دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۴
زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۶۰-۴۱

*مسعود گودرزی [۱]
برومند صلاحی [۲]
سید اسعد حسینی [۳]

چشم‌انداز آتی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل ریزگردانی آماری (نمونه موردی: حوزه آبخیز دریاچه ارومیه)

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۹

چکیده

دما و بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی هستند که در بررسی تغییرات اقلیمی نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند و تغییرات آن‌ها به دلیل اثرات سوء مدیریت منابع آبی و اکوسیستم‌های طبیعی و همچنین اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا در این پژوهش به شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش حوزه آبخیز دریاچه ارومیه واقع در شمال‌غرب ایران که با بحران زیست‌محیطی رو به رو است در دوره زمانی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) توسط مدل ریزمقیاس گردانی SDSM پرداخته شد چرا که تفاوت زیادی در مقیاس داده های زمانی و مدلهای جهانی وجود دارد و برای تعمیم نتایج مدل‌های جهانی لازم است از یک مدل ریزمقیاس نمایی استفاده شود. ایستگاه‌های مورد بررسی شامل سقز، تبریز، خوی و ارومیه است که دارای آمار کامل در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹٦۱) بوده‌اند. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی پیامدهای تغییراقلیم بر روی دما و بارندگی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه است. در این پژوهش ابتدا کارآیی مدل SDSM با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها و داده‌های واکاوی مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP) و

*۱- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. (نویسنده مسول). E-mail: massoudgoodarzi@yahoo.com
۲-گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی.
۳- دانش‌آموخته دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

شاخص‌های MSE، RMSE، MAE و همچنین ضریب تعیین و همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفت و بعد از اطمینان از دقت شبیه‌سازی مدل، با استفاده از مدل گردش عمومی $HadCM_3$ تحت دو سناریوی A_2 و B_2 پارامترهای اقلیمی (بارش، حداقل و حداکثر دما) تا سال (۲۰۳۰) برای حوزه مورد مطالعه، شبیه‌سازی شد. در نهایت اقدام به بررسی و آنالیز روند تغییرات دما و بارش برای حوزه مورد مطالعه گردید. نتایج حاصل نشان داد که مدل مذکور توانایی لازم جهت شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش را دارد. بر اساس نتایج حاصل از خروجی مدل $HadCM_3$، مقدار دما و بارش در سطح حوزه در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) افزایش خواهد یافت که این میزان برای عناصر بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر به‌ترتیب برابر ٦/٢ درصد، ۰/۳ و ١/٤ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه می‌باشد. نتایج پژوهش نشان داد که در دوره‌های آتی مولفه دما نسبت به دوره‌ی پایه افزایش خواهد یافت. اگرچه در اکثر سناریوهای مورد مطالعه این مدل‌ها، افزایش بارندگی مشاهده می‌گردد ولی افزایش دما می‌تواند این افزایش بارندگی را از طریق افزایش میزان تبخیر و تعرق و نیز افزایش نیاز آبی گیاهان، خنثی نماید. از طرف دیگر با توجه به این‌که بارندگی در فصل زمستان کاهش خواهد یافت، میزان برف باریده شده در منطقه که منبع مهم ذخیره آب‌های زیرزمینی می‌باشد، کاهش خواهد یافت.

کلید واژه‌ها: ارومیه، بارش، تغییر اقلیم، شبیه‌سازی، دما، ریزگردانی.

مقدمه

تغییر اقلیم و اثرات احتمالی آن بر روی بخش‌های مختلف اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی، به‌عنوان یکی از پیامدهای مضر فن‌آوری بشر مطرح شده است. انجام پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هرچه بیش‌تر برای سازگاری با این پدیده و نیز کاهش هزینه‌های خسارات بار ناشی از این تغییرات بسیار ضروری است. پدیده تغییر اقلیم که ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو می‌باشد، باعث تغییراتی در رژیم بارش، میزان رواناب، سرعت باد، تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و دمای هوا می‌شود (Mohammadlu et al, 2016: 151). مطالعه پارامترهای اقلیمی نظیر دما و بارندگی، اولویت بیش‌تری نسبت به سایر پارامترها در آشکارسازی تغییرات اقلیمی دارند چرا که دارای تغییرات زمانی و مکانی قابل‌ملاحظه‌ای هستند. با توجه به این‌که منابع آب در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیم قرار دارند، بررسی تغییرات این پارامترها در سال‌های آینده می‌تواند راهگشای معضلاتی چون خشک‌سالی، سیلاب‌های ناگهانی، تبخیر زیاد و تخریب‌های زیست‌محیطی باشد. در حال حاضر مدل‌های جهانی اقلیم[4] تنها ابزاری هستند که اثر تغییر اقلیم در سطح جهانی را برای عناصر اتمسفری در شبکه‌های بزرگ مکانی شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها عناصر اتمسفری را در شبکه‌هایی به ابعاد بین ۱۵۰×۱۵۰ تا بین ۲۵۰×۲۵۰ کیلومتر مربع شبیه‌سازی می‌کنند (Fung et al, 2011: 43). به همین دلیل این مدل‌ها نمی‌توانند اثر شرایط محلی نظیر توپوگرافی، پوشش گیاهی

4- Global Climate Models (GCM)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

