

پیش‌بینی دما و بارش با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم و مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری (مطالعه موردی: جنوب استان کرمان)

فرشاد سلیمانی ساردو^۱، طیبه مصباح زاده^{۲*}

۱ استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، ایران
۲ دانشیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۰۸)

چکیده

امروزه تغییر اقلیم یکی از چالش‌های مهم محیط‌زیستی در قرن ۲۱ شناخته می‌شود گرمایش زمین هم‌زمان با کاهش در میزان بارش اثرات تغییر اقلیم را شدیدتر کرده است. در همین راستا با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری و سناریوهای تغییر اقلیم (A2 و B2) به پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش در منطقه جنوب استان کرمان پرداخته شده است. نتایج نشان داد که مقادیر بارش در دوره آتی نسبت به حالت پایه در ایستگاه سینوپتیک بم به میزان $7/32$ و $8/46$ میلی‌متر به ترتیب در سناریو A2 و سناریو B2 افزایش می‌یابد از طرفی در ایستگاه سینوپتیک جیرفت متوسط دمای فصل‌ها در سناریوی A2 ($24/79$ ، $8/88$ ، $17/38$ و $-5/48$) درصد افزایش دما در فصل بهار و تابستان و کاهش دما در فصل پاییز و زمستان هست و این مقادیر در سناریو B2 به ترتیب ($26/41$ ، $8/10$ ، $16/65$ و $-6/27$) درصد افزایش دما در فصل بهار و تابستان و کاهش دما در فصل پاییز و زمستان است.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، مدل SDSM، افزایش دما، کاهش بارش، جنوب استان کرمان

سرآغاز

تغییرات اقلیمی در حال حاضر اثرات قابل توجهی بر روی بسیاری از مولفه‌های چرخه آب، به‌خصوص در بارش، پوشش برف، رطوبت خاک، رواناب سطحی، فشار آب جوی و تبخیر و تعرق دارند (Bates et al., 2008). باوجود پیشرفت‌های صورت گرفته در جوامع علمی انتظار می‌رود در شرایط افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، اقدامات سازگاری به‌فوری در نظر و مورد بررسی گرفته شود (Refsgaard et al., 2013). از طرفی برآورد اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر منابع آب نشان‌دهنده یکی از سخت‌ترین چالش‌هایی است که مدیران آب با آن مواجه شده‌اند (Fowler et al., 2003; Christensen et al., 2004; VanRheenen et al., 2004). به‌طور کلی تغییر در اقلیم آینده، چرخه آب‌شناسی منطقه‌ای را تغییر می‌دهد و سپس بر روی کمیت و کیفیت منابع آب منطقه‌ای تاثیر می‌گذارد. اثر تغییرات اقلیمی بر روی منابع آب سطحی به‌طور مستقیم از راه تغییر در پارامترهای بلندمدت عمده اقلیمی مانند بارش، دمای هوا و تبخیر و تعرق است (Gleick et al., 1989; Mikko et al., 2007). با توجه به افزایش بهره‌برداری انسان از طبیعت در دهه‌های اخیر و تاثیر عوامل مختلف از جمله پدیده‌های تغییر اقلیم، خشک‌سالی و غیره سبب تغییر در پایداری و ثبات حوزه آبخیز به‌عنوان یک اکوسیستم طبیعی شده است. بنابراین یکی از قسمت‌های حیاتی حوزه‌های آبخیز منابع آب و بخش‌های هیدرولوژیکی است که به جرات می‌توان گفت همه بخش‌های حوزه‌های آبخیز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین، امروزه آب، این منبع حیاتی، به‌عنوان یکی از عوامل تشکیل و بقای محیط‌زیست بیش از هر زمان دیگر تحت تاثیرات اقلیمی قرار گرفته است (Choobin et al., 2013). مطالعه و بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز از جمله رواناب از اهمیت خاصی در بحث مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب برخوردار است. بنابراین، در بین عوامل مختلف تاثیرگذار بر چرخه هیدرولوژی، پارامترهای بارش، دمای حداکثر و حداقل و رواناب را می‌توان از جمله مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز معرفی کرد. از طرفی پایداری منابع آب، به‌خصوص منابع تولید بخش کشاورزی (آب، خاک و هوا) وابستگی شدیدی به رعایت جنبه‌های کمی و کیفی آن‌ها دارد. بنابراین، نظارت و بررسی این دو پارامتر از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با وجود این که تحقیقات و بررسی‌های زیادی بر کمیت منابع آب

صورت گرفته، ولی جنبه کیفی به‌اندازه کافی تحت پوشش تحقیقات و بررسی‌ها قرار نگرفته است. در مقایسه مدل‌های مختلف آب‌وهوایی منطقه‌ای و روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری برای برآورد بارندگی‌های شدید تحت تغییرات آب‌وهوایی، به بررسی پنج روش ریزمقیاس نمایی آماری پایه بر اساس تغییرات متداول روش عامل حاصل از نتایج چهار RCM مختلف، توسط GCM های مختلف پرداختند (Sunyer et al., 2012). در این روش بازه‌های زمانی بارش برای سناریوی A1B برای منطقه‌ای در جنوب کپنهاگ در یک دوره زمانی بین ۲۰۷۱-۲۱۰۰ برای پیش‌بینی تغییرات آب‌وهوایی پرداخته شده است. در مطالعه‌ای به بررسی اثر پتانسیل تغییر اقلیم بر گندم در نواحی شمالی و مرکزی تانزانیا پرداختند که در این تحقیق از داده‌های اقلیمی خروجی مدل ARPEGE، تحت سناریو A1B در دوره زمانی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ استفاده کردند. طبق نتایج حاصل از این مطالعه آن‌ها دریافتند که درجه حرارت در هر دو ناحیه افزایش می‌یابد اما بارندگی بسته به منطقه و زمان معینی از سال افزایش یا کاهش می‌یابد (Humme et al., 2009). در مطالعه‌ای مقایسه‌ای شبکه عصبی برگرداندن IHACRES در مدل‌سازی جریان روزانه رودخانه پرداختند. آن‌ها برای این کار از دو مدل پیوندگرای پرسپترون چندلایه پیش‌خور (mlp) و دیگری شبکه جردن برگرداندن عصبی (JNN) استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده تنها از TDL سبب بروز ضعف می‌شود اما در استفاده از JNN بهبود قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌شود و در استفاده از مدل IHACRES برای مطالعات تطبیقی به این نتیجه رسیدند که هنگام در دسترس نبودن داده‌های ورودی مدل‌های متریک IHACRES بهتر از مدل‌های مفهومی عمل می‌کند (Carcan et al., 2008). اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای کیفی آب رودخانه را تحت ۶ سناریوی فرضی تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دادند. این ۶ سناریو بر اساس تحلیل تاریخچه‌ای داده‌های دبی رودخانه و دمای هوا استوار است. آن‌ها با در نظر گرفتن کاهش در میزان دبی و افزایش در دمای هوا و ارتباطی که بین دمای هوا و دمای آب رودخانه برقرار نمودند. ۶ سناریو فرضی را این‌گونه تعریف کردند ۰٪، ۱۰٪- و ۲۰٪- تغییرات در دبی رودخانه و افزایش ۰٪، ۱+ و ۲+ درجه در دمای هوا، آن‌ها بیان کردند که این ۶ سناریو تاثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر میزان اکسیژن محلول، افزایش BOD و افزایش دمای آب دارد. بر اساس نتایج، کاهش غلظت اکسیژن

تغییرات ناگهانی و روند بوده و مطالعه اثر تغییر اقلیم و استفاده از سناریوی تغییر اقلیم در منطقه مطالعاتی بر جریان آب رودخانه آجی چای ضروری است. (Mohamadzadeh et al., 2015) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب‌های سطحی حوزه تالارسر- چهل شهیدان استان مازندران، بیان داشتند که پیش‌بینی تغییر اقلیم با استفاده از مدل LARS-WG حاکی از افزایش چشمگیر مقدار بارش، مینیمم و ماکزیمم دما و کاهش مخصوص ساعات آفتابی در منطقه بودند. در بخش دیگری از تحقیق، جهت شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر روی دبی، با استفاده از مدل هوشمند بارش رواناب TANK-Model نتایج حاکی از افزایش مقدار دبی در دوره ۳۰ ساله آینده و افزایش پیک دبی‌های پیش‌بینی شده نسبت به پیک دبی‌های مشاهداتی است. (Naderi et al., 2017) به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوزه سیمره از مدل SDSM استفاده کردند و پارامترهای بارش و دمای میانگین را در دوره آینده شبیه‌سازی نمودند نتایج نشان داد نتایج حاکی از آن است که میانگین دمای حوزه در دوره 2021-2050 نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۷۹) با افزایش ۱/۷ درجه سانتی‌گراد روبه‌روست و میانگین بارش حوزه کاهش ۴۷ درصد را نشان می‌دهد. (Asakare & Akbarzadeh, 2017) به‌منظور شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۰۱۰) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2 استفاده کردند نتایج خروجی مدل ریزمقیاس‌نمایی نشان می‌دهد که در دوره‌های آینده، دما در ایستگاه تبریز بر اساس سه سناریوی مورد بررسی افزایش خواهد یافت. (Asakareh & Shahmansoori 2016) با استفاده از مدل SDSM به بررسی و پیش‌بینی تغییرات دمای ایستگاه اراک بر اساس مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری پرداختند نتایج نشان داد دمای اراک روندی افزایشی خواهد داشت، به‌گونه‌ای که دمای میانگین، کمینه و بیشینه اراک به ترتیب از ۱۳/۹۸، ۷/۱۱، و ۲۰/۸۳ تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۴/۵، ۷/۸، و ۲۳/۲ درجه سلسیوس خواهد رسید. (Rezaei et al., 2013) به بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم) پرداختند نتایج نشان داد که این مدل در منطقه خشک نسبت به منطقه فراخشک از کارایی بالاتر و دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی دما برخوردار است. همچنین

