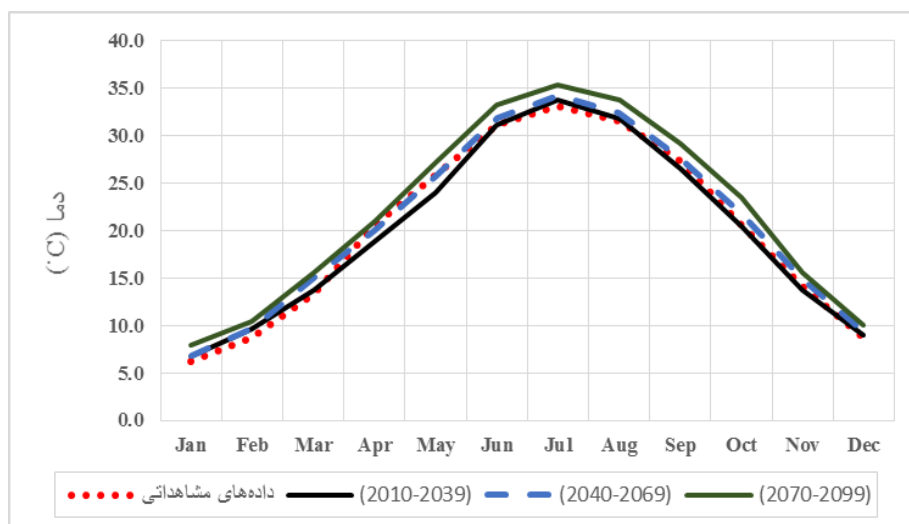
جدول ۶- معیارهای عملکرد مدل SDSM در پیش‌بینی دمای ماهانه ایستگاه خور و بیابانک

ضریب ناش-سانتکلیف		مجدور میانگین مربعات خطا			میانگین خطای مطلق		
دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی	دوره پایه	اعتبارسنجی
۰/۹۹۱	۰/۹۸۱	۰/۸۶۹	۱/۲۵۷	۰/۷۴۰	۰/۷۰۷	۱/۰۷۵	۰/۵۷۶

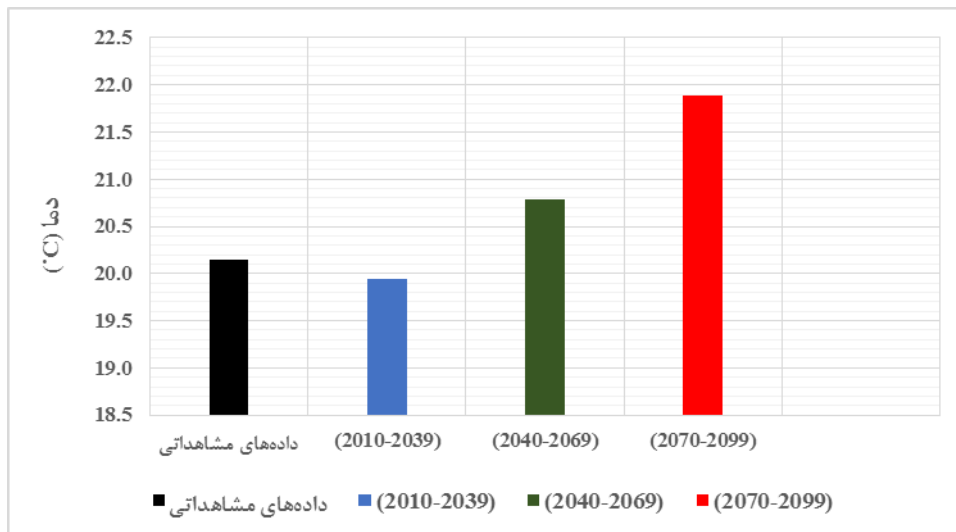
شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای دوره‌های آبی ایستگاه خور و بیابانک

سانتی‌گراد) در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مشاهده گردید. در مقیاس سالانه در دوره‌های (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۱۰-۲۰۶۹) و (۲۰۴۰) و (۲۰۷۰-۲۰۹۹) میلادی به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۲۱ و ۱/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش در میزان دمای میانگین خور و بیابانک مشاهده گردید (شکل ۱۷).