و غیره را روی متغیرهای اتمسفری نظیر دما، بارش و غیره دخالت دهند (Prudhomme et al, 2002: 1137). لذا به ابزاری نیاز است که بتوان از داده‌های مدل عمومی گردش جو در مقیاس محلی استفاده نمود، به همین منظور دانشمندان روش‌های متعددی ابداع نموده‌اند که به مجموع این روش‌ها، ریزمقیاس‌گردانی می‌گویند (Fung et al, 2011: 45). در همین راستا Wilby & Dawson (2007) کلیه روش‌های ریزمقیاس‌گردانی را در چهار گروه دینامیکی، سینوپتیکی، آماری و تابع انتقالی طبقه‌بندی کردند. از آنجا که مدل‌های دینامیکی و سینوپتیکی جهت شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی نیاز به پردازشگرهای بسیار پیشرفته و ابزارهای پیچیده دارند، امروزه مدل‌های آماری خصوصاً تابع انتقالی بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ این گروه نیز برحسب این‌که بر پایه روابط آماری یا ریاضی استوار باشند، به دو دسته مدل‌های آماری و مدل‌های ریاضی تقسیم‌بندی می‌شوند. مدل SDSM یکی از مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی تابع انتقالی آماری به حساب می‌آید (Wilby & Dawson, 2007: 147)، که از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس گردانی می‌باشد که کاربرد بسیاری در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژیکی، جغرافیایی و زیست‌محیطی دارد (Wilby & Harris, 2006: 3)، در این روش از الگوهای گردش روزانه بزرگ‌مقیاس مانند متغیرهای رطوبت اتمسفر در مقیاس ایستگاهی استفاده می‌شود و در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم‌هزینه از تغییرات اقلیمی باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و در مورد مولدهای هواشناسی تصادفی و روش‌های توابع تغییر شکل یافته نتایج قابل قبولی ارائه داده است (Samadi & Massah, 2008: 4). با توجه به این‌که مدل‌های جهانی عموماً عناصر اقلیمی را تا آستانه سال (۲۱۰۰) میلادی شبیه‌سازی نموده‌اند، امکان استفاده از داده‌های مدل‌های جهانی به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای مورد نظر نظیر دما و بارش در سطح حوزه‌های آبخیز و حتی مقیاس نقطه‌ای (ایستگاه‌های هواشناسی) وجود دارد. در پژوهشی Malcolm et al (2006) شش مدل آماری و تابع انتقالی از جمله مدل SDSM و دو مدل دینامیکی را برای شبیه‌سازی بارش‌های سنگین در دو ایستگاه هواشناسی شمال‌غرب و جنوب‌شرق کشور انگلستان مورد ارزیابی قرار دادند نتایج حاصل نشان داد که از بین مدل‌های آماری، مدل SDSM در بسیاری از موارد نتایج بهتر نسبت به بقیه ارائه می‌نماید.

در تحقیقی دیگر، Philippe et al (2007) به بررسی تغییرات دما در شمال کانادا با استفاده از دو مدل گردش عمومی $HadCM_3$ و $CGCM_2$ تحت دو سناریوی A_2 و B_2 و با استفاده مدل ریزگردانی SDSM پرداختند، نتایج حاصل نشان داد که در منطقه مورد مطالعه در دوره‌ی (۲۰۹۹- ۲۰۷۷) فصل زمستان نسبت به فصل تابستان و همچنین سناریوی A_2 نسبت به B_2 دمای گرم‌تری را دارا می‌باشد و مدل $HadCM_3$ نسبت به مدل $CGCM_2$ دارای دقت بیش‌تری است. در یک پژوهش در حوزه Gilgel Abay اتیوپی Abdo et al (2009) با استفاده از مدل $HadCM_3$ تحت سناریوهای انتشار A_2 و B_2 و ریز مقیاس‌گردانی آماری به ارزیابی اثرات تغییرات دما و بارش بر هیدرولوژی پرداختند نتایج آن‌ها نشان داد که حجم رواناب برای فصل بارندگی در دوره زمانی (۲۰۹۹-۲۰۷۱) با سناریوهای A_2 و B_2 به‌ترتیب ۱۱/٦ و ۱۰/۱ درصد کاهش خواهد یافت.

در تحقیقی Goodarzi et al (2011) به بررسی تغییرات آب‌وهوایی با استفاده از روش ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM تحت سناریوهای A_2 و B2 در کرمانشاه پرداختند. مقایسه بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان داد که

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

مدل SDSM قادر به نشان دادن بهتر شبیه‌سازی حداقل و حداکثر درجه حرارت است در حالی که برای شبیه‌سازی بارش کمی پایین‌تر تخمین میزند اما با توجه به ابزارهای آماری قابل قبول است.

در پژوهشی، Chen et al (2012) به مقایسه و ارزیابی مدل‌های $HadCM_3$ و $CGCM_3$ و روش‌های ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM و SSVM[5] تحت سناریوی A_2 و مدل‌های هیدرولوژیکی در مطالعه تغییرات آب‌وهوایی و تأثیر آن بر رواناب در حوزه Hanjiang در کشور چین پرداختند نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش عملکرد بهتر از SSVM دارد. همچنین در یک پژوهش، Guo et al (2014) به تأثیرات تغییرات اقلیمی بر اکوهیدرولوژی حوزه رودخانه Guishui در کشور چین با استفاده از مدل $HadCM_3$ و روش مقیاس‌گردانی SDSM تحت دو سناریوی A_2 و B_2 در دوره‌ی (۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹) پرداختند. نتایج حاصل از بررسی آنان نشان داد که درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه و تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده در ۹۰ سال آینده دارای روند افزایشی است در حالی که بارش و رواناب سطحی به‌طور کلی نشان‌دهنده روند کاهشی در این حوزه است.

در یک پژوهش Samadi et al (2009) به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی، کارایی مدل SDSM را در حوزه قره‌سو مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که این مدل به منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش از توانایی مناسبی برخوردار است. در تحقیقی Goodarzi et al (2012) تأثیرات تغییر اقلیم را روی رواناب سطحی در کرخه علیا با استفاده از مدل‌های SWAT و SDSM بررسی نمود و کاهش حدود ۱۹٪ رواناب را در این حوزه برای دوره‌های آتی پیش‌بینی نمود. همچنین Espinani et al (2012) به بررسی تغییر اقلیم در دوره‌های آتی به کمک مدل SDSM در حوزه بهشت‌آباد کارون شمالی پرداختند نتایج حاصل بیانگر افزایش دمای حداقل و حداکثر و همچنین افزایش بارش به‌صورت وقایع حدی در حوزه مورد بررسی است.

در تحقیقی Ansari Moqadam & Hesami Kermani (2012) به پیش‌بینی بارش با استفاده از روش ریزمقیاس‌گردانی ASD[6] و خروجی دو مدل اقلیم جهانی $CGCM_3$ و$HadCM3$ در دریاچه ارومیه در سه دوره زمانی مختلف پرداختند نتایج با استفاده از خروجی مدل $HadCM_3$ برای دوره زمانی (۲۰۱۰-۲۰۴۰) کاهش بارش را نشان نداد. همچنین Aqashahi et al (2012) به معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به منظور ریزمقیاس سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم پرداختند نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM دارای عدم قطعیت کم‌تر و فرآیند شبیه‌سازی پیچیده‌تر است. در عین حال Hamidianpur et al (2013) با استفاده از برونداد مدل $HadCM_3$ به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوزه بار و طاغان نیشابور تحت دو سناریوی A_2 و B_2 و روش ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM پرداختند نتایج تحقیق بیانگر افزایش دما و کاهش بارندگی تحت دو سناریوی A_2 و B_2 در دوره ۱(۲۰۱۱-۲۰۴۰) در مقایسه با دوره پایه می‌باشد. در تحقیقی Abkar et al (2013) به بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از دو مدل گردش عمومی $HadCM_3$ و

