

بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند افزایش درجه حرارت و تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل SDSM در شهرستان اهواز

الهه ذرتی پور^۱، امیرسلطانی محمدی*^۲ و فاطمه برادران^۳

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(۲) دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(۳) دانش‌آموخته گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: A.soltani@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۱۸

چکیده

تغییر اقلیم ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای (خصوصاً CO₂) در اتمسفر باعث تغییر در رژیم بارندگی، نرخ رواناب، سرعت باد و تشعشعات خورشیدی اتمسفر می‌گردد. در تحقیق حاضر، با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه سینوپتیک اهواز و داده‌های مدل Hadcm3، تحت سناریوهای A2 و B2 پارامترهای حداکثر دما و حداقل دما در دوره پایه ۱۹۷۹-۲۰۸۸ و دو دوره آینده ۱۹۷۹-۲۰۲۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۰ شبیه‌سازی گردید. برای ارزیابی توان مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی از آماره‌های ضریب تعیین و میانگین مجذور مربعات خطا استفاده شد، همچنین با روش هارگریوزسامانی مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای دوره‌های مذکور محاسبه و پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد حداکثر درجه حرارت، حداقل درجه حرارت و تبخیر و تعرق پتانسیل تحت سناریو A2 و B2 در ایستگاه مطالعاتی اهواز در آینده افزایش می‌یابد. حداکثر و حداقل درجه حرارت برای دوره آینده (۲۰۲۰) به ترتیب برابر با ۳۳/۴۷ و ۱۹/۰۴۲ تحت سناریو A2 و ۳۳/۴۹ و ۱۹/۰۳۶ سانتی‌گراد تحت سناریو B2 بوده و برای دوره آینده (۲۰۷۰-۲۰۹۹) به ترتیب برابر با ۳۴/۱۳ و ۱۹/۹۵ تحت سناریو A2 و ۳۳/۸۰ و ۱۹/۹۵ سانتی‌گراد تحت سناریو B2 می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی شده برای دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۴۹ به طور متوسط، برابر ۱۰/۹۷ و ۱۰/۹۵ میلی‌متر بر روز تحت سناریو A2 و B2 بوده و این مقدار برای دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ برابر ۱۱/۳۳ و ۱۱/۲۶ میلی‌متر بر روز تحت سناریو A2 و B2 می‌باشد. بیشترین افزایش برای هر سه دوره و تحت هر دو سناریو در ماه ژوئن مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: Hadcm3، SDSM، حداکثر دما، حداقل دما، تبخیر و تعرق پتانسیل.

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن باعث برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این پدیده می‌تواند بر بخش‌های مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد تأثیر منفی داشته باشد (دسترنج و همکاران، ۱۳۹۵). در حال حاضر اقلیم شناسان به منظور مطالعه تغییر اقلیم، با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو- اقیانوسی، به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی می‌پردازند (بارو و یو، ۲۰۰۵). مدل‌های اقلیمی براساس ساختار و نوع عملکرد به چهار نوع مدل توازن انرژی (EBM)، مدل تابش همرفتی (RCM2)، مدل دو بعدی دینامیکی- آماری (SDM) و مدل گردش عمومی جو (GCM) دسته‌بندی می‌شوند. مدل‌های مذکور آثار افزایش گازهای گلخانه‌ای را به طور مکانیکی برای تمام کره زمین ارزیابی می‌کنند (لکزائیان پور و همکاران، ۱۳۹۵). در بین آن‌ها مدل‌های GCM قوی‌ترین ابزار بررسی تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشند. برای پیش‌بینی شرایط آتی، در بیشتر تحقیقات از داده‌های مدل گردش عمومی جو (GCM) استفاده می‌شود (کوان و همکاران، ۲۰۰۴). هیدرولوژیست‌ها برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی از بین روش‌های ریزمقیاس‌سازی (روش‌های آماری و روش دینامیکی) بیشتر از مدل‌های آماری استفاده می‌کنند. یکی از دلایل استفاده از این مدل‌ها عملکرد سریع و آسان آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد (طائی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۳). سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهش خود، به بررسی کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی دما و بارش پرداختند. نتایج نشان داد الگوی SDSM، برای کمینه و بیشینه دمای روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد و در دو مدل دمای حداقل و دمای حداکثر در آینده تحت سناریو A2 افزایش می‌یابد. یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر-تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و دیم با استفاده از مدل‌های اقلیمی پرداختند. نتایج نشان‌دهنده افزایش تبخیر و تعرق در دوره آبی نسبت به دوره پایه بود. رضائی و همکاران (۱۳۹۳) کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) برای پیش‌بینی پارامترهای دمایی در ایستگاه سینوپتیک بم و کرمان را با استفاده از مدل Hadcm3 مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که این مدل در منطقه خشک (کرمان) نسبت به منطقه فرا خشک (بم) از کارایی بالاتر و دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی دما برخوردار است و برای هر دو ایستگاه افزایش دما در تمامی ماه‌های سال پیش‌بینی شده است. دسترنج و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی و پیش‌بینی مقادیر بارش، درجه حرارت و تعیین اقلیم آینده با کاربرد مدل‌های گردش عمومی