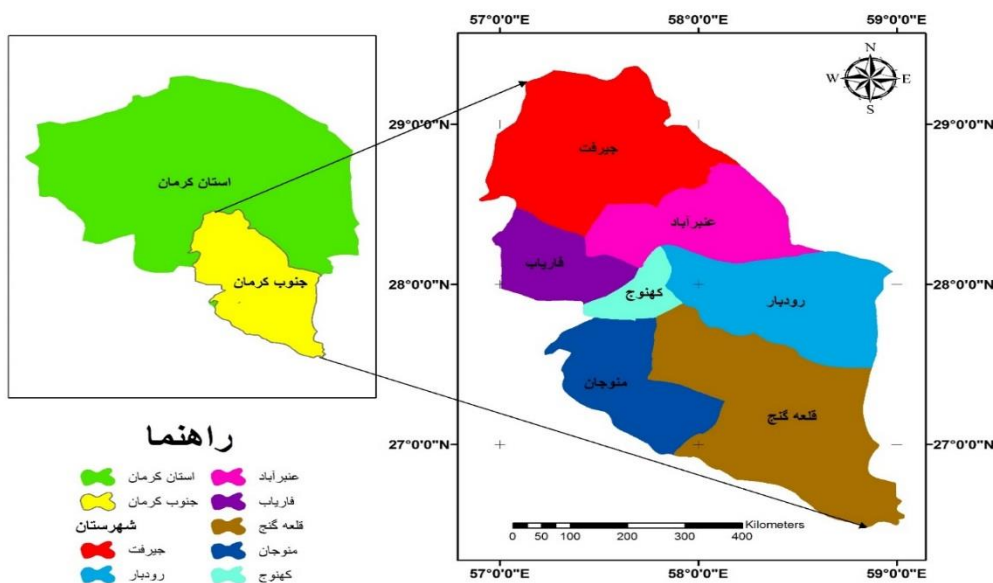
محلول تا ۲۰/۱ mg/l برای سناریوی بحرانی ۲۰٪ کاهش دبی و ۲+ درجه افزایش دمای هوا به وقوع پیوسته است. همچنین مشخص شد که کاهش دبی رودخانه، سبب افزایش غلظت آلاینده‌ها در ستون آب شده است (Rehana & Mujumdar, 2011). همچنین در تحقیقی به بررسی آثار تغییر اقلیم بر سطح و بیلان آب زیرزمینی دشت سفیددشت در استان چهارمحال و بختیاری در دوره‌های آتی از مدل GMS جهت شبیه‌سازی آبخوان و از مدل جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی ماهانه (بارش و دما) پرداخته شد. این داده‌ها به‌وسیله روش LARS-WG برای منطقه ریزمقیاس شدند. برای شبیه‌سازی رواناب منطقه در دوره آتی، ابتدا مدل بارش-رواناب IHACRES با داده‌های ماهانه (دما، بارش و رواناب) مشاهداتی واسنجی شده و سپس متغیرهای اقلیمی تولیدی از مدل LARS-WG به این مدل معرفی گردید. در نهایت رواناب و بارش تولیدی در دوره آتی تحت عنوان تغذیه به مدل آب زیرزمینی GMS وارد شده و اثر این تغییر در سطح ایستابی و بیلان آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج قابلیت متدولوژی این تحقیق را در شبیه‌سازی سطح و بیلان آبی یک آبخوان تحت شرایط تغییر اقلیم در سناریو A2 نشان داد (Ansari, 2011). (Naderi Bani et al., 2013) به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر در دوره‌های آتی در حوزه بهشت‌آباد پرداختند آن‌ها در این کار از ۷ مدل گردش عمومی جو تحت دو سناریوی A2 و B1 و از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌سازی و مدل HEC-HMS جهت پیش‌بینی دبی روزانه استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان از افزایش و کاهش بیشتر دما و بارش در سناریوی A2 نسبت به سناریوی B1 بود که این افزایش و کاهش به ترتیب ۱ و ۲ درجه سانتی‌گراد برای دما و ۲۰ درصد برای بارش بوده است همچنین دریافتند که مدل GFDL-CM2.1 مدل اقلیمی مناسب‌تری است. همچنین نتایج نشان داد که دبی حداکثر رواناب شبیه‌سازی شده در دوره اول و دوم به ترتیب ۲۱ درصد و ۱۹ درصد افزایش داشته است. (Kazemzadeh et al., 2015) پدر ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز آجی چای با استفاده از مدل SDSM و پنج مدل داده کاوی و هوشمند شامل M5 M5, Rules, SVM, و ANFIS جهت مدل‌سازی بارش- رواناب نتیجه گرفتند که متغیرهای اقلیمی در طول ۴ دهه گذشته دارای

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

جنوب استان کرمان مجموعه شهرستان‌های جیرفت، کهنوچ، عنبرآباد، منوجان، قلعه گنج، فاریاب و رودبار جنوب هست (شکل ۱).

نتایج بیانگر افزایش دما در تمام ماه‌های سال برای هر دو ایستگاه است. هدف از این مطالعه پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در منطقه جنوب استان کرمان هست.



شکل (۱): موقعیت سیاسی و جغرافیایی جنوب کرمان در استان کرمان

ایستگاه‌های سینوپتیک بم، جیرفت و کهنوچ که دارای روند معنی‌دار می‌باشند و از طرف دیگر از آمار روزانه کافی برخوردار هستند، برای انجام مدل‌سازی استفاده شدند. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (۱) بیان شده است.

روش پژوهش

داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل دمای روزانه (حداقل، متوسط، حداکثر) و بارش روزانه است. در این مطالعه از

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک بم، کهنوچ و جیرفت

سال‌های آماری	نوع ایستگاه	ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	منطقه	نام ایستگاه
۱۳۹۵-۱۳۶۹	سینوپتیک	۷۲۲	۳۱۷۳۵۰/۴۵	۵۷۳۴۳۷/۱۸	جیرفت	جیرفت
۱۳۹۵-۱۳۳۵	سینوپتیک	۱۰۶۶/۹	۳۲۱۹۶۳۷	۶۳۰۱۵۱/۸۸	بم	بم
۱۳۹۵-۱۳۷۰	سینوپتیک	۴۶۹/۷	۳۱۵۰۰۱۵۴/۹۴	۵۷۳۳۶۰/۱۶	کهنوچ	کهنوچ

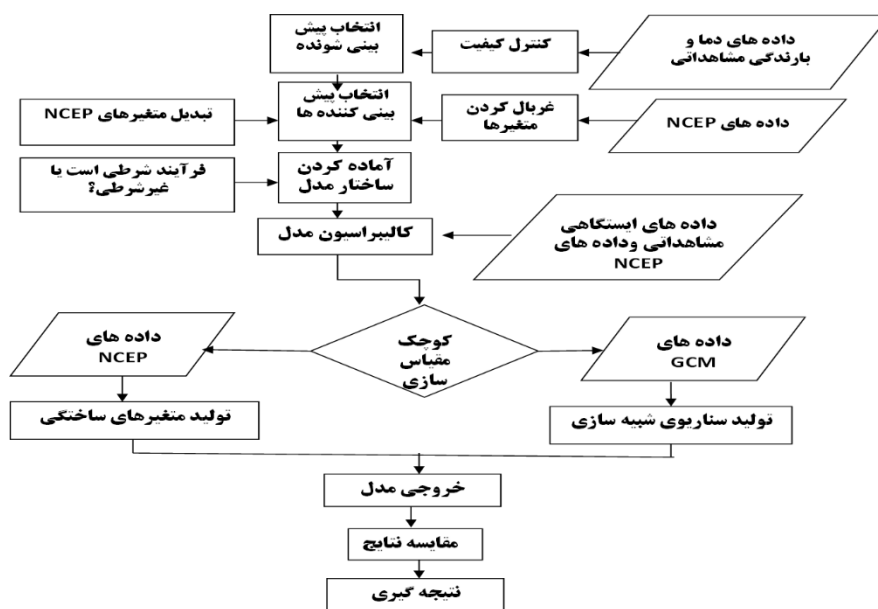
اولین ابزارهای کمکی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم محلی است. این مدل بر اساس داده‌های روزانه اقلیمی محلی (بارش و دما) و داده‌های بزرگ‌مقیاس ناحیه‌ای NCEP تنظیم می‌شود. بعد از آن، آب‌وهوای روزانه محلی برای دوره‌های پایه و آینده را با استفاده از متغیرهای بزرگ جوی ناشی شده از مدل‌های اقلیم

مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM)

در این تحقیق برای بررسی تغییرات دما و بارش در منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار SDSM4.2 در فرآیند ریزمقیاس‌سازی آماری استفاده شده است. مدل ریزمقیاس‌سازی SDSM در سال ۲۰۰۲ در انگلستان توسط ویلبای و داونسون توسعه یافت. این مدل جز

ویندوزی است که قابلیت اجرا بر روی کامپیوترهای شخصی را دارد. نحوه کارکردن با این مدل ساده است و کاربر می‌تواند در زمان کوتاه و با کمترین هزینه داده‌های مدل‌های گردش عمومی را به صورت ایستگاهی ریزمقیاس‌کننده (شکل ۲).

جهانی شبیه‌سازی می‌کند. این مدل ترکیبی از مدل مولدهای آب‌وهوای رگرسیون است و برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای ریزمقیاس‌محلی و متغیرهای بزرگ‌مقیاس جوی از داده‌های مستقل مشاهداتی استفاده می‌کند. مدل SDSM یک نرم‌افزار



شکل (۲): مراحل بررسی تغییرات دما و بارش در مدل SDSM

سری‌های تاریخی به صحت‌سنجی مدل کالیبره شده پردازد. همچنین این بخش قادر به ساخت داده‌های گمشده تاریخی و پر کردن آن‌ها است.

تولید سناریوهای اقلیمی آینده

در این مرحله نرم‌افزار با کمک فایل مدل کالیبره شده و برای دوره تاریخی و آینده تعیین‌شده توسط کاربر و با توجه به تعداد دسته‌های سری زمانی مورد نیاز کاربر، دسته‌های مختلف از سری‌های زمانی را برای آینده پیش‌بینی می‌کند. به این ترتیب در ایستگاه‌های موردنظر سناریوهای جهت آینده اقلیم محلی ساخته می‌شوند. در بخش تولید داده‌های تاریخی طول دوره تاریخی که برای صحت‌سنجی در منطقه گرفته می‌شود، باید با طول دوره تاریخی که برای واسنجی در نظر گرفته می‌شود برابر باشد. بنابراین، معمولاً برای واسنجی نیمی از داده‌ها و برای صحت‌سنجی هم حدود نیمی دیگر از داده‌ها را به کار می‌برند.

یافته‌ها

نتایج واسنجی مدل SDSM در ایستگاه‌های سینوپتیک جیرفت،

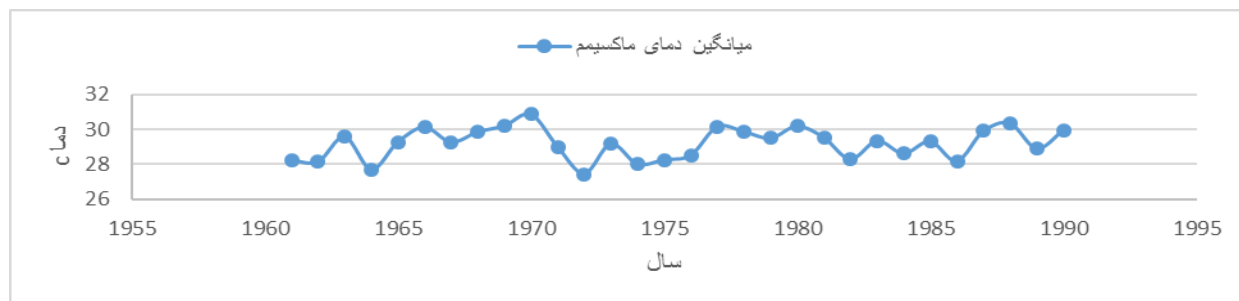
واسنجی مدل

مدل SDSM، از یک الگوریتم بهینه‌سازی خاص پیروی می‌کند که نویسندگان مدل با توجه به سال‌ها تجربه در انجام عملیات ریزمقیاس‌کردن و بررسی روش‌های مختلف ریزمقیاس‌کردن آماری ارائه نموده‌اند. در این مرحله کاربر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پیش‌بینی‌شونده را به مدل معرفی کرده و شرایط خاص مساله از قبیل انجام یا عدم انجام تحلیل چاو، در نظر گرفتن تورم آتورگرسیو، انجام تحلیل پسماندها، فصلی یا ماهانه و یا سالانه بودن و شرطی یا غیرشرطی بودن عملیات واسنجی را برای مدل تعیین می‌کند. در صورت انتخاب آزمون چاو فرآیند مدل‌سازی کندتر انجام می‌شود به خصوص زمانی که بهینه‌سازی سیپلکس مضاعف انتخاب شود.

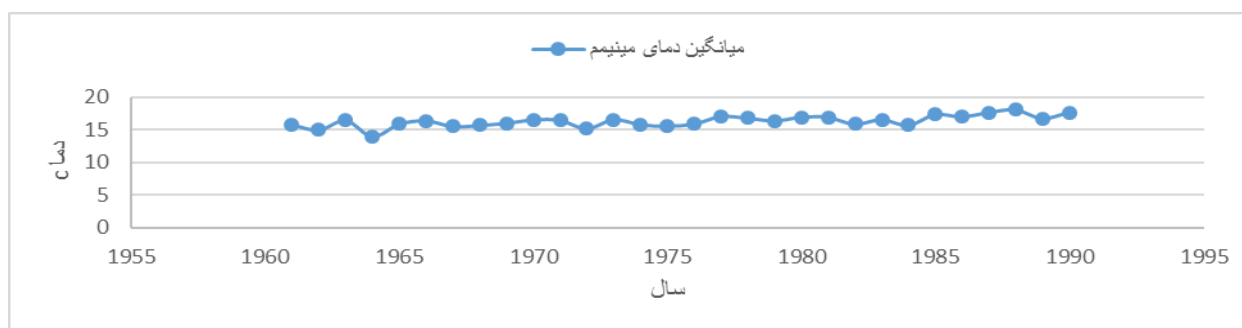
تولید داده‌های تاریخی و صحت‌سنجی مدل

در این مرحله مدل SDSM دسته‌هایی از سری‌های زمانی آب‌وهوای روزانه را برای متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و مدل رگرسیونی کالیبره شده تولید می‌کند. این قسمت از نرم‌افزار می‌تواند با تولید سری‌های زمانی مصنوعی و مقایسه‌ی آن‌ها با

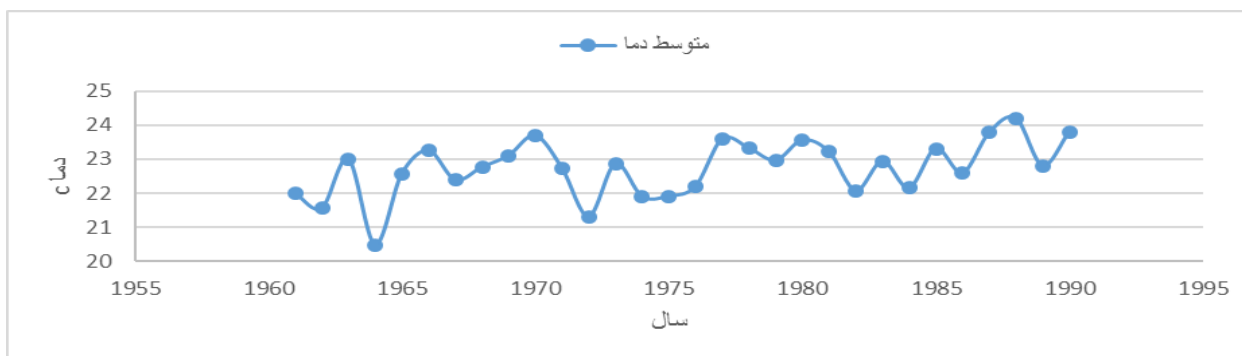
کهنوج و بم برای پارامترهای بارش و دما در نمودارهای زیر نشان داده شده است.