5- Smooth Support Vector Machine
6- Automated Statistical Downscaling

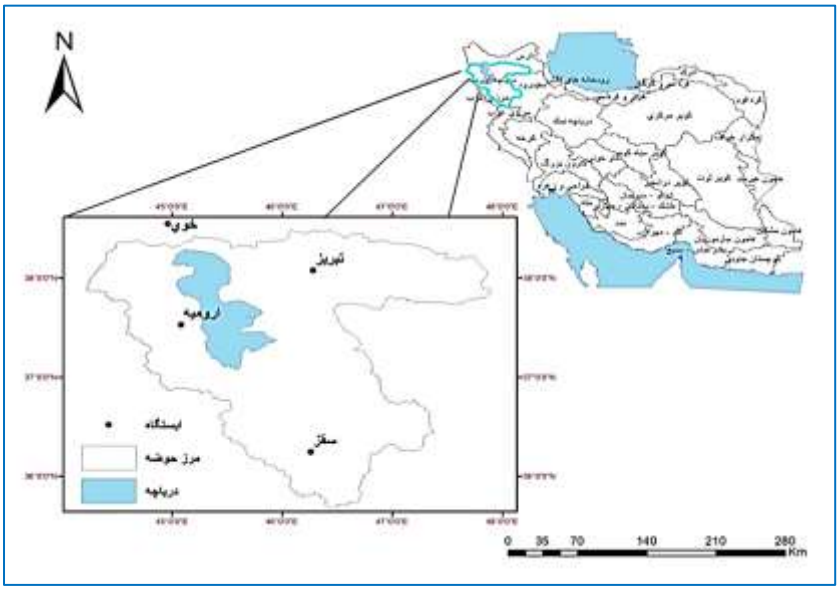
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

$CGCM_1$ پرداختند نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM توانایی لازم جهت شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی را دارد و استفاده از داده‌های مدل $HadCM_3$ نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. در یک پژوهش Zinati and Hesami (2014) به مقایسه دو روش نروفازی و ASD در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در ایستگاه کرمان پرداختند نتایج افزایش درجه حرارت حداکثر و میانگین در دوره‌های آتی را نشان می‌دهد در حالی که بارش روند یکسانی در دوره‌های مختلف ندارد و مدل در پیش‌بینی بارش ضعیف‌تر عمل می‌کند. در یک پژوهش Qermezcheshmeh et al (2014) به بررسی اثر عوامل مورفو-اقلیمی بر دقت ریزمقیاس‌گردانی مدل SDSM در هشت ایستگاه سینوپتیک در شمال‌غرب کشور پرداختند نتایج حاصل نشان داد که دقت مدل در ایستگاه‌های منتخب متفاوت بوده ولی شبیه‌سازی دما با دقت مناسب‌تری انجام گرفته و در برآورد بارش از دقت کم‌تری برخوردار بوده است. لذا با توجه با این‌که حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در چند دهه اخیر با کاهش سریع سطح آب دریاچه مواجه شده و توجه بسیاری از مجامع علمی و زیست‌محیطی کشور و جهان را به خود معطوف نموده است در این پژوهش سعی گردید با توجه به خروجی‌های مدل جهانی $HadCM_3$ تحت دو سناریوی A_2 و B_2 از مجموعه سناریوهای SRES چشم‌انداز تغییرات دما و بارش این حوزه آبخیز، در دهه ۲۰۲۰ (۲۰۱۱-۲۰۳۰) شبیه‌سازی گردد.

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در محدوده ٤٤ درجه و ۳۳ دقیقه تا ٤٧ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ٤٠ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه در شمال‌غرب ایران قرار گرفته است. وسعت این حوزه ۵۲۳۵۵ کیلومترمربع است که از این مقدار حدود ۵۸۲۲ کیلومترمربع وسعت خود دریاچه است که مستقیماً با ارتفاع آب دریاچه رابطه داشته و با افزایش یا کاهش آن تغییر پیدا می‌کند. تراز کف دریاچه از سطح آزاد دریاها نیز ۱۲٦۸ متر است (Mahsafar et al, 2011: 49). پژوهش حاضر بر روی سه ایستگاه سینوپتیک واقع در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه (سقز، ارومیه و تبریز) و همچنین یک ایستگاه سینوپتیک نزدیک به حوزه (خوی) جهت پوشش نیمه شمالی حوزه به دلیل عدم وجود ایستگاه در داخل حوزه در این بخش، که دارای آمار بلندمدت هواشناسی بوده‌اند انجام شده است. موقعیت حوزه آبخیز و ایستگاه‌های مطالعاتی در (شکل ۱) و همچنین مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی در (جدول ۱) آورده شده است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه ایستگاه سقز با ارتفاع ۱۵۲۲/۸ متر و ایستگاه خوی با ارتفاع ۱۱۰۳ متر از سطح دریا دارای بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع در سطح حوزه می‌باشند. حداقل و حداکثر درجه حرارت مشاهده شده در سطح حوزه نیز در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹٦۱) با توجه به ایستگاه‌های مورد بررسی برابر با ۳٦- و ٤۳+ درجه سلسیوس و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱/٦ درجه سلسیوس است. میانگین سالانه بارندگی نیز برابر با ۳۷۱/۸ میلی‌متر می‌باشد که حداکثر و حداقل آن به‌ترتیب مربوط به ایستگاه سقز با ۵۱۳/٤ و ایستگاه تبریز با ۳۱۳/۳ میلی‌متر است (جدول ۱).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 1, Geographic map of Urmia lake basin & studied station

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Table 1- Geographic attributes of Synoptic stations

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	دوره آماری
سقز	۴۶° ۱۶′	۳۶° ۱۵′	۱۵۲۲/۸	۱۹۶۱-۱۹۹۰
تبریز	۴۶° ۱۷′	۳۸° ۵′	۱۳۶۱	۱۹۶۱-۱۹۹۰
ارومیه	۴۵° ۳′	۳۷° ۴′	۱۳۲۸	۱۹۶۱-۱۹۹۰
خوی	۴۴° ۵۸′	۳۸° ۳۳′	۱۱۰۳	۱۹۶۱-۱۹۹۰

مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک، داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) و داده‌های مدل جهانی $HadCM_3$ تحت دو سناریوی A_2 و B_2 مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک شامل: دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش روزانه از اول ژانویه سال (۱۹۶۱) تا پایان دسامبر (۱۹۹۰) جهت واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. بدین منظور این داده‌ها ابتدا به فرمت قابل قبول مدل SDSM تبدیل شدند. این مدل برای اولین بار توسط Wilby et al (2002) تهیه شده است که براساس ترکیبی از روش‌های رگرسیونی و تولید داده‌های آب‌وهوای مصنوعی برای کوچک مقیاس‌سازی می‌باشد که در این پژوهش از نسخه ۵/۱ آن استفاده شده است و یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس‌سازی می‌باشد (Wilby & Harris, 2006: 3). داده‌های مدل $HadCM_3$ همراه با داده‌های مشاهداتی مربوط به مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) نیز از طریق سایت این مرکز قابل‌دسترسی می‌باشند. این داده‌ها در شبکه‌هایی به ابعاد ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشد خروجی این مدل‌ها بدون هیچ تغییری و به‌طور مستقیم قابل استفاده در مدلSDSM می‌باشند Ashofteh & Massah Bavani,

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

(2010: 30). (جدول ۲) مشخصات مدل $HadCM_3$ را نشان می‌دهد. جهت بررسی ابتدا از داده‌های ۳۰ ساله NCEP از سال (۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰) که شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد، جهت واسنجی و تعیین متغیرهای پیش‌بینی کننده استفاده شد. حال مدل واسنجی شده قادر است با کمک داده‌های بزرگ‌مقیاس NCEP اقدام به تولید داده‌های مصنوعی در بازه (۲۰۹۹-۱۹۶۱) نماید؛ اما در این داده‌های مصنوعی، سناریوهای گازهای گلخانه‌ای تأثیر ندارند، لذا مدل با بهره‌گیری از پیش‌بینی کننده‌های $HadCM_3$ که خود سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (عمدتاً در این مدل دو سناریوی A_2 و B_2) را گنجانده‌اند و به‌طور همزمان و با توجه به سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، اقدام به ایجاد سناریوهای اقلیمی می‌نمایند؛ سپس با تطابق سناریوهای حاصل از مدل $HadCM_3$ و داده‌های مصنوعی حاصل از پیش‌بینی کننده NCEP، نهایتاً داده‌های ریزمقیاس شده خروجی که دما و بارش روزانه ایستگاهی هستند، ارائه می‌گردند.

جدول ۲- مشخصات مدل جفت شده جوی-اقیانوسی $HadCM_3$

Table 2- $HadCM_3$ AOGCM attributes

مدل	دقت مکانی AGCM (درجه) (طول× عرض)	دقت مکانی OGCM (درجه) (طول× عرض)	دوره شبیه‌سازی گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق در گذشته	طول دوره شبیه‌سازی (سال)	سناریوهای شبیه-سازی شده SRES
$HadCM_3$	۲/۵ ×۳/۷۵	۲/۵ ×۳/۷۵	CO_2: ۱۹۸۹-۱۸۶۰ SO_4: ۱۹۸۹-۱۸۶۰	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۲۰۹۹-۱۹۵۰	A1، A2، B1، B2

Source: IPCC, 1999 from Ashofteh & Massah Bavani (2010: 30)

- معیارهای ارزیابی عملکرد

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

۱- ضریب تعیین: ضریب تعیین معیاری بدون بعد است که بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد (Sedaghatkerdar, and Fattahi, 2008: 67):

رابطه (۱)
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} X_o{}^2 \sum X_s{}^2}}$$

۲- مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا: این شاخص‌ها نشان دهنده میزان خطای مدل می‌باشند که بهترین مقدار آن‌ها برابر صفر است و از طریق روابط زیر محاسبه می‌شود (Sedaghatkerdar and Fattahi, 2008: 67):

رابطه (۲)
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (X_o - X_s)^2}{N}}$$

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

رابطه (۳)
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N} |X_o - X_s|}{N}$$

۳- میانگین مربعات خطا: برای محاسبه این شاخص از رابطه (٤) استفاده می‌شود که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند (Karamuz, 2006: 10):

رابطه (٤)
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (X_o - X_s)^2$$

٤- ضریب همبستگی: بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج برآورد شده مدل و داده‌های واقعی می‌باشد که بر اساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Khalili et al, 2006: 5). در واقع ضریب همبستگی ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی بسیار کاربرد دارد Sedaghatkerdar and Fattahi, 2008: 64):

رابطه (۵)
$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N} (X_o - \overline{X}_o)(X_s - \overline{X}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (X_o - \overline{X}_o)^2 \sum (X_s - \overline{X}_s)^2}}$$

در روابط فوق، X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده، $\overline{X}_o$ میانگین داده‌های مشاهداتی و N تعداد داده‌ها است.

پس از ارزیابی عملکرد مدل SDSM با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و اطمینان از مناسب بودن مدل، داده‌های دهه (۲۰۲۰) با استفاده از مدل $HadCM_3$ تحت دو سناریوی A_2 و B_2 تولید می‌شود. پس از تولید داده‌های روزانه برای ۲۰ سال آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) از خروجی‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر مدل، میانگین‌گیری شده و میانگین ماهانه و دوره‌ای پارامترهای مذکور در ۲۰ سال آتی محاسبه می‌شود سپس تغییرات آن‌ها نسبت به مقادیر میانگین دوره پایه محاسبه‌شده و نمودارهای تغییرات دما و بارش مربوط به هرکدام از ایستگاه‌ها ترسیم می‌گردد.