جو و شبیه‌سازی اقلیمی پرداختند، نتایج نشان داد شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی توسط مدل با دقت بالایی صورت گرفته است. کوهی و ثنائی‌نژاد (۱۳۹۲)، ویژگی‌های زمانی تبخیر و تعرق مرجع در دوره حاضر و آتی را مورد بررسی قرار دادند، بدین منظور از داده‌های خروجی مدل Hadcm3 تحت دو سناریو A2 و B2 توسط مدل SDSM و سناریو A2 با استفاده از مدل LARS-WG استفاده نمودند. نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای هر دو مدل در شبیه‌سازی و افزایش تبخیر و تعرق در دوره‌های آتی بود. لیو و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود، میزان تغییرات دما را در دوره ۱۹۶۱-۲۰۹۹ در چین شبیه‌سازی نمودند، نتایج نشان‌دهنده افزایش درجه حرارت بیشینه و کمینه تا حد ۵ درجه سانتی‌گراد بود. منو و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی تغییر اقلیم در حوضه رودخانه تونگا درهند با استفاده از مدل‌های HECHMS3.4 و SDSM به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه پرداختند. نتایج نشان داد، بارندگی و رواناب افزایش و تبخیر و تعرق در حوضه کاهش خواهد یافت. ترینک و همکاران (۲۰۱۳)، اثر تغییر اقلیم را روی بارش و تبخیر تعرق مرجع در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا مورد بررسی قرار دادند، برای ارزیابی تغییر اقلیم در ۲۲ کشور شبیه‌سازی صورت گرفت و از مدل‌های گردش عمومی جو، برای دو دوره زمانی آینده استفاده شد، نتایج حاکی از آن بود، تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه و سالانه برای همه کشورها و در هر دو دوره آینده افزایش می‌یابد.

در این تحقیق ایستگاه اهواز، به دلیل داشتن داده‌های بلند مدت به منظور پیش‌بینی مقادیر حداقل و حداکثر درجه حرارت، با به‌کارگیری مدل‌های گردش عمومی جو و شبیه‌سازی اقلیمی در دوره‌های ۲۰۹۹-۲۰۲۰، ۲۰۴۹-۲۰۷۰، و دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تهیه سناریوهای اقلیمی در آینده از خروجی مدل گردش عمومی HADCM3 تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 و روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به‌کارگیری مدل SDSM استفاده گردید و در انتها با استفاده از معادله هارگریوزسامانی تبخیر تعرق پتانسیل محاسبه شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی روند تغییر اقلیم، از داده‌های دمای حداکثر و حداقل ایستگاه سینوپتیک اهواز (۱۹۷۹-۲۰۰۸) استفاده شد. اهواز به‌عنوان هفتمین شهر پرجمعیت ایران به‌شمار می‌آید و در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا واقع شده است. کمینه دما منفی یک درجه سانتی‌گراد (ماه ژانویه) و بیشینه آن ۵۱ درجه سانتی‌گراد (ژوئیه) و متوسط بارندگی در این شهر ۲۱۵ میلی‌متر خواهد بود، ضمن اینکه ایستگاه اهواز در جنوب غرب کشور واقع شده است. موقعیت ایستگاه مورد مطالعه در شکل (۱) مشخص شده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه مطالعاتی