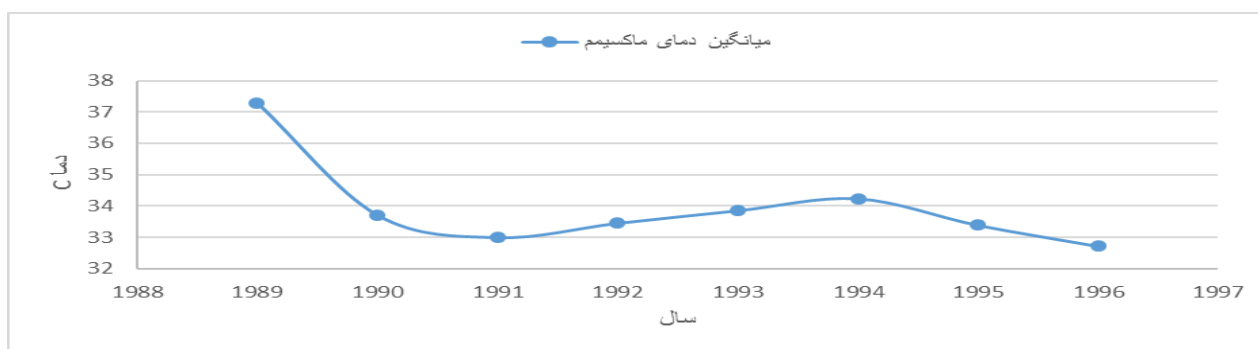
شکل (۳): نمودار متوسط دمای ماکزیمم در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک بم (۱۳۶۹-۱۳۴۰)



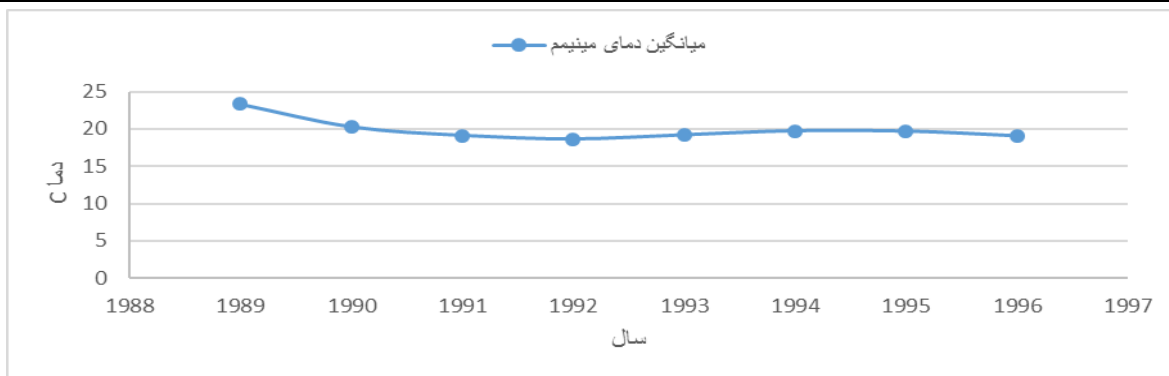
شکل (۴): نمودار متوسط دمای مینیمم در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک بم (۱۳۶۹-۱۳۴۰)



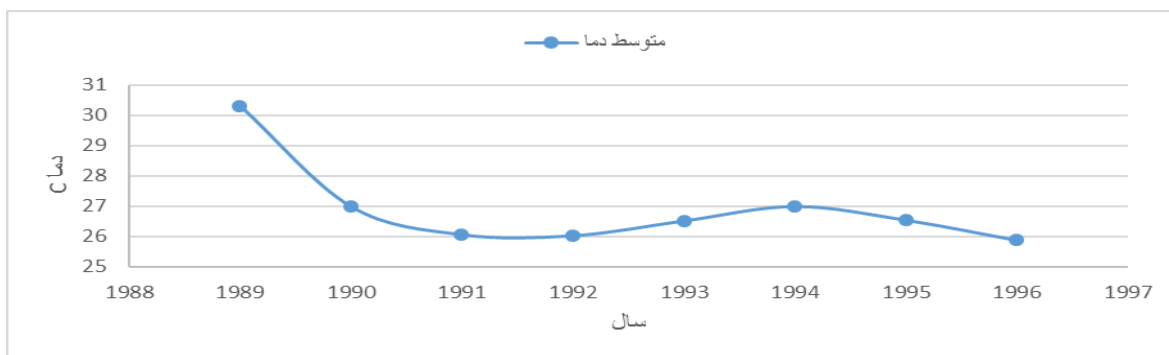
شکل (۵): نمودار دمای متوسط سالانه در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک بم (۱۳۶۹-۱۳۴۰)



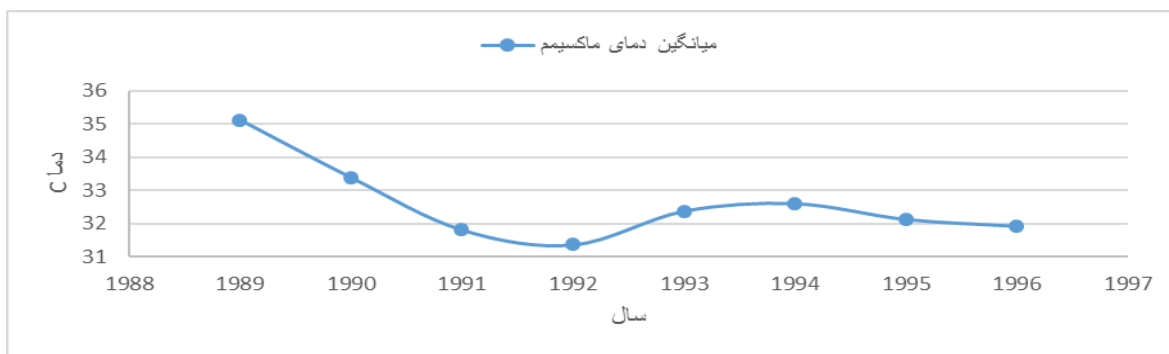
شکل (۶): متوسط دمای ماکزیمم در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک کهنوج (۱۳۶۸-۱۳۷۶)



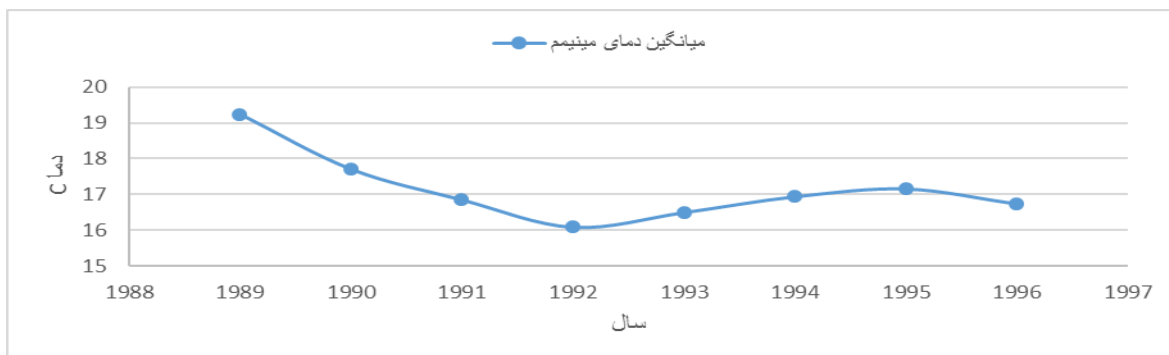
شکل (۷): نمودار متوسط دمای مینیمم در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک کهنوج (۱۳۶۸-۱۳۷۶)



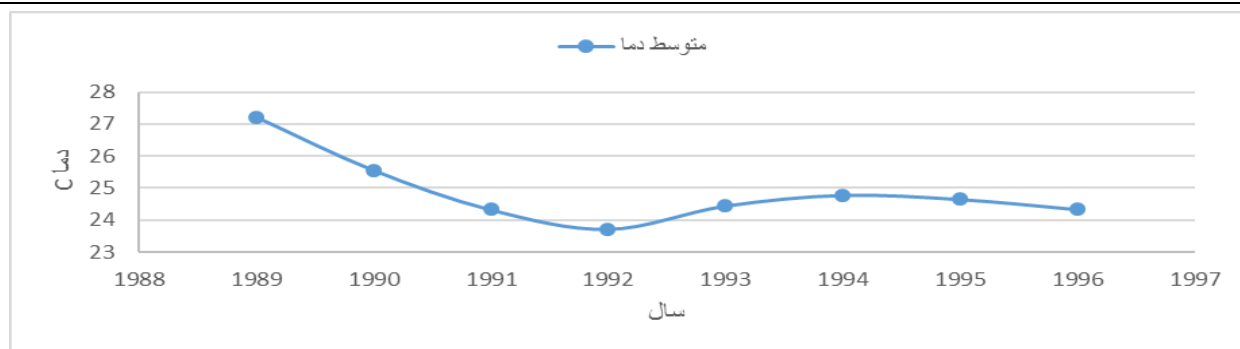
شکل (۸): نمودار دمای متوسط سالانه در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک کهنوج (۱۳۶۸-۱۳۷۶)



شکل (۹): نمودار متوسط دمای ماکزیمم در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک جیرفت (۱۳۶۸-۱۳۷۶)