نتیجه‌گیری

جهت برآورد چشم‌انداز تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در دهه (۲۰۲۰) از آمار هواشناسی چهار ایستگاه سینوپتیک منتخب در سطح حوزه در طول دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۹۰) استفاده گردید. ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه شامل سقز، تبریز، خوی و ارومیه می‌باشد. متغیرهای هواشناسی مورد مطالعه نیز شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش به‌صورت روزانه و داده‌های دو سناریوی A_2 و B_2 مدل جفت شده جوی- اقیانوسی $HadCM_3$ می‌باشند. در مدل ریزگردانی SDSM قبل از واسنجی مدل، لازم است متغیرهای مستقل جوی (NCEP) که بیش‌ترین

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

میزان همبستگی را با پارامترهای اقلیمی مورد بررسی (دما، بارش) دارند، تعیین گردند. (جدول ۳) متغیرهای مورد استفاده در واسنجی نمودن مدل را به تفکیک پارامترهای اقلیمی مورد بررسی و همچنین به تفکیک ایستگاه هواشناسی نشان می‌دهد. بر اساس این جدول متغیرهای تاوایی در ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت نسبی سطحی و متوسط فشار در سطح دریا بیش‌ترین ارتباط را با بارش و متغیرهای متوسط دما در ارتفاع دو متری، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال و رطوبت نسبی سطحی بیش‌ترین ارتباط را با دمای حوزه مورد بررسی دارند. بعد از تعیین متغیرهای بزرگ مقیاس نسبت به واسنجی کردن مدل اقدام شد. نتایج این بخش در قالب فایلی با فرمت PAR.* ذخیره می‌شود که خلاصه نمونه‌ای از آن برای ایستگاه سقز و پارامتر دمای حداکثر در (جدول ٤) آورده شده است که از آن می‌توان جهت انتخاب مناسب‌ترین متغیر مستقل با معیارهایی همچون ضریب رگرسیونی، خطای استاندارد و ضریب تعیین و همچنین نمودارهای پراکنش استفاده نمود. بر اساس این جدول، متغیر مستقل متوسط دما در ارتفاع دو متری سطح زمین بالاترین ضرایب را با حداکثر دمای در ایستگاه سقز دارد ستون آخر نیز ضریب تعیین (R^2) می‌باشد که هرچه میزان آن بالاتر باشد، میزان عملکرد مدل برای ماه مورد نظر مناسب‌تر است.

جدول ۳- متغیرهای مستقل مورد استفاده جهت واسنجی نمودن مدل

Table 3- Independent variables for calibration of the model

ایستگاه	بارش	دمای حداکثر	دمای حداقل
سقز	متوسط فشار در سطح دریا سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال تاوایی در ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت نسبی سطحی	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت نسبی سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط فشار در سطح دریا ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت نسبی سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری
تبریز	متوسط فشار در سطح دریا تاوایی در ۵۰۰ هکتوپاسکال ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال رطوبت نسبی سطحی	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت نسبی سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط فشار در سطح دریا ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت نسبی سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری
ارومیه	تاوایی سطحی سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال تاوایی در ۵۰۰ هکتوپاسکال تاوایی در ۸۵۰ هکتوپاسکال	متوسط فشار در سطح دریا ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت نسبی سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط فشار در سطح دریا ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت نسبی سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری
خوی	سرعت مداری سطحی سرعت مداری در ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت نسبی در ۵۰۰ هکتوپاسکال	متوسط فشار در سطح دریا ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت ویژه سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری	متوسط فشار در سطح دریا ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال رطوبت ویژه سطحی متوسط دما در ارتفاع دو متری

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

جدول ٤- ضرایب پارامترهای مدل جهت شبیه‌سازی حداکثر درجه حرارت ایستگاه سقز

Table 4- Model parameter coefficient for simulation of maximum temperature in Saqez

ماه	عرض از مبدأ	ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	رطوبت نسبی سطحی	متوسط دما در ارتفاع دو متری	خطای استاندارد SE	ضریب تعیین R^2
ژانویه	١٤/٧٢	١/٩٨	٢/٢٦	٩/٦٣	٥/٠٨	٠/٣٧
فوریه	١٨/٠٧	١/٥	٠/٦٦	١٠/٤٦	٤/٦٩	٠/٤٣
مارس	٢٠/٤٧	٢/٧٥	-١/١٦	٧/٨	٣/٣٢	٠/٥٦
آوریل	٢٠/٢٤	٤/٠٦	-٠/٢٢	٤/٥٤	٢/٩٤	٠/٥٨
می	٢٠/٧٩	٢/٤٥	-٠/٩٥	٤/٦٥	٢/٧٢	٠/٥٦
ژوئن	١٩/٩٢	١/٧٣	-١/٣٧	٨/٠٣	٢	٠/٦٤
جولای	٢٥/٥٧	٤/٠٤	-٠/٥٤	٣/٠٢	٢/٢١	٠/٤
اوت	٢٤/٩٩	٢/١٩	-٣/٠٥	٢/٦	٢/٣١	٠/٢٧
سپتامبر	٢١/٧٦	١/٨٨	-١/٣٤	٥/٨٤	٢/٠٨	٠/٥٢
اکتبر	١٨/٦٢	٣/٦٤	-١/٩٩	٤/٢٥	٣/٠٨	٠/٥٧
نوامبر	١٧/٨٢	٣/٨	-٠/٢٩	٥/٤٨	٢/٩٣	٠/٦٤
دسامبر	١٧/٢٤	٢/٢٢	-٠/١٥	٨/٤٨	٤/١٦	٠/٤٦

به منظور اطمینان از صحت مدل، به ارزیابی پارامترهای شبیه‌سازی‌شده با استفاده از متغیرهای NCEP و سپس $HadCM_3$ و داده‌های واقعی برای دوره آماری پایه پرداخته شد که نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با استفاده شاخص‌های آماری مختلف در (جدول ۵) آورده شده است. نتایج حاصل با استفاده از داده‌های NCEP بیانگر آن است که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد و مقادیر همبستگی پیرسون بین داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ قابل قبول می‌باشند برای اطمینان از صحت واسنجی مدل از شاخص‌های خطا سنجی RMSE، MSE و MAE نیز استفاده شد که نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که دقت مدل در ایستگاه‌های مورد بررسی متفاوت بوده و در شبیه‌سازی دما نیز از دقت مناسب‌تری برخوردار بوده و در شبیه‌سازی بارش به‌ویژه در ایستگاه سقز از دقت کم‌تری برخوردار بوده است در مجموع نتایج حاصل از شاخص‌های خطا سنجی با استفاده از داده‌های NCEP بیانگر آن است که مدل ریزگردانی SDSM از کار آیی مناسبی جهت ریزگردانی پارامترهای اقلیمی در حوزه‌ی مورد بررسی به‌ویژه شاخص‌های دمایی برخوردار است. بررسی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی توسط مدل HadCM3 نیز نشان می‌دهد که بیش‌ترین اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده مربوط به پارامتر اقلیمی بارش با میانگین خطای مطلق به‌ترتیب با ۳/۱، ۱/٤۱، ۱/۳۲ و ۰/۹۹ برای ایستگاه‌های سقز، خوی، ارومیه و تبریز می‌باشد درصورتی‌که برای پارامتر اقلیمی دما به‌ویژه دمای حداقل دارای کم‌ترین خطا است (جدول ۵).