مدل گردش عمومی جو HADCM3 یکی از مدل‌های جفت شده اقیانوسی جوی است که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده است (سهرابیان و همکاران، ۱۳۹۴). سناریو، ناظر بر طرحی کلی از وضعیت طبیعی و یا موردانتظار حوادث در آینده است. مدل SDSM امکان ایجاد سناریوهای تغییر اقلیم را برای یک سایت در مقیاس زمانی روزانه با استفاده از خروجی مدل‌های اقلیم جهانی فراهم می‌نماید (مشکوتی، ۱۳۹۴). در مجموع ۴۰ زیرسناریوی متفاوت SRES که دربرگیرنده‌ی طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت انسان در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژی مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق است، ارائه شده است. هر کدام از این زیرسناریوها مربوط به یکی از گروه‌های A1، A2، B1، B2 است. ویژگی‌های سناریوی انتشار A2 بر صنعتی شدن و رشد سریع کشورها بدون توجه به محیط‌زیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر و B2 به حل مشکلات محلی برای رسیدن به پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی که وضعیتی نزدیک به A2 دارد، تأکید می‌کند (برادران و همکاران، ۱۳۹۵). در این پژوهش، از داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت دو سناریو A2 و B2 استفاده شد و برای ریزمقیاس‌نمایی آماری از نرم‌افزار SDSM4.2 به منظور بررسی تغییرات درجه حرارت و بارش در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. داده‌های مورد نیاز شامل دمای حداکثر و دمای حداقل در مقیاس روزانه در طی دوره آماری سی ساله، ۱۹۷۹-۲۰۰۸ می‌باشد، که به منظور شبیه‌سازی اقلیمی در دوره‌های آینده، استفاده شدند. داده‌های مذکور برای ایستگاه سینوپتیک اهواز از اداره هواشناسی کل کشور دریافت و سپس مرتب‌سازی و تبدیل واحد صورت گرفت. به پیشنهاد سازمان جهانی هواشناسی (WMO) برای دوره پایه حداقل باید یک دوره سی ساله در نظر گرفته شود (دوستی و همکاران، ۲۰۱۳). سپس از داده‌های مدل‌های گردش

عمومی جو HADCM3 تحت سناریوی A2 و B2 و روش ریزمقیاس نمایی آماری و به کار گیری مدل SDSM برای پارامترهای مذکور در دوره پایه ۱۹۷۹-۲۰۰۸ و دوره‌های آینده ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ شبیه‌سازی اقلیمی صورت گرفت. اجرای مدل به این صورت است که دوره پایه مذکور به عنوان ورودی مدل فراخوانی می‌گردد، سپس کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها صورت گرفته و بهترین متغیرهای پیش بینی‌کننده از بین ncep ها انتخاب شد. در مرحله تولید سناریوهای اقلیمی آینده، از داده‌های خروجی مدل Hadcm3 که از اینترنت دریافت شدند، استفاده گردید. سپس واسنجی و صحت سنجی مدل‌ها صورت گرفت و عملکرد مدل‌ها براساس شاخص ضریب تعیین (R^2) و شاخص جذر میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) ارزیابی شدند:

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

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

در شاخص‌های آماری بالا P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش بینی شده و مشاهده‌ای، \bar{P} و \bar{O} به ترتیب میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده‌ای و n تعداد کل داده‌ها می‌باشد. درنهایت، پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی Hadcm3 برای دوره‌های سی‌ساله ۱۹۷۹-۲۰۰۸، ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی و با دوره سی‌ساله پایه ۱۹۷۹-۲۰۰۸ مقایسه گردید، ضمن اینکه کارایی مدل SDSM در پیش‌بینی سنجیده شد. سپس به کمک روش هارگریوزسامانی و مقادیر میانگین ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حداکثر و حداقل دما مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای دوره‌های مذکور محاسبه و پیش‌بینی گردید:

$$ET0 = 0.408 * 0.0025 * (T_a + 16.8) * (T_{max} + T_{min})^{0.5} * R_a \quad (3)$$

در معادله فوق، ET0 تبخیر و تعرق پتانسیل (mm/day)، T_a ، T_{max} و T_{min} به ترتیب دمای میانگین ماهانه، دمای حداکثر و دمای حداقل (C°) و R_a تابش برون زمین (MJ/M²/day)، می‌باشند.