دمای میانگین پیش‌بینی شده برای سه دوره پیش‌بینی (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) میلادی تحت سناریوی A2، در شکل ۱۶، آورده شده است. نتایج نشان داد، میزان دمای میانگین برای دوره‌های آبی در کلیه فصول دارای روند افزایشی بود. بیشترین افزایش دما در ماه اکتبر (۲/۸۵) درجه



شکل ۱۶- مقایسه دمای میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آبی خور و بیابانک توسط مدل SDSM



شکل ۱۷- مقایسه دمای میانگین سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آبی خور و بیابانک توسط مدل SDSM

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی مقادیر مؤلفه‌های اقلیمی، به دلیل مشخص بودن تأثیر معنادار آن‌ها بر جوامع انسانی و سیستم‌های طبیعی، همواره از اهمیت روزافزونی برخوردار بوده است؛ بنابراین پیش‌بینی تغییرپذیری زمانی- مکانی این متغیرها در مقیاس محلی و منطقه‌ای جهت برنامه‌ریزی‌های آبی در سراسر جهان، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است [۱۰]. به‌منظور نیل به هدف ذکرشده، با استفاده از مدل SDSM که به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مرتبط با تغییر اقلیم به‌کار رفته است، داده‌های مدل گردش عمومی HadCM3، ریزمقیاس شده و وضعیت بارش و دمای ایستگاه‌های کاشان و خوروبابانک در استان اصفهان تا سال ۲۰۹۹، الگوسازی شده است. در هر دو ایستگاه، نتایج در مجموع نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل SDSM در مدل کردن میانگین درجه حرارت و توانایی کمتر در مدل کردن بارش است. افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش دمای کره زمین، دمای اقیانوس‌ها و افزایش سطح آب شده که در نهایت موجب افزایش تبخیر از سطح دریا و به‌دنبال آن افزایش رطوبت و بارش در سطح جهان خواهد شد، اما عکس‌العمل تمامی نقاط کره زمین به پدیده گرمایش جهانی صرفاً به صورت افزایش بارش نخواهد بود و به‌دلیل تغییر الگوهای فشاری، برخی نقاط با کاهش بارش نیز مواجه خواهند شد [۴]. در ایستگاه کاشان، نتایج نشان

داد، در دوره زمانی (۲۰۷۰-۲۰۹۹) میلادی حدود ۲/۱۶ درجه سانتی‌گراد افزایش در میزان دمای میانگین سالانه و ۱۶/۹۳ میلی‌متر کاهش در میزان بارش سالانه مشاهده گردید و از آن‌جا که شهر کاشان در نزدیکی ناحیه کویر مرکزی ایران واقع گردیده و از نظر منابع آب‌های سطحی بسیار فقیر بوده و تنها منبع تامین آب شهر از طریق برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی است [۲۱]، کاهش در میزان بارش و عدم هماهنگی آن با فصل رشد در دوره‌های آبی لطمات جبران‌ناپذیری به شهر کاشان وارد خواهد ساخت، که دقت در برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از منابع آب را می‌طلبد. با توجه به روند نزولی بارش میانگین در کاشان پیشنهاد می‌شود تدابیری در جهت مدیریت یکپارچه منابع آب، اصلاح نظام آبیاری و استفاده از روش‌های نوین آبیاری، کاهش تبخیر و استفاده مجدد از فاضلاب و همچنین به‌منظور کاهش مصرف آب در بخش صنعت استفاده از دستگاه‌ها و ابزار مدرن جهت کاهش مصرف آب، اتخاذ گردد. برنامه‌های آینده باید به‌گونه‌ای باشند که تغییرات پیش‌رو اثرات زیان‌بار کمتری را بر منابع آبی این بخش از کشور وارد سازد. در خوروبابانک نیز نتایج نشان داد در دوره‌های آبی در میانگین دما در هر سه دوره روند افزایشی مشاهده شد. در دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) میلادی به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۶۴ و ۱/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش در

غیر درجا و به کارگیری روش‌های استحصال و ذخیره آب باران در منطقه صورت گیرد تا اگر در آینده نتایج محقق گردید بتوان از این آب مازاد استفاده نمود. همانگونه که ذکر شد، میزان بارش خور و بیابانک از روند افزایشی برخوردار بوده که در توافق با نتایج [۲، ۴۲، ۳۰، ۲۷ و ۳۸] می‌باشد.