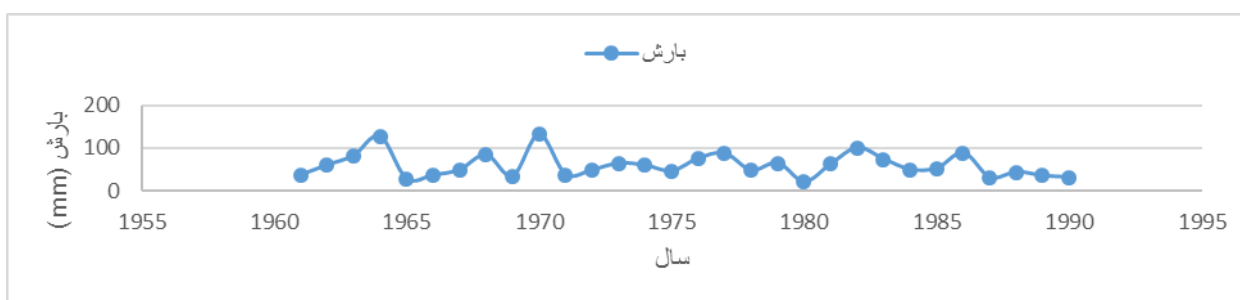


شکل (۱۰): نمودار متوسط دمای مینیمم در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک جیرفت (۱۳۶۸-۱۳۷۶)

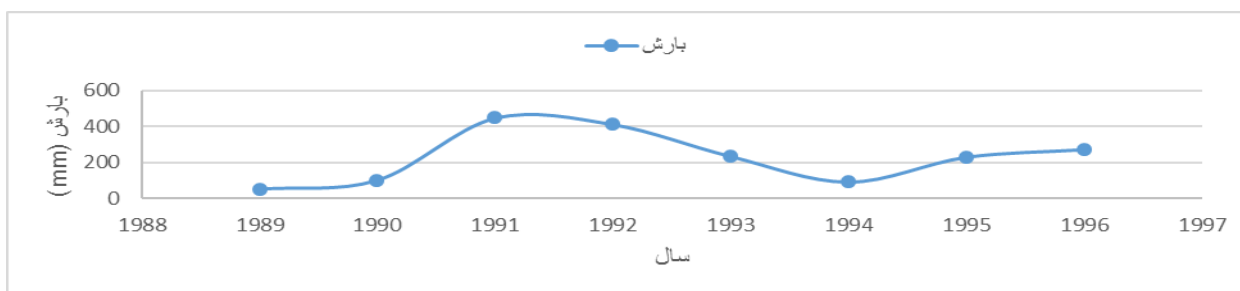


شکل (۱۱): نمودار دمای متوسط سالانه در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک جیرفت (۱۳۶۸-۱۳۷۶)

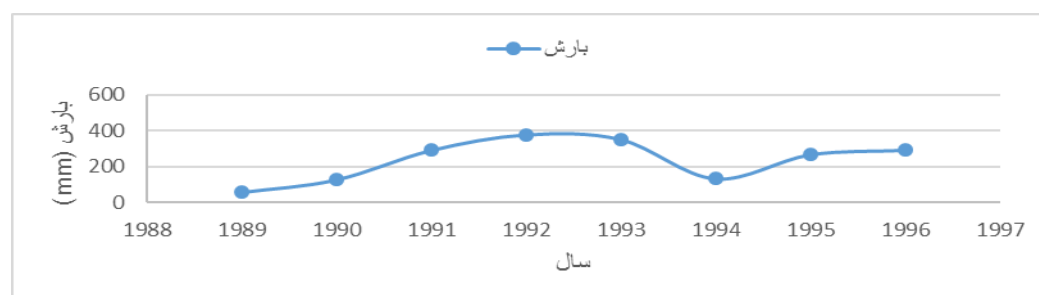
برای واسنجی بارش مدل شده، متغیرهای پیشگویی‌کننده، بهترین همبستگی را با بارندگی روزانه ایستگاه مطالعاتی نشان دادند. همان‌طور که در شکل‌های (۱۲ تا ۱۴) نشان داده شده است، بارش ایستگاه‌های مورد بررسی با توجه به دوره آماری آنها برای واسنجی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.



شکل (۱۲): بارش سالانه در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک بم (۱۳۴۰-۱۳۶۹)



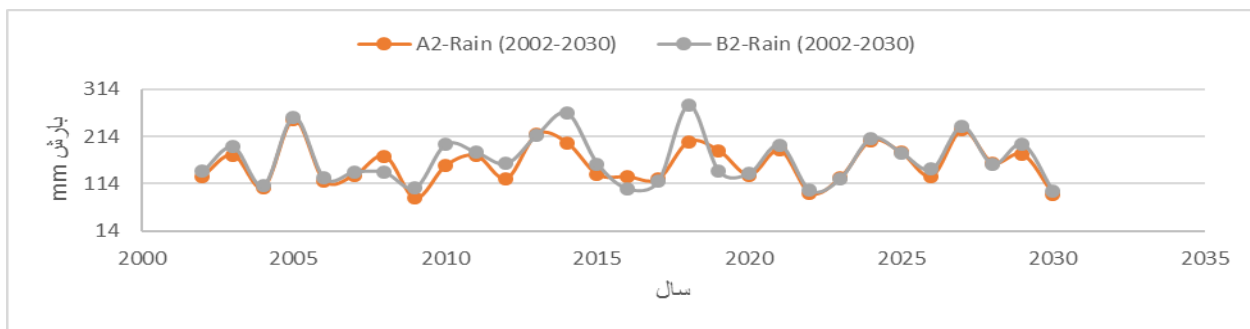
شکل (۱۳): بارش سالانه در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک کهنوج (۱۳۶۸-۱۳۷۶)



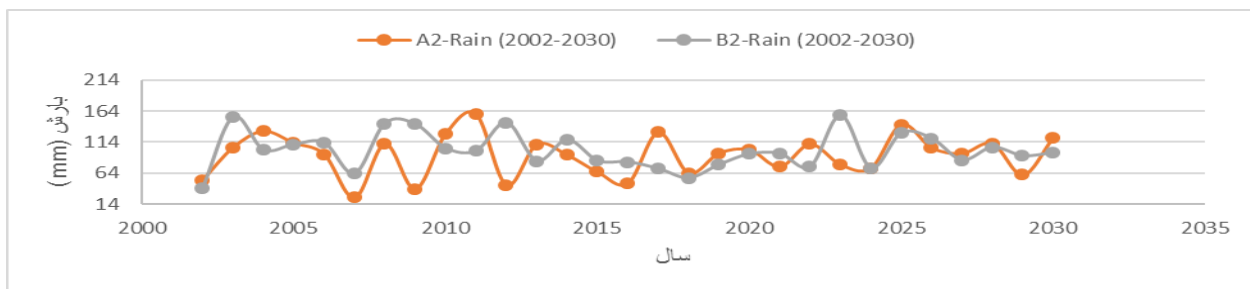
شکل (۱۴): بارش سالانه در دوره واسنجی و ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک جیرفت (۱۳۶۸-۱۳۷۶)

کهنوج تولید شد. محدوده تغییرات سالانه سری زمانی بلندمدت متغیرهای دما و بارش منطقه در دوره آتی (۱۳۸۰-۱۴۰۹) نسبت به دوره پایه در شکل‌های (۱۵ الی ۲۶) نشان داده شده است.

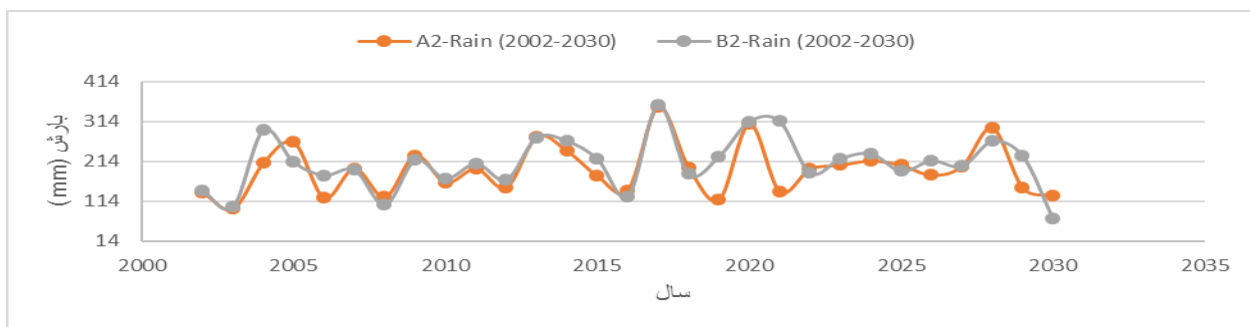
پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل SDSM، سری‌های زمانی روزانه دما و بارش در دوره ۱۳۸۰-۱۴۰۹ به‌صورت مستقیم با استفاده از شبیه‌سازی مدل HADCM3 در مدل SDSM تحت سناریو انتشار (A2 و B2) برای ایستگاه سینوپتیک بهم، جیرفت و