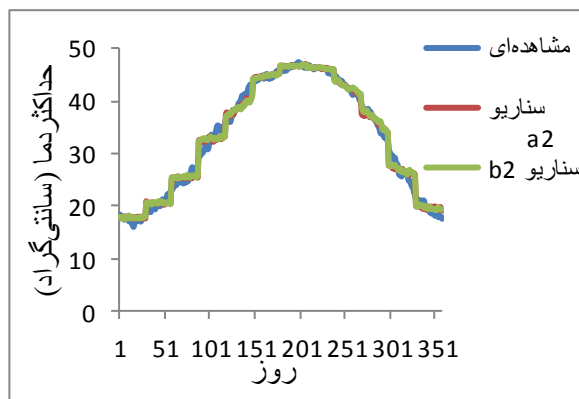
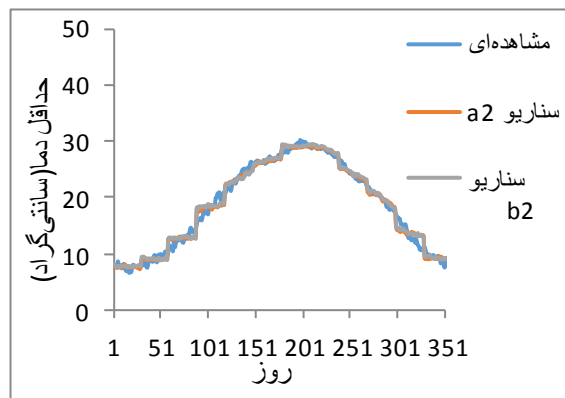
نتایج و بحث

باتوجه به نتایج حاصل از جدول (۱)، مدل SDSM، به‌خوبی توانسته پارامترهای دمایی دوره پایه و دو دوره آینده را شبیه‌سازی کند (با بالاترین ضریب تعیین و کمترین میانگین مجذور مربعات خطا)، همچنین سناریو A2 و سناریو B2 برآوردی دقیق و نزدیک به‌همدیگر و عملکرد بالایی در شبیه‌سازی داشته‌اند، ولی به‌طور کلی سناریو A2 با اختلافی اندک

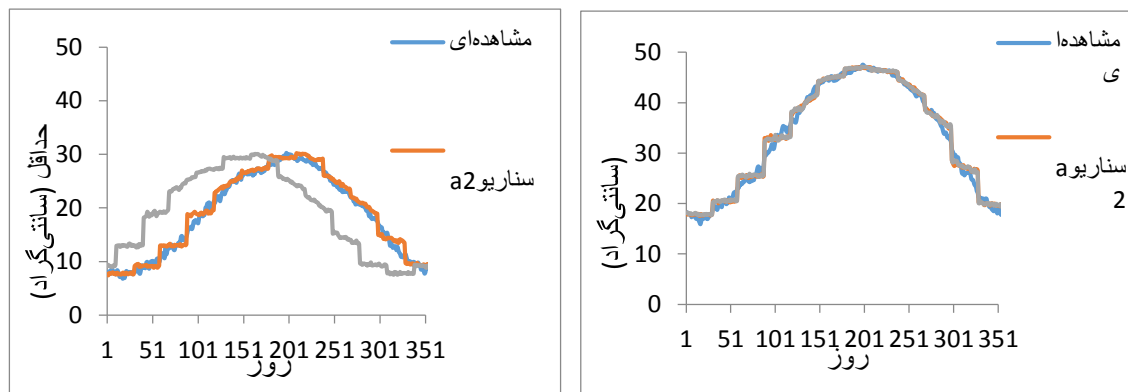
نتایج بهتری برآورد کرده است. با توجه به معیارهای آماری حداکثر درجه حرارت و حداقل درجه حرارت به طور دقیق شبیه سازی گردید و نتایج مربوط به حداکثر درجه حرارت به میزان اندک از حداقل آن، برآورد بهتری داشته است.