میزان دمای میانگین خور و بیابانک مشاهده گردید و همچنین بارش در دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) میلادی نسبت به دوره پایه، به ترتیب ۱/۸۸، ۱/۹۱ و ۱/۳۸ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. در مورد روند افزایشی بارش هم پیشنهاد می‌گردد، مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب به منظور تغذیه مصنوعی و جمع‌آوری آب باران به صورت درجا و

References

- [1]. Abkar, A., Habibnajat, M., Solaimani, K., naghavi, H. (2014). Sensitivity of the Statistical Downscaling Model (SDSM) to reanalysis data in arid areas. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 4(2), 11-27. (in Farsi).
- [2]. Ajamzadeh, A., Mollaeinia, M.R. (2016). Assessment of Impact of Climate Change on Firoozabad River Runoff with Downscaling of Atmospheric Circulation Models Output by SDSM and LARS-WG Softwares. *Iran water resources research Journal*, 12(1), 95-105, (in Farsi).
- [3]. Alijani, B., Ghavidel Rahimi, Y. (2005). Comparison and prediction of annual temperature changes in Tabriz with abnormal temperature of earth using by linear regression and artificial nervous network methods. *Geography and Development Iranian Journal*, 6: 22-37. (in Farsi).
- [4]. Babaeian, I., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibe, M., Adab, H., Malbisei, S.H. (2014). Climate Change Assessment over Iran during 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Model. *Geography and development Iranian journal*, 7(16):135-152. (in Farsi).
- [5]. Banihabib, M.E., Hasani, K., Massah Bavani, A.R. (2016). Assessment of Climate Change Effects on Shahcheraghi Reservoir Inflow. *Journal of water and soil*, 30(1):1-14, (in Farsi).
- [6]. Behmanesh, J., Azad Talatappeh, N., Montaseri, M., Rezayi, H., Khalili, K. (2015). Climate Change Impact on Reference Evapotranspiration, Precipitation Deficit and Vapor Pressure Deficit in Urmia. *Journal of Water and soil science*, 25(2):79-91. (in Farsi).
- [7]. Campozano, L., Tenelanda, D., Sanchez, E., Samaniego, E., Feyen, J. (2016). Comparison of Statistical Downscaling Methods for Monthly Total Precipitation: Case Study for the Paute River Basin in Southern Ecuador. *Advances in Meteorology*, 13p.
- [8]. Chen, H., Xu, C.H., Gue, S.H. (2012). Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology*, 434-435:36-45.
- [9]. Ghandhari, G.H., Soltani, J., Hamidian Pour, M. (2015). Evaluation of Optimal Water Allocation Scenarios for Bar River of Neishabour Using WEAP Model Under A2 Climatic Changes Scenario. *Journal of water and soil*, 29(5):1158-1172. (in Farsi).
- [10]. Ghanghermeh, A., Roshan, G.R., Orosa, J., Calvo-Rolle, L., Costa Ángel, M. (2013). New climatic indicators for improving Urban Sprawl a case study of Tehran city. *Entropy*, 15: 999-1013.
- [11]. Ghosh, S., Mujumdar, P.P. (2008). Statistical downscaling of GCM simulations to streamflow using relevance vector machine. *Advances in Water Resources*, 31(1):132-146.
- [12]. Gulacha, M.M., Deogratias, M., Mulungu, M. (2017). Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 2015, 100:62-72.
- [13]. Hessami, M., Gachon, P.H., Ouarda, T.B.M.J., St-Hilaire, A., 2008. Automated regression based statistical downscaling tool. *Environmental Modelling and Software*, 23(6):813-834.