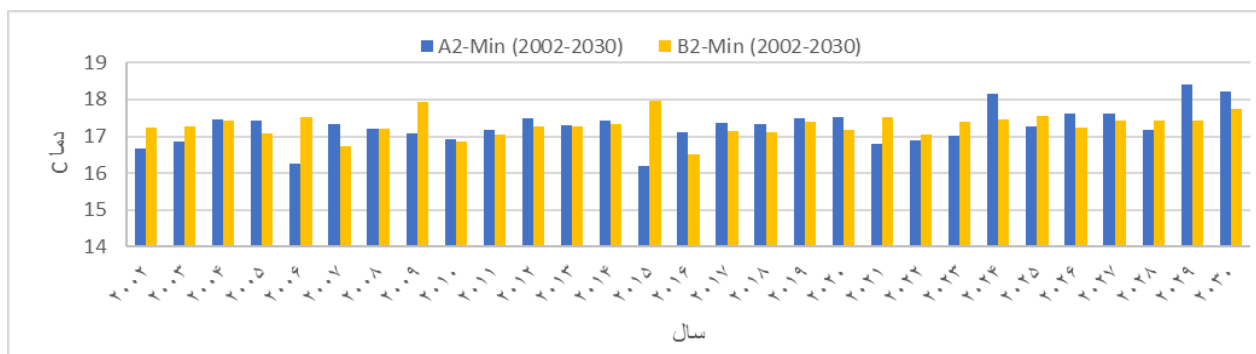
شکل (۱۵): نمودار تغییرات بارندگی سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) سناریوی انتشار A2 و B2 در ایستگاه جیرفت



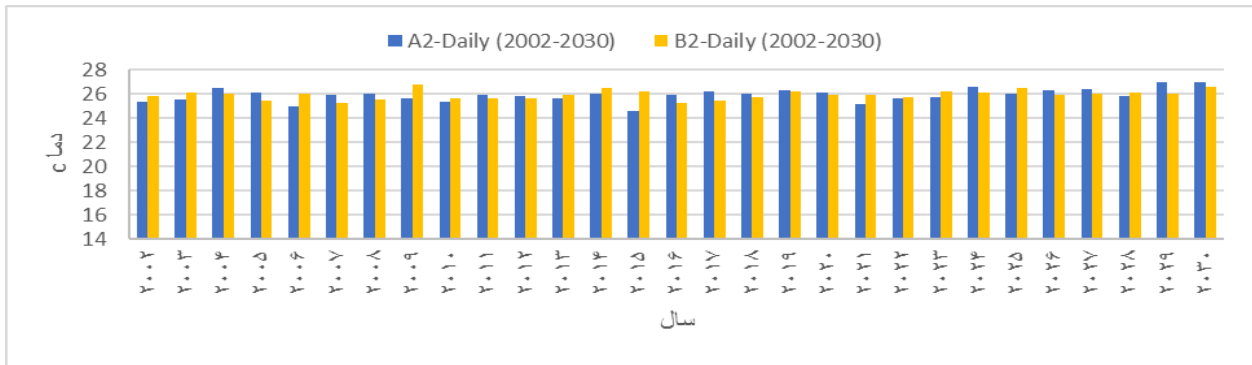
شکل (۱۶): نمودار تغییرات بارش سالانه منطقه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی A2 و B2 در ایستگاه بهم



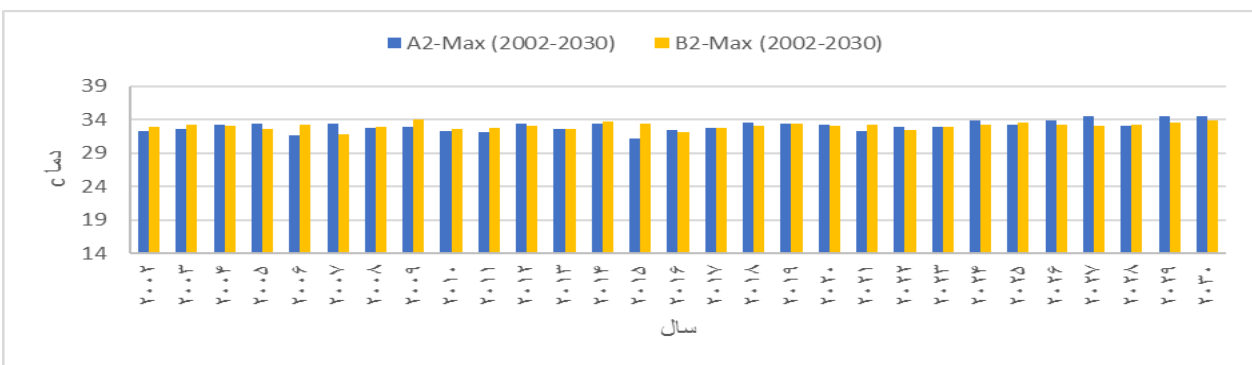
شکل (۱۷): نمودار تغییرات بارش سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی A2 و B2 در ایستگاه سینوپتیک کهنوج



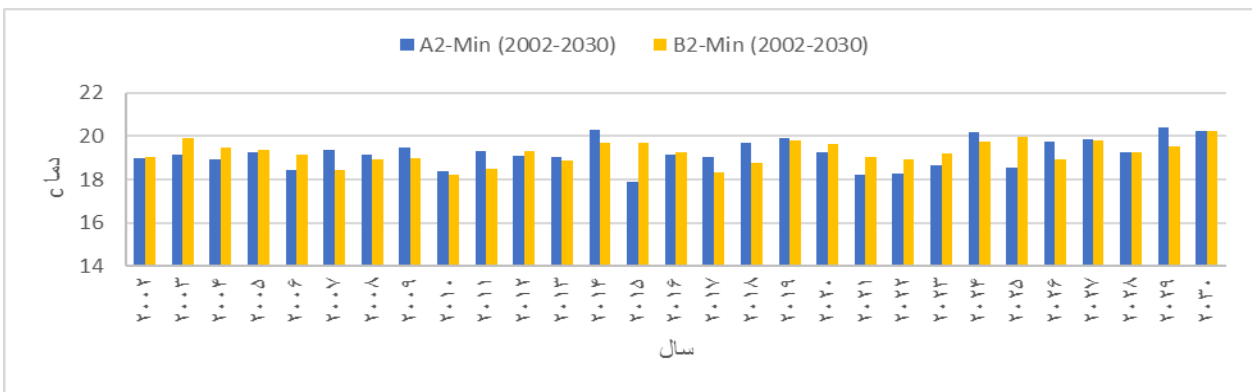
شکل (۱۸): تغییرات دمای مینیمم سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی A2 و B2 در ایستگاه سینوپتیک جیرفت



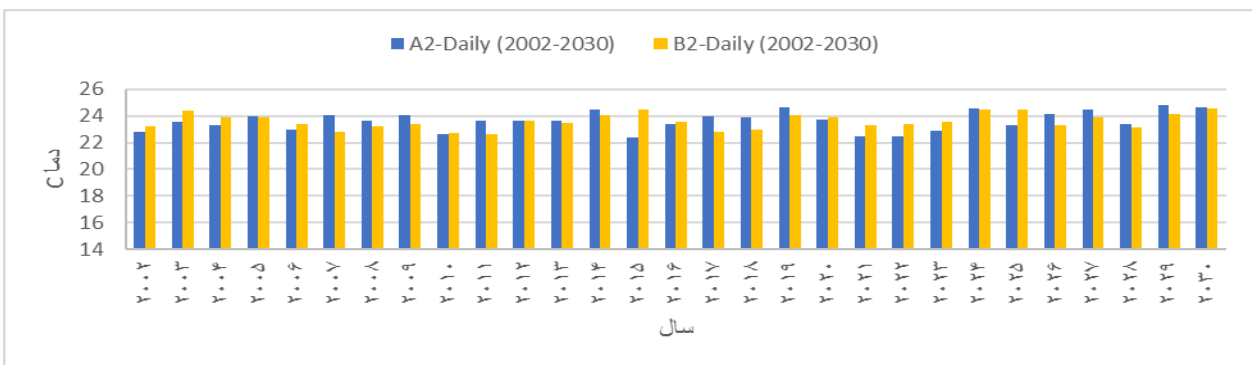
شکل (۱۹): تغییرات دمای سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی A2 و B2 در ایستگاه سینوپتیک جیرفت