جدول (۱): عملکرد معیارهای آماری در دوره های تعیین شده

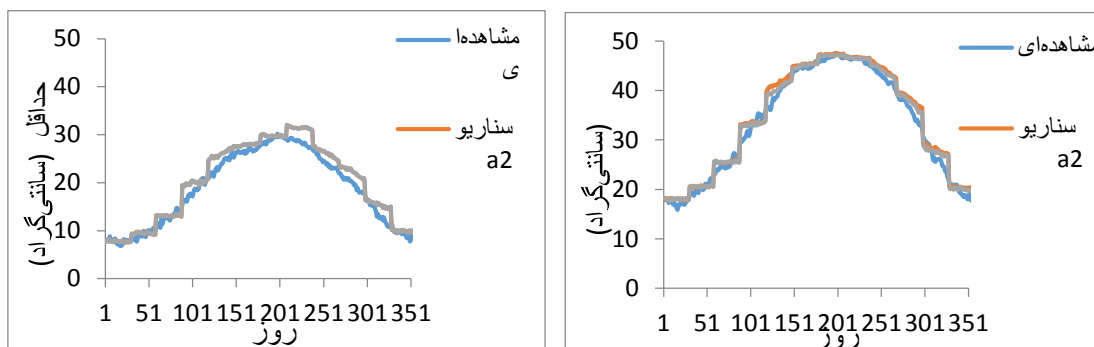
سناریو B2		سناریو A2		دوره مطالعاتی	متغیر اقلیمی
RMSE	R ²	RMSE	R ²		
۱/۱۲۴۷	۰/۹۸۹۱	۱/۱۳۵۴	۰/۹۸۸۹	۲۰۰۸-۱۹۷۹	حداکثر دمای روزانه (سانتی گراد)
۰/۹۱۷۷	۰/۹۸۵۶	۰/۹۲۱۹	۰/۹۸۵۴	۲۰۰۸-۱۹۷۹	حداقل دمای روزانه (سانتی گراد)
۱/۳۴۷۱	۰/۹۵۰۲	۰/۰۸۳۳	۰/۹۹۹۸	۲۰۰۸-۱۹۷۹	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی متر بر روز)
۱/۱۵۵۱	۰/۹۸۹۶	۱/۱۷۳۴	۰/۹۸۹	۲۰۴۹-۲۰۲۰	حداکثر دمای روزانه (سانتی گراد)
۶/۴۹۴۸	۰/۴۱۷۵	۱/۰۶۰۱	۰/۹۸۴۹	۲۰۴۹-۲۰۲۰	حداقل دمای روزانه (سانتی گراد)
۱/۳۶۱۹	۰/۹۴۹۵	۰/۲۰۳۲	۰/۹۹۹۸	۲۰۴۹-۲۰۲۰	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی متر بر روز)
۱/۳۴۳۳	۰/۹۸۸۳	۱/۶۱۵۹	۰/۹۸۶۲	۲۰۹۹-۲۰۷۰	حداکثر دمای روزانه (سانتی گراد)
۱/۸۹۰۰		۰/۹۷۷۴	۱/۸۹۰۰	۰/۹۷۷۴	حداقل دمای روزانه (سانتی گراد)
۰/۵۶۶۷		۰/۹۹۸۵	۰/۶۵۹۲	۰/۹۹۷۹	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی متر بر روز)



شکل (۲): مقایسه مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر شبیه سازی شده در ایستگاه مطالعاتی (۱۹۷۹-۲۰۰۸)