- [14]. Hundecha, Y., Bárdossy, A. (2008). Statistical Downscaling of Extremes of Daily Precipitation and Temperature and Construction of their Future Scenarios. *International Journal of Climatology*, 28: 589-610.
- [15]. Khalili, A., Hajam, S., Irannezhad, P. (1992). Integrated water plan of Iran Vol. 4: meteorological studies, climatical classification map 1964–1984. Jamab Consulting Engineering Co., The Ministry of Energy, Tehran.
- [16]. Kouhi, M., Sanaei Nejad, H. (2014). Evaluation of Climate Change Scenarios based on Two Statistical Downscaling Methods for Reference evapotranspiration in Urmia region. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 3(12):95-109. (in Farsi).
- [17]. Lakzaianpour, G.H., Mohamadrezapour, O., Malmir, M. (2016). Evaluating the Effects of Climatic Changes on Runoff of Nazloochaei River in Uremia Lake Catchment Area. *Geography and development Iranian journal*, 14(42):183-198. (in Farsi).
- [18]. Li, H., Yang, X. (2014). Temperate dryland vegetation changes under a warming climate and strong human intervention—with a particular reference to the district XilinGol, Inner Mongolia, China. *CATENA*, 119: 9-20.
- [19]. Mavrakis, A., Papavasileiou, H. (2013). NDVI and E. de Martonne Indices in an Environmentally Stressed Area (Thrasio Plain – Greece), *Procedia Technology*, 2013; (8): 477–481.
- [20]. Meena, P.K., Khare, D., Nema, M.K. (2013). Constructing the downscale precipitation using ANN model over the Kshipra river basin, Madhya Pradesh. *Journal of Agrometeorology*, 18 (1): 113–119.
- [21]. Miranzadeh, M.B., Mahmoodzadeh, A.A., Hasanzadeh, M., Bigdeli, M. (2011). Concentrations of Heavy Metals in Kashan Water Distribution Network in 2010. *Journal of health*, 2(3):56-66. (in Farsi).
- [22]. Mokhtarihashi, H. (1999). Examination of Iran's Hydropolitics Condition. *Journal of law & political sciences*, 13:127-159. (in Farsi).
- [23]. Nury, A.H., Alam, M.J.B. (2006). Performance Study of Global Circulation Model HADCM3 Using SDSM for Temperature and Rainfall in North-Eastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, 6 (1): 87-96.
- [24]. Pirnia, A., Habibnejad Roshan, M., Solaimani, K. (2015). Investigation of Precipitation and Temperature Changes in Caspian Sea Southern Coasts and Its Comparison with Changes in Northern Hemisphere and Global Scales. *Journal of Watershed Management Research*, 6(11):90-100. (in Farsi).
- [25]. Pope, V., Gallani, M., Rowtree, P., Stratton, R. (2000). The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model. *Climate Dynamics*, 16:123–146.
- [26]. Rahimi, J., Ebrahimpour, M., Khalili, A. (2013). Spatial changes of Extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 112: 409–418.
- [27]. Rezaei, M., Nohtani, M., Moghaddamia, A.R., Abkar, A., Rezaei, M. (2014). Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Precipitation in Arid and Hyper arid Regions. *Journal of Water and Soil*, 28(4):835-846. (in Farsi).
- [28]. Roohipanah, F., Mirrokni, S.M., Massah Bavani, A.R. (2016). Capability assessment of SDSM model in downscaling of temperature and precipitation in hot and dry climate (case study: Synoptic stations of Yazd and Tabass). *Iranian Journal of Geophysics*, 9 (4): 104–125. (in Farsi).
- [29]. Sadeghi, S.H. (2007). Hydropolytic and water crisis: Future challenges in Middle East and Persian Gulf. *Political & Economic Ettelaat*, 115-116: 200-207. (in Farsi).
- [30]. Salmani, H., Rostami Khalaj, M., Rouhani, H., Mohamadi, M., Tali Khoshk, S. (2015). Evaluation of Hydrological Response Ghazaghli Watershed of Golestan during the Future Period by Affected of Climate Change. *Journal of Watershed Management Research*, 6(11):24-35. (in Farsi).
- [31]. Shahnaghi, N., Parsinejad, M., Araghinejad, S.H., Mirzaei, F. (2011). Climate changes and its impact on water resources and consumption, 4th Iran Water Resources

- Management Conference, Amirkabir University. (in Farsi).
- [32]. Shahriar Pervez, M.D., Henebry, G.M. (2014). Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation—Downscaled from GCM predictors. *Journal of Hydrology*, 517: 120–134. (in Farsi).
- [33]. Sheidaeiian, M., Ziatabar Ahmadi, M.KH. Fazloulou, R. (2016). Study on Climate Change Effect on Net Irrigation Requirement and Yield for Rice Crop (Case Study: Tajan Plain). *Journal of water and soil*, 28(6):1284-1297. (in Farsi).
- [34]. Sobhani, B., Eslahi, M., Babaeian, I. (2016). Efficiency of Statistical Downscaling Models of SDSM and LARS-WG in the Simulation of Meteorological Parameters in Lake Urmia Basin. *Physical geography research quarterly*, 47(4):499-516. (in Farsi).
- [35]. Souvignet, M., Gaese, H., Ribbe, L., Kretschmer, N., Oyarzun, R. (2010). Statistical downscaling of precipitation and temperature in north- central Chile: an assessment of possible climate change impacts in an arid Andean watershed. *Hydrological Sciences Journal*, 55(1), 41-57.
- [36]. Stocker, T.F., Dahe, Q., Plattner, G.K. (2013). The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of IPCC: Summary for Policymakers.
- [37]. Taei Semiromi, S., Moradi, H.R., Khodagholi, M. (2014). Simulation and prediction some of climate variable by using multi line SDSM and Global Circulation Models (Case study: Bar Watershed Nayshabour). *Human & Environment*, 12 (28):1-15. (in Farsi).
- [38]. Toews, M.W., Allen, D.M. (2009). Evaluating different GCMs for predicting spatial recharge in an irrigated arid region. *Journal of hydrology*, 374:265-281.
- [39]. Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow, E.M. (2002). SDSM- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Journal of Environmental Modeling and Software*, 17: 147-159.
- [40]. Willems, P., Nielsen, K.A., Olsson, J., Nguyen, V. T. V. (2012). Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. *Atmospheric research*, (103): 106-118.
- [41]. Zarghami, M., Abdi. A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., Kanani, R. (2011). Impacts of Climate Change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Plantary Change*, 78: 137 146.
- [42]. Zhang, Y., You, Q., Chen, C.H., Jing, G.E. (2016). Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China. *Atmospheric research*, 178-179: 521-534.

Assessing the impact of climate change on rainfall and temperature variability (Case Study: Kashan and Khur and Biabank Stations)

- 1- M. Rezaei, Ph.D. student in Watershed Management Engineering and Science, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran
- 2- H. Ghasemieh, Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

Received: 15 July 2018

Accepted: 18 Jan 2019

Abstract

General circulation models (GCMs) have been used to predict future climate change by climate agencies. GCMs outputs as local interfaces have larger spatial resolution than the simulated variables. In the present study, the Statistical Downscaling Model (SDSM) was applied to estimate the variability of rainfall and temperature in Kashan and Khur and Biabank synoptic stations in Isfahan Province, based on climate change scenario downscaled from HadCM3 Model. For this reason, firstly, the variation of mean temperature and rainfall for base period was investigated under A2 scenario of HadCM3 model using the daily long-term data from the stations. The estimation and prediction of future periods (2039-2010), (2069-2040) and (2099-2070) was then carried out. The results showed that in both stations, simulated temperature and rainfall values had a close consistence with observed values, but the performance of downscaling process in rainfall prediction was less than temperature during calibration and validation periods. Results showed that for Kashan station the mean temperature will change by 0.42, 1.08 and 2.16°C during (2010-2039), (2040-2069) and (2070-2099) for A2 scenario as compared to the baseline period (1987-1987). The results also showed a decrease in average temperatures in January, February, March, September and December, and an increase in other months. The results of Khur and Biabank station also showed that temperature will continuously increase in the region. Furthermore, the average annual rainfall increases 1.38 mm under scenario A2 during the prediction period (2070-2099) compared to the observation period.

Keywords: Climate Change; Statistical Downscaling; A2 Scenario; NCEP; SDSM Model; Iran.