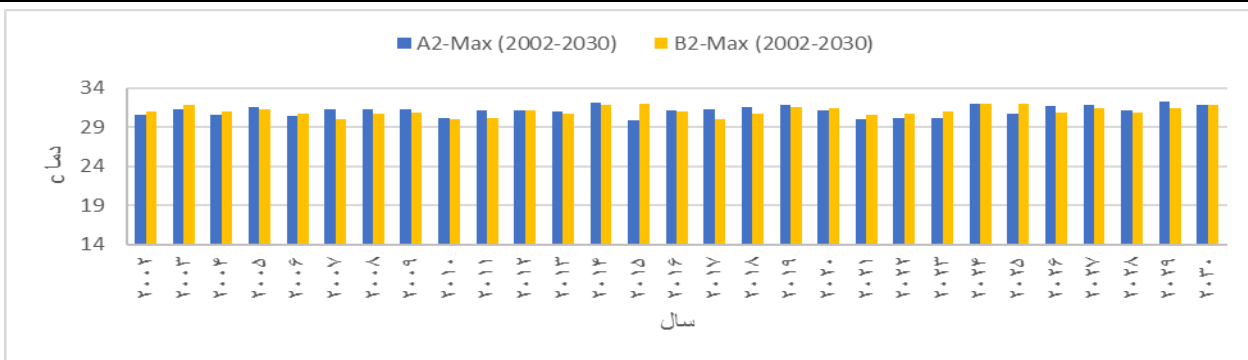
شکل (۲۰): تغییرات دمای ماکزیمم سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی A2 و B2 در ایستگاه سینوپتیک جیرفت



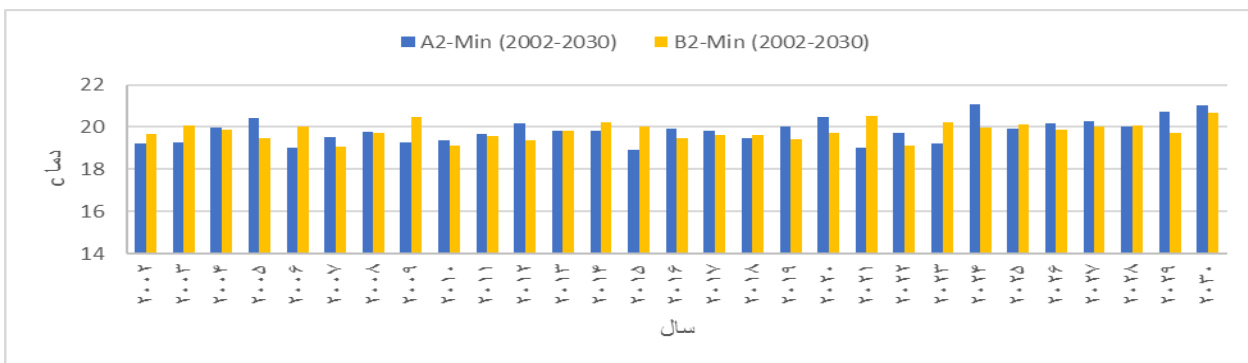
شکل (۲۱): تغییرات دمای مینیمم سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی انتشار A2 و B2 در ایستگاه بم



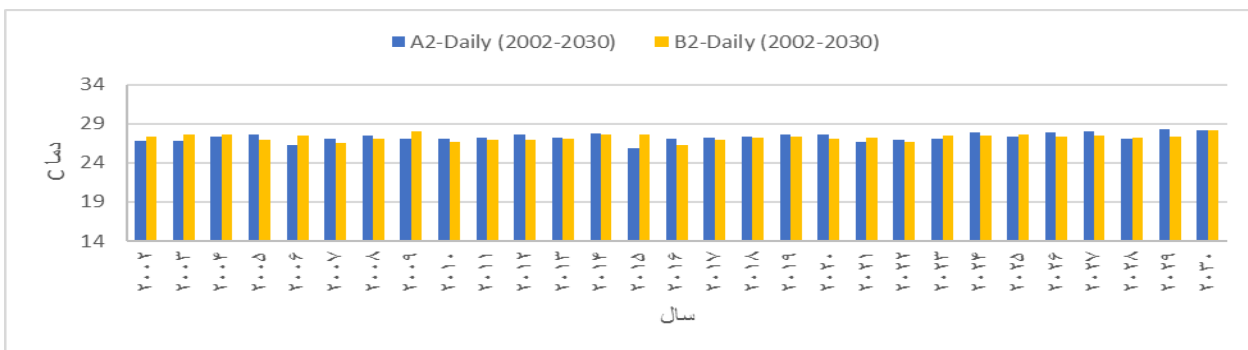
شکل (۲۲): تغییرات دمای سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی انتشار A2 و B2 در ایستگاه سینوپتیک بم



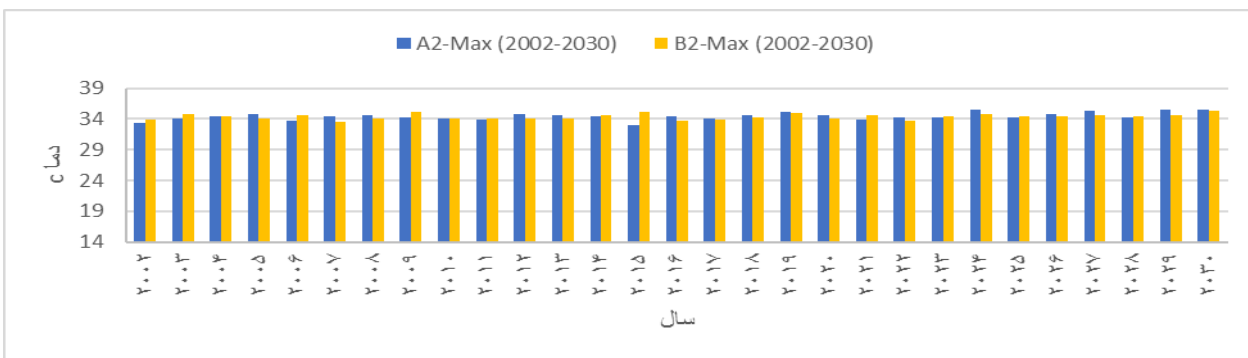
شکل (۲۳): تغییرات دمای ماکسیمم سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی انتشار A2 و B2 در ایستگاه سینوپتیک بم



شکل (۲۴): تغییرات دمای مینیمم سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی انتشار A2 و B2 در ایستگاه سینوپتیک کهنوج



شکل (۲۵): تغییرات دمای سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی انتشار A2 و B2 در ایستگاه سینوپتیک کهنوج



شکل (۲۶): تغییرات دمای ماکزیمم سالانه در دوره (۱۳۸۰-۱۴۰۹) تحت سناریوی انتشار A2 و B2 در ایستگاه سینوپتیک کهنوج

ترتیب در سناریوی A2 (۲۴/۷۹، ۸/۸۸، ۱۷/۳۸- و ۵/۴۸-) درصد افزایش دما در فصل بهار و تابستان و کاهش دما در فصل پاییز و زمستان می‌باشد و این مقادیر در سناریو B2 به ترتیب (۲۶/۴۱، ۸/۱۰، ۱۶/۶۵- و ۶/۲۷-) افزایش دما در فصل بهار و تابستان و کاهش دما در فصل پاییز و زمستان است. همچنین متوسط دمای سالانه به ترتیب در سناریو A2 و B2 به میزان ۰/۶۹ و ۰/۸۴ درصد افزایش دما در طی دوره ۱۳۸۰-۱۴۰۹ را نشان می‌دهد. از طرفی در ایستگاه سینوپتیک کهنوج متوسط دمای فصل‌ها به ترتیب در سناریوی A2 ۱/۵۶-، ۱/۶۸، ۱/۴۵- و ۱۴/۹ درصد کاهش دما در فصل بهار و افزایش دما در تابستان و کاهش دما در فصل پاییز و افزایش دما در فصل زمستان است و این مقادیر در سناریو B2 به ترتیب (۲/۲۶، ۲/۰۴، ۱/۶۱- و ۱۲/۹۱) درصد افزایش دما در فصل بهار و تابستان و کاهش دما در فصل پاییز و افزایش دما در فصل زمستان می‌باشد. همچنین متوسط دمای سالانه به ترتیب در سناریو A2 و B2 به میزان ۱/۳۲ و ۱/۱۸ درصد افزایش دما در طی دوره ۱۳۸۰-۱۴۰۹ را نشان می‌دهد. که با نتایج (Jafari et al., 2016) که بیان داشتند که مقادیر دما و بارش در دوره آتی نسبت به حالت پایه به ترتیب به میزان ۴/۷۴ و ۱۳/۹۲ درصد در سناریو A2 و ۲/۸۸ و ۱۶/۴۸ درصد در سناریو B2 افزایش می‌یابد همچنین نتایج نشان داد که طی دوره آماری (۱۳۸۰-۱۴۰۹) حاکی از افزایش دمای منطقه در تمام فصل‌های سال و افزایش بارش در فصل‌های زمستان و بهار مشاهده می‌شود به طوری که در ایستگاه سینوپتیک بم متوسط دمای سالیانه به ترتیب در سناریوی A2 و B2 به میزان ۳/۰۸ و ۲/۹۵ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین در این ایستگاه در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب در سناریوهای A2 به میزان (۳/۷۳، ۱/۸۹، ۲/۸۹ و ۷/۱۱) درصد افزایش دما و در سناریوی B2 (۴/۵۱، ۲/۰۴، ۲/۳۵ و ۵/۲۶) درصد افزایش دما که با نتایج به طوری که این محققین بیان داشتند که بیشترین تغییرات دما و بارش در دوره ۱۳۹۴-۱۴۰۹ در فصل تابستان رخ داده است و افزایش دما از ۰/۲۵ تا ۱/۱ درجه سانتی‌گراد در تمام ایستگاه‌ها مشاهده شده بود، همچنین تغییرات کیفیت آب رودخانه زرين‌رود در دوره آتی با فرض ثابت بودن منابع آلاینده دستخوش تغییرات زیادی نخواهد شد و تنها سرشاخه چم سقر به دلیل نزدیک بودن به نقطه شهری و ورود آلاینده‌های متعدد شرایط بحرانی خواهد داشت، مطابقت دارد. از طرفی در ایستگاه سینوپتیک جیرفت متوسط دمای فصل‌ها به

نتایج مدل SDSM طی دوره آماری (۱۳۸۰-۱۴۰۹) حاکی از افزایش دمای منطقه در طی دوره آتی هست.