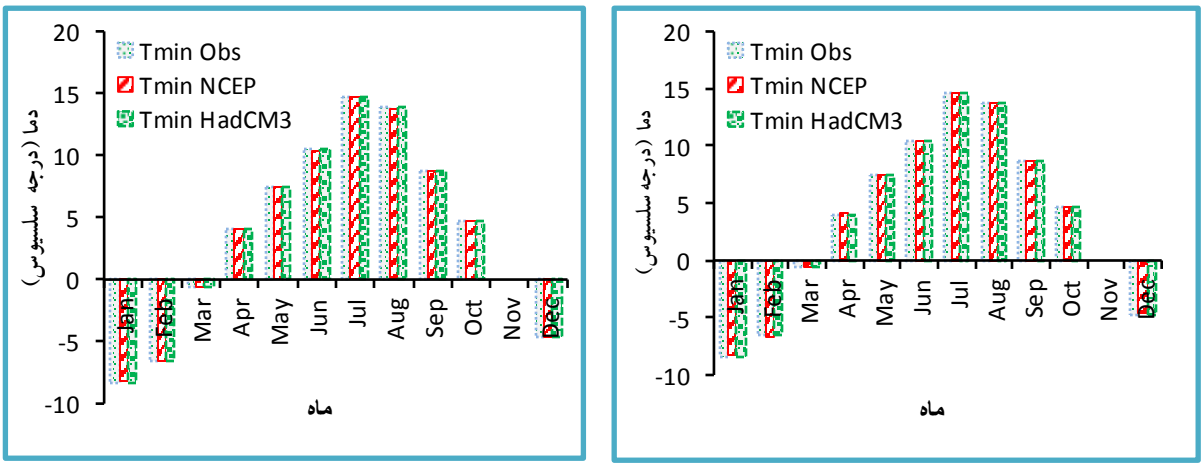
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

جدول ۵- ارزیابی عملکرد مدل در دوره پایه با استفاده از شاخص‌های خطا سنجی و همبستگی

Table 5- Model performance evaluation in base period using error indices & regression

ایستگاه	شاخص	RMSE		MSE		MAE		R^2		R	
	مدل	HadCM	NCEP	HadCM	NCEP	HadCM	NCEP	HadCM	NCEP	HadCM	NCEP
سقز	بارش	۲/۳۷	۳/۷۸	۵/۶۱	۱۴/۲۶	۱/۶۵	۳/۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۲	۰/۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲	۰/۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	دمای حداقل	۰/۱	۰/۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱	۰/۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
تبریز	بارش	۱/۷۵	۱/۲۱	۳/۶	۱/۴۷	۱/۳۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۴	۰/۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳	۰/۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	دمای حداقل	۰/۲	۰/۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲	۰/۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
ارومیه	بارش	۱/۹۷	۴	۳/۸۸	۲	۱/۵۶	۱/۳۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۳	۰/۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	دمای حداقل	۰/۲	۰/۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
خوی	بارش	۱/۲۵	۲/۲۸	۱/۵۶	۵/۲۲	۰/۹۱	۱/۴۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	دمای حداکثر	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
	دمای حداقل	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹

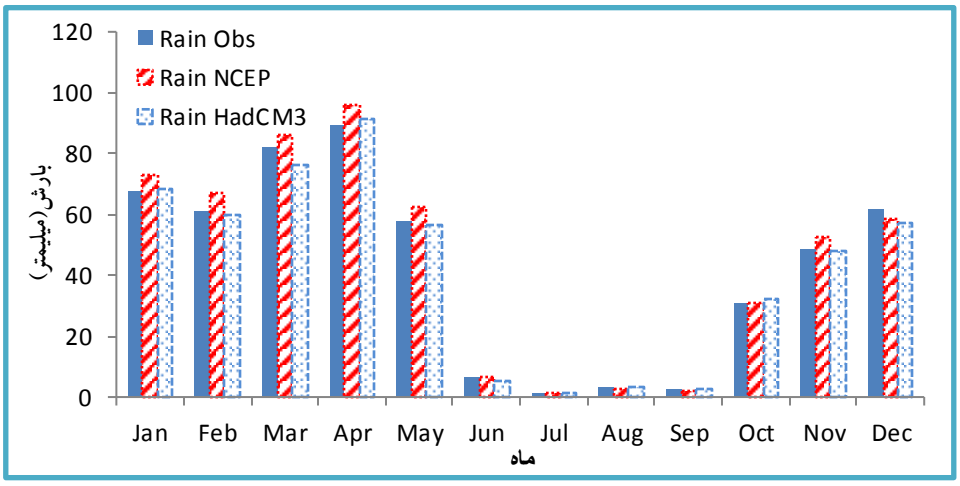
جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت پیش‌بینی به مقایسه مقادیر دمای حداقل و حداکثر و بارش شبیه‌سازی‌شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای در دوره پایه پرداخته شد که در این بررسی به علت تعدد نمودارهای مربوطه، فقط ایستگاه سینوپتیک سقز به‌عنوان نمونه در این مرحله آورده شده است (شکل ۲).



شکل ۲: مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده دما در دوره ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک سقز

Figure 2: Monthly observed & simulated of temperature changes in Saghez

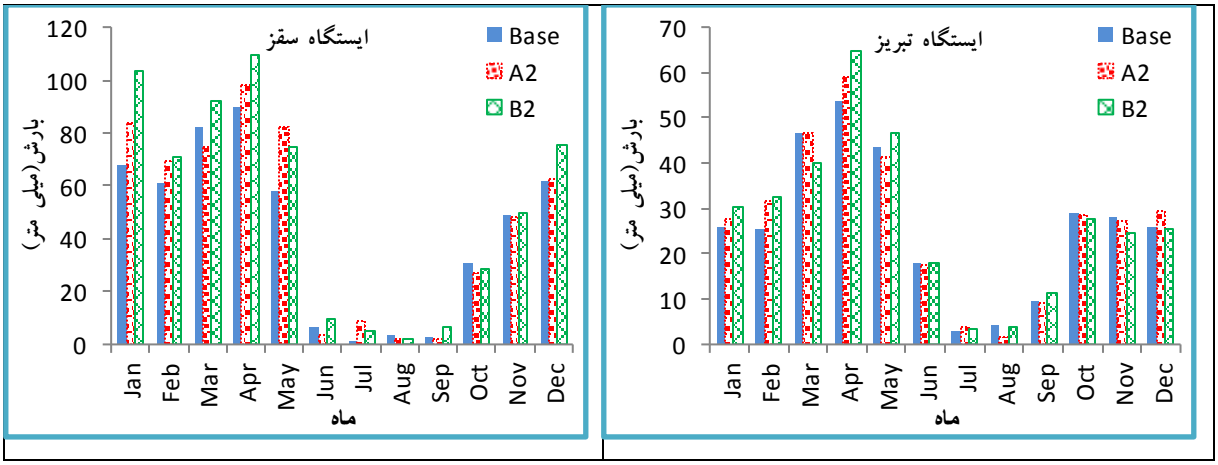
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