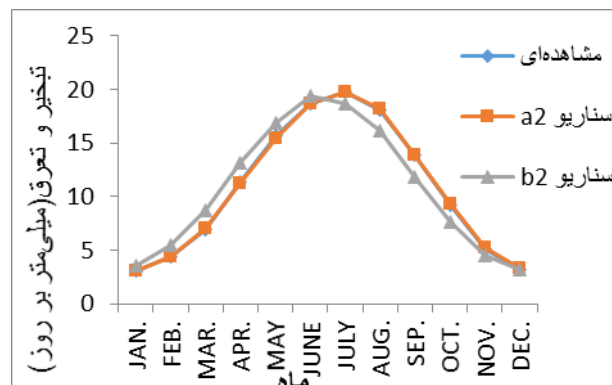
شکل (۳): مقایسه مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر شبیه‌سازی شده دوره آبی در ایستگاه مطالعاتی (۲۰۲۰-۲۰۴۹)

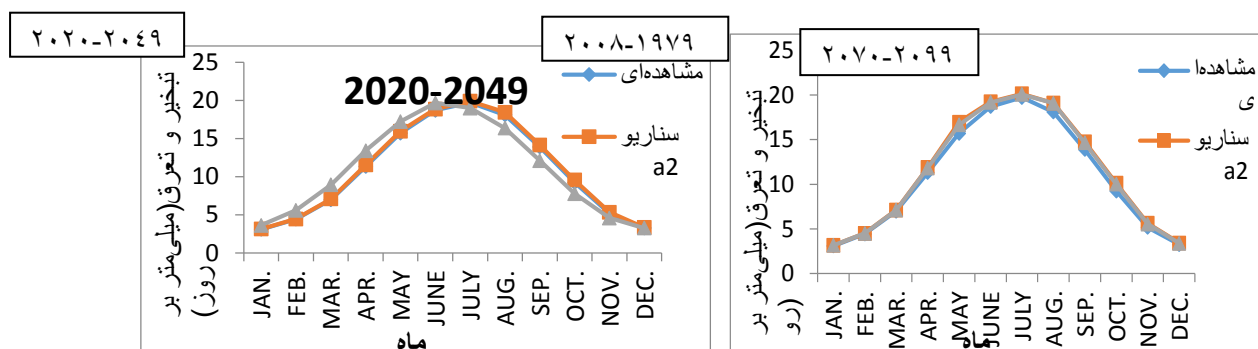


شکل (۴): مقایسه مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر شبیه‌سازی شده دوره آبی در ایستگاه مطالعاتی (۲۰۷۰-۲۰۹۹)

طبق نتایج دریافتی (شکل‌های ۴ تا ۲) از میانگین بلند مدت دمای روزانه در شهرستان اهواز، مقادیر دوره پایه به خوبی شبیه‌سازی گردیده است و به طور میانگین حداکثر دما و حداقل دما برای دوره پایه ۳۳/۱۱ و ۱۸/۵۹ درجه سانتی‌گراد و برای دوره پایه شبیه‌سازی شده (۲۰۰۸-۱۹۷۹) برابر با ۳۳/۱۲ و ۱۸/۶۲ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو A2 و ۳۳/۱۵ و ۱۸/۶۵ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو B2 می‌باشند. این مقادیر برای دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۴۹) به ترتیب برابر با ۳۳/۴۷ و ۱۹/۰۴۲ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو A2 و ۳۳/۴۹ و ۱۹/۰۳۶ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو B2 بوده، که حداکثر دما حدود ۲ درصد و حداقل دما حدود ۳ درصد روند افزایشی داشته است. همچنین برای دوره آینده (۲۰۷۰-۲۰۹۹) به ترتیب برابر با ۳۴/۱۳ و ۱۹/۹۵ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو A2 و ۳۳/۸۰ و ۱۹/۹۵ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو B2 می‌باشد، که حداکثر دما ۳ درصد و حداقل دما ۷ درصد افزایش یافته است. بنابراین می‌توان استنباط کرد حداکثر دما و حداقل دما در هر دو دوره آینده و تحت هر دو سناریو اندکی افزایش می‌یابد و این افزایش برای حداقل دما بیشتر بوده و برای دوره آینده دورتر (۲۰۷۰-۲۰۹۹) برای هر دو پارامتر نیز بیشتر است. همچنین مدل عملکرد بالایی در شبیه‌سازی داشته‌است، نتایج حاصل از مطالعه سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶)، رضائی و همکاران (۱۳۹۳) و لیو و همکاران (۲۰۱۱) مؤید این مطلب