بحث و نتیجه‌گیری

پس از واسنجی و صحت‌سنجی داده‌های مشاهداتی دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای روزانه و بارش ایستگاه سینوپتیک جیرفت، کهنوج و بم در دوره ۱۳۸۹-۱۳۶۸ (ایستگاه سینوپتیک جیرفت و کهنوج) ۱۳۴۰-۱۳۸۹ (ایستگاه سینوپتیک بم) توسط مدل SDSM4.2 و ریزمقیاس نمایی آن‌ها، سناریوهای اقلیمی در دوره آتی ۱۳۸۰-۱۴۰۹ به دست آمد. نتایج نشان داد که با نتایج (Rezaei et al., 2014) مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی ایستگاه کرمان و بم) مطابقت دارد. به طوری که میزان بارش سالانه تا سال ۱۴۷۸، در ایستگاه کرمان در سناریوهای A2 و B2 به ترتیب (۱/۳) و (۰/۳) میلی‌متر کاهش و در ایستگاه بم حدود (۴/۵۶)، (۵/۴۶) میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد در دوره آماری (۱۳۸۰-۱۴۰۹) افزایش دمای منطقه در تمام فصل‌های سال و افزایش بارش در فصل‌های زمستان و بهار مشاهده می‌شود به طوری که در ایستگاه سینوپتیک بم متوسط دمای سالیانه به ترتیب در سناریوی A2 و B2 به میزان ۳/۰۸ و ۲/۹۵ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین در این ایستگاه در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب در سناریوهای A2 به میزان (۳/۷۳، ۱/۸۹، ۲/۸۹ و ۷/۱۱) درصد افزایش دما و در سناریوی B2 (۴/۵۱، ۲/۰۴، ۲/۳۵ و ۵/۲۶) درصد افزایش دما که با نتایج به طوری که این محققین بیان داشتند که بیشترین تغییرات دما و بارش در دوره ۱۳۹۴-۱۴۰۹ در فصل تابستان رخ داده است و افزایش دما از ۰/۲۵ تا ۱/۱ درجه سانتی‌گراد در تمام ایستگاه‌ها مشاهده شده بود، همچنین تغییرات کیفیت آب رودخانه زرين‌رود در دوره آتی با فرض ثابت بودن منابع آلاینده دستخوش تغییرات زیادی نخواهد شد و تنها سرشاخه چم سقر به دلیل نزدیک بودن به نقطه شهری و ورود آلاینده‌های متعدد شرایط بحرانی خواهد داشت، مطابقت دارد. از طرفی در ایستگاه سینوپتیک جیرفت متوسط دمای فصل‌ها به

فهرست منابع

Ansari Mahabadi, S.; Shamsaii, A. & Massah Bavani, A. 2011. The effects of climate change on the surface

and balance of groundwater in future courses, Master Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, 3 p (In persian).

Asakereh, H. & Akbarzadeh, Y. 2017. Temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station during 2010-2011 using statistical exponential microscale (SDSM) and output of Can EMS2 model. *Risks and Environmental Geography*, No. 21, pp. 174-153(In persian).

Asakereh, H. & Shah Mansouri, B. 2016. Investigation and forecasting of temperature changes in Arak station based on statistical exponential microscale model. *Natural Geography Research*, Volume 48, Number 2, pp. 212-193 (In persian).

Bates, B.; Kundzewicz, Z.W.; Wu, S. & Palutikof, J. 2008. Le changement climatique et l'eau – Rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat.

Carcano, E. C.; Bartolini, P.; Muselli, M. & Piroddi, L. 2008. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. *Journal of Hydrology*, 362(3), 291-307.

Choobin, B.; Khaliqi, Sh.; Malekian, A. & Atard, P. 2013. The effect of large-scale climatic signals on rainfall in Maharloo-Bakhtegan watershed. Master Thesis, University of Tehran, p. 135(In persian) .

Christensen, N.S.; Wood, A.W.; Voisin, N.; Lettenmaier, D.P. & Palmer, R.N. 2004. Effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Climatic Change* 62, 337–363.

Fowler, H. J.; Kilsby, C. G. & O'Connell, P. E. 2003. Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience, and vulnerability of a water resource system. *Water Resources Research*, 39(8).

Gleick, P.H. 1989. Climate change, hydrology, and water resources. *Reviews of Geophysics* 27 (3), 329–344.

humme, Q.; Bellotti, W.; Williams, M. & Wange, E. 2009, Adaption to Climate change of Wheat growing in South Australia: Analysis of Management and breeding Strategies, *J. of Agriculture, Ecosystem and Environment*, 129. 261-267.

Jafari, M.; Selajegheh, A. & Malekian, A. 2016. Investigating the effect of climate change on the quantity and quality of groundwater aquifer in Kerman plain: A case study of Kerman plain. Thesis of Tehran University. p 2 (In persian).

Kazemzadeh, M.; Malekian, A.; Moghaddamnia, A. & Khaliqi, S. 2014. Assessing the effects of climate change on the hydrological characteristics of the watershed: A case study of Ajichai watershed in East Azerbaijan province. Thesis of the University of Tehran, p.2(In persian).

Kikhaa, A.; Massah Bovani, A. & Lotfi, S. 2014. The effect of climate change on surface water quality in future periods (Case study of Zarrineh River). Master Thesis, University of Tehran (In persian).

Mikko, I.; Jyrkama, J. & Sykes, F. 2007. The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed (Ontario). *Journal of Hydrology* (2007) 338, 237– 250.

Mohammadzadeh, N.; Jabarian A, B. & Islami, L. 2014. Investigation of the effects of climate change on surface water resources: A case study of Talar-e-Chehel Shahidan in Mazandaran province. Thesis of the University of Tehran, p2. (In persian).

Naderi Bani, M. 2013. The Impact of Climate Change on Maximum Flows in Future Courses (Beheshtabad Basin), Master Thesis in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology (In persian).

Naderi, S.; Goodarzi, M. & Ghadmi Dehno, M. 2017. The Effect of Climate Change on Climatic Parameters in Seymareh Basin, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, Year 11 - Number 39 - pp. 77-69(In persian).

Refsgaard, J.C.; Atnbjerg-Nielsen, K.; Drews, M.; Halsnæs, K.; Jeppesen, E.; Madsen, H.; Markandya, A.; Olesen, J.E.; Porter, J.R. & Christensen, J.H. 2013. The role of uncertainty in climate change adaptation strategies – a Danish water management example. *Mitig. Adapt. Strategies Global Change* 18, 337–359.

Rehana, S. & Mujumdar, P. 2011. River water quality response under hypothetical Climate change Scenarios in Tunga-Bhadra river, India, *Hydrological Processes* in press.

Rezaei, M.; Mir Kazei Rigi, M.; Rezaei, M. A. & Alijan Nehtani, M. 2014. Evaluation of the efficiency of statistical exponential microscale model (SDSM) in predicting temperature parameters in both arid and drought climates (Case study: Kerman and Bam). *Journal of Watershed Management Fifth Year / No. 10* pp. 129-117(In persian).

Rezaei, M.; Nahtani, M.; Moghadamnia, A.; Abkar, A.S. & Rezaei, M. 2014. Evaluation of the efficiency of statistical exponential microscale model in predicting rainfall in both arid and drought climates. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 28(4), pp. 845-836(In persian).

Sunyer, M.A.; Madsen, H. & Ang, P.H. 2012. A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change. *Atmospheric Research*, 103, 119-128.

VanRheenen, N. T.; Wood, A. W.; Palmer, R. N. & Lettenmaier, D. P. 2004. Potential implications of PCM climate change scenarios for Sacramento–San Joaquin River Basin hydrology and water resources. *Climatic change*, 62(1), 257-281.