ادامه شکل ۲: مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده بارش در دوره ارزیابی مدل در ایستگاه سینوپتیک سقز

Continue FIgure 2: Monthly observed & simulated of precipitation changes in Saghez

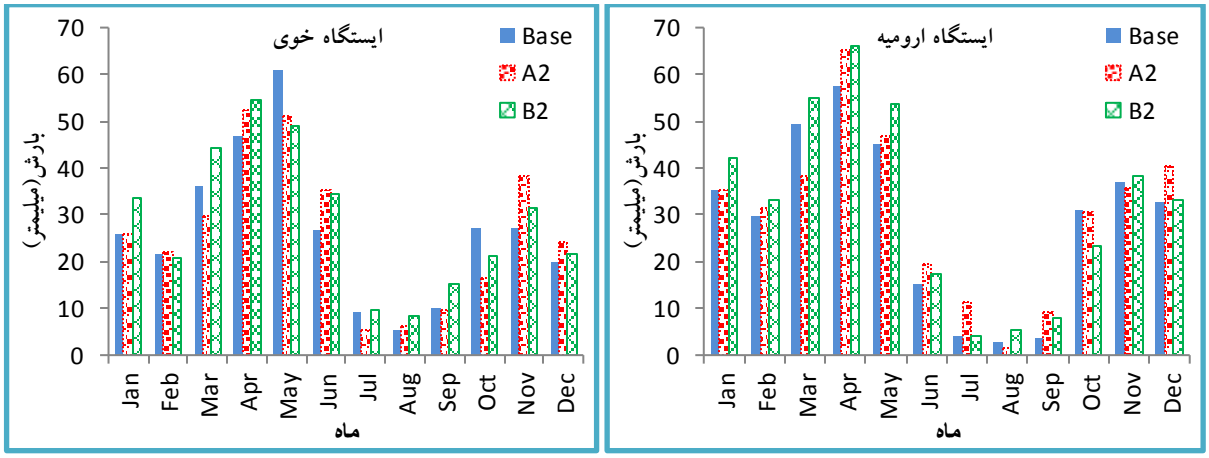
با توجه به نتایج حاصل، مدل SDSM در ریزگردانی پارامترهای دما و بارش در حوزه مورد مطالعه از کارایی مناسبی برخوردار است اما به‌طورکلی نتایج مدل در خصوص بارش ضعیف است که ناشی از پیچیده بودن فرآیند بارش و تاثیرگذاری عوامل مختلف در بارش حوزه است. پس از ارزیابی مدل و اطمینان از مناسب بودن آن به بررسی داده‌های تولید شده مدل $HadCM_3$ برای دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت دو سناریوی A_2 و B_2 پرداخته شد نتایج حاصل از بررسی بارش ماهانه در ایستگاه‌های مطالعاتی در (شکل ۳) نشان می‌دهد که بارش در دهه (۲۰۲۰) در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه و بر طبق هر دو سناریوی مورد بررسی در اکثر ماه‌ها به‌غیر از ماه‌های اکتبر و نوامبر و در برخی ایستگاه‌ها ماه‌های اوت و می بر طبق یکی از سناریوها نسبت به دوره پایه افزایش داشته و انتظار می‌رود که بارش در ۲۰ سال آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) افزایش داشته باشد و کاهش بارش اتفاق نیافتد.



شکل ۳: وضعیت تغییرات ماهانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه (۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه

Figure 3: Monthly precipitation changes in 2020s comparing to base perio

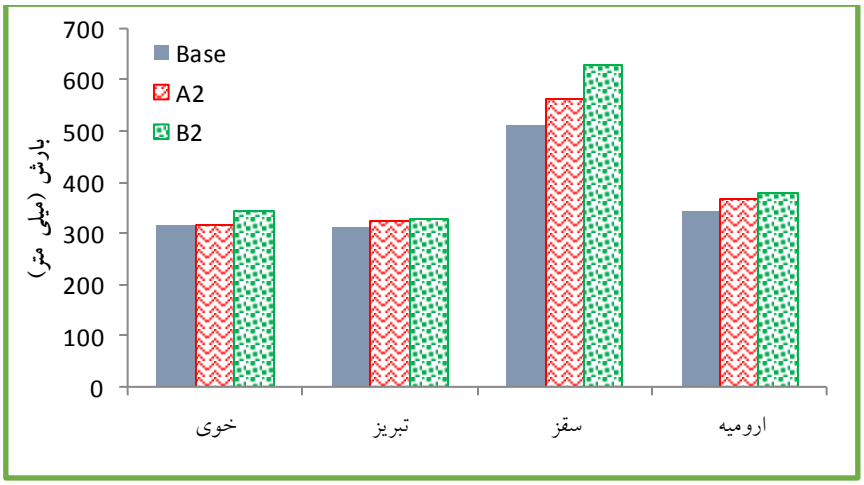
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



ادامه شکل ۳: وضعیت تغییرات ماهانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه (۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه

Continue Figure 3: Monthly precipitation changes in (2020) comparing to base period

(شکل ٤) نیز میزان بارندگی طی دوره آماری پایه و همچنین مقدار آن‌ها را در دهه (۲۰۲۰) به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح حوزه را نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود در دهه (۲۰۲۰) در هر چهار ایستگاه میزان بارش در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهد یافت که این افزایش به‌ترتیب برای ایستگاه‌های تبریز، ارومیه خوی و سقز برابر با ۳/۹، ۳/۱، ٤/۳ و ۱۳/٦ درصد نسبت به دوره پایه است که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آن به‌ترتیب مربوط به ایستگاه سینوپتیک سقز به میزان ۸۰/۷ میلی‌متر و ایستگاه ارومیه به میزان ۱۱ میلی‌متر نسبت به دوره پایه است. با توجه به نتایج حاصل می‌توان اظهار داشت که میزان بارش در سطح حوزه دریاچه ارومیه کاهش نخواهد یافت و بر طبق نتایج حاصل میزان بارش در سطح حوزه به‌طور متوسط به میزان ٦/۲ درصد (۲۹/۷ میلی‌متر) افزایش خواهد یافت. ذکر این نکته نیز ضروری می‌باشد که به دلیل پیچیده بودن فرآیند بارش مدل در شبیه‌سازی بارش از دقت بالایی برخوردار نمی‌باشد.

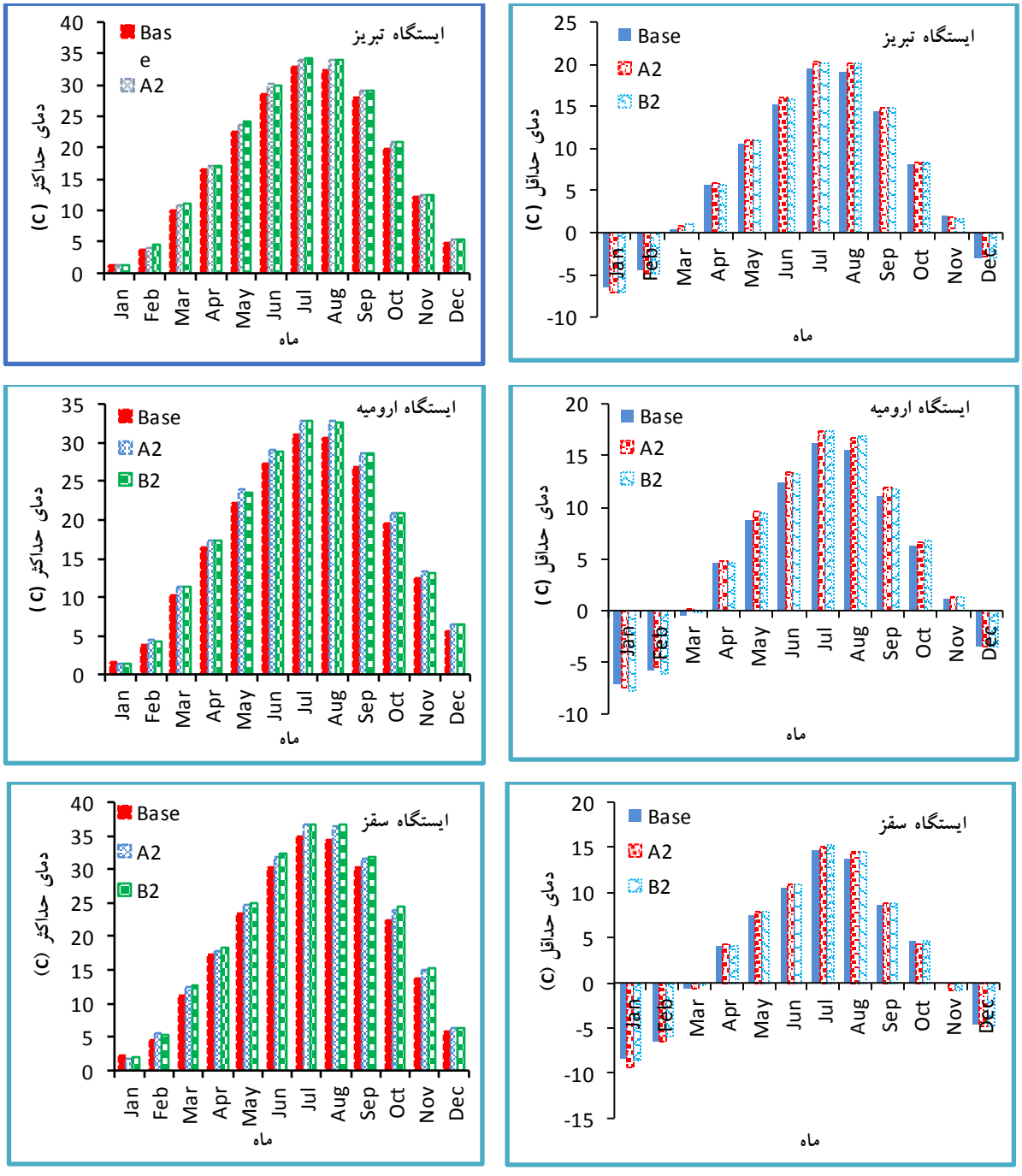


شکل ٤: وضعیت تغییرات بارش در دهه (۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه

Figure 4: The state of rainfall changes in the decade (2020) compared to the base period

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

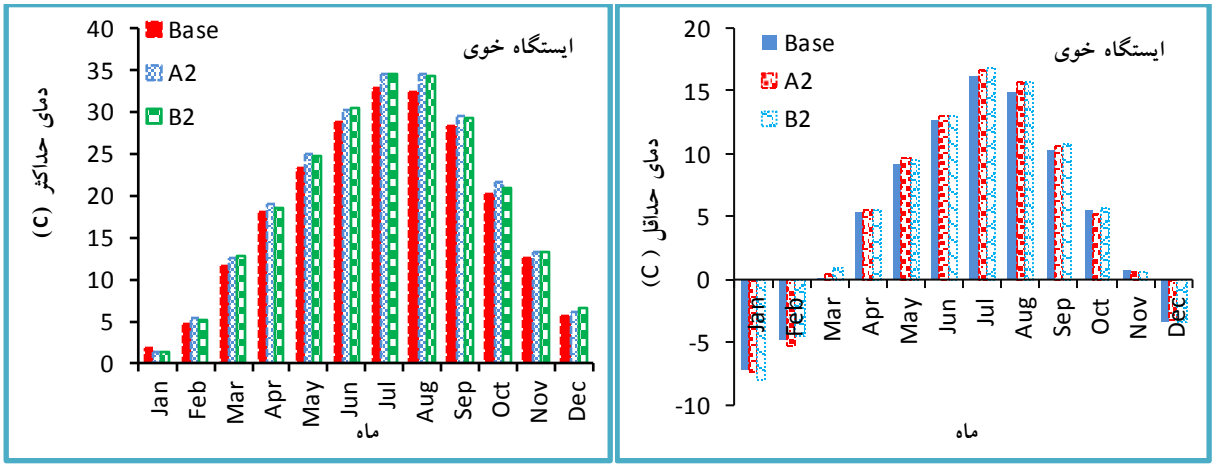
بررسی میانگین ماهانه حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه (۲۰۲۰) و دوره پایه نیز نشان می‌دهد (شکل ۵) که میزان دمای حداکثر به غیر از ماه ژانویه در سایر ماه‌