می‌باشد. با استفاده از داده‌های هواشناسی دوره پایه و داده‌های شبیه‌سازی شده مربوط به دوره پایه و دو دوره آتی و به کمک روش تعیین تبخیر و تعرق هارگریوزسامانی تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه گردید که طبق نتایج (جدول ۱) برآوردها به واقعیت نزدیک بود و مدل عملکرد رضایت‌بخشی داشت. براساس نتایج بدست آمده از مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل دوره پایه با سه دوره شبیه‌سازی شده (شکل ۵)، مدل به خوبی توانست توافق خوبی بین تبخیر و تعرق پتانسیل دوره پایه و تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی شده دوره پایه و دو دوره آتی برقرار کند. به طور میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل دوره پایه برابر ۱۰/۷۹ میلی‌متر بر روز بوده که مقادیر آن برای دوره پایه شبیه‌سازی شده برابر ۱۰/۷۹ و ۱۰/۷۷ میلی‌متر بر روز به ترتیب تحت سناریو A2 و B2 می‌باشد، که نشانی از توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی است. تبخیر و تعرق پتانسیل شبیه‌سازی شده برای دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۴۹ به طور متوسط، برابر ۱۰/۹۷ و ۱۰/۹۵ میلی‌متر بر روز تحت سناریو A2 و B2 بوده، که حدود ۲ درصد تبخیر و تعرق افزایش یافته است. این مقدار برای دوره آتی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ برابر ۱۱/۳۳ و ۱۱/۲۶ میلی‌متر بر روز تحت سناریو A2 و B2 می‌باشد، که در این صورت افزایش تبخیر و تعرق به میزان ۵ درصد بوده است. بنابراین می‌توان افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره‌های آتی پیش‌بینی کرد. روند تغییرات حداکثر، حداقل دما و تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه‌های سال متفاوت بود. بیشترین افزایش برای هر سه پارامتر، در هر سه دوره و تحت هر دو سناریو در ماه ژوئن بود و کمترین آن‌ها در ماه ژانویه می‌باشد. یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)، در بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر-تعرق و کوهی و وثنایی‌نژاد (۱۳۹۲)، در ارزیابی ویژگی‌های زمانی تبخیر و تعرق مرجع در دوره حاضر و آتی، به نتایجی مشابه تحقیق حاضر دست یافتند و در دوره آتی روندی افزایشی برای تبخیر و تعرق پیش‌بینی نمودند. همچنین ترینک و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه خود، افزایش تبخیر تعرق پتانسیل ماهانه و سالانه را برای همه کشورها، در دوره آینده برآورد نمودند.





شکل (۵): مقایسه تبخیر و تعرق دوره پایه با تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده دوره پایه و دو دوره آبی ایستگاه مطالعاتی

نتیجه‌گیری

- ۱- مدل SDSM از کارایی بالایی در پیش‌بینی و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی حداقل دما و حداکثر دما برای ایستگاه سینوپتیک اهواز برخوردار است.
- ۲- روند تغییرات حداکثر دما، حداقل دما و تبخیر و تعرق پتانسیل برای دوره‌های آبی افزایشی بوده است.
- ۳- حداکثر و حداقل دما برای دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۴۹)، به ترتیب ۲ درصد و ۳ درصد افزایش، و برای دوره آینده (۲۰۷۰-۲۰۹۹) به ترتیب ۳ درصد و ۷ درصد افزایش یافته است.
- ۴- تبخیر و تعرق پتانسیل برای دوره آبی ۲۰۲۰-۲۰۴۹، حدود ۲ درصد افزایش و برای دوره آبی ۲۰۷۰-۲۰۹۹، به میزان ۵ درصد افزایش یافته است.

منابع

- برادران، ف.، سلطانی‌محمدی، ا. و ایزدپناه، ز. (۱۳۹۵). بررسی کارایی مدل sdsM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در دو اقلیم خشک و بسیار مرطوب (مطالعه موردی: اهواز و رشت). همایش الکترونیکی پدافند غیرعامل در بخش کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
- دسترنج، ع.، شهبازی، ع.، محسنی ساروی، م.، صالح‌نسب، ا. و جعفری، ش. (۱۳۹۵). مدل سازی اقلیم و مقایسه تغییرات پارامترهای اقلیمی در جبهه شمالی و جنوبی البرز با استفاده از مدل sdsM. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دهم، شماره ۳۲، ص ۱۱-۲۶.
- رضائی، م.، نهتانی، م.، آبکار، ع.، رضائی، م. و میرکازهی‌ریگی، م. (۱۳۹۳). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال پنجم، شماره ۱۰، ص ۱۱۷-۱۳۱.
- سلاجقه، ع.، رفیعی‌ساردوئی، ا.، مقدم‌نیا، ع. ر.، ملکیان، آ.، عراقی‌نژاد، ش.، خلیقی‌سیگارودی، ش. و صالح‌پورجم، ا. (۱۳۹۶). بررسی کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی دما و بارش. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۸، شماره ۲، ص ۲۶۲-۲۵۳.

- سهرابیان، ا.، مفتاح هلقی، م.، قربانی، خ.، گلپان، س. و ذاکری نیا، م. (۱۳۹۴). بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه با دخالت مدل هیدرولوژی. (مطالعه موردی: حوضه گالیکش در استان گلستان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و دوم، شماره دوم، ص ۱۱۱-۱۲۵.
- طائی سمیرمی، س.، مرادی، ح. و خداقلی، م. (۱۳۹۳). شبیه سازی و پیش بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی sdsM و مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی حوضه آبخیز بار نیشابور). فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۸، ص ۱-۱۵.
- کوهی، م. و ثنائی نژاد، ح. (۱۳۹۲). بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس نتایج حاصل از دو روش ریزمقیاس گردانی آماری برای متغیر تبخیر-تعرق مرجع در منطقه ارومیه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۷، ص ۵۷۴-۵۵۹.
- لکزئیان پور، غ.، محمدرضا پور، ا. و مالمیر، م. (۱۳۹۵). ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه‌ی نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. جغرافیا و توسعه، شماره ۴۲، ص ۱۸۳-۱۹۸.
- مشکوتی، ا. (۱۳۹۴). کاربرد مدل‌های آماری در مطالعه تغییر اقلیم و آثار آن (مدل‌های LARS-WG و SDSM). انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات ص ۶-۵.
- یعقوبزاده، م.، احمدی، م.، برومندنسب، س. و حقایقی مقدم، س. ا. (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر-تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و دیم با استفاده از مدل‌های AOGCM. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۰، شماره ۴، ص ۵۱۱-۵۲۳.

- Barrow, E. G. et al. (2005).** climate scenario for Alberta. A report prepared for the prairie Adaptation Research Climate Research services.
- Dousti, M. Habibnezhad Roshan, M. Shahedi, K. and Miryaghoubzade, M. H. (2013).** Study of climate indices of Tamar River basin Golestan Province in terms of climate change using by LARS-WG model. Journal of the earth and space physics. 39 (4), 177-189.
- Liu, L., Z. Liu, X. Ren, T. Fischer and Y. Xu. (2011).** Hydrological impacts of climate change in the yellow river basin for the 21st century using hydrological model and statistical downscaling model. Journal of Hydrology, 244: 211-220.
- Meenu, R. Rehana S. and Mujumdar, P. (2012).** Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga-Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM hydrological processes hydrol. Process. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com).
- Qian, B., Gameda, S., Hayhoe, H., Dejonge, R. and Bootsma, A. (2004).** Comparison of LARS-WG and AAFC-WG stochastic weather generators for diverse Canadian climates. Climate Research. 26.
- Terink, W., Willem Immerzeel, W. and Droogers, P. (2013).** Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050. International journal of climatology. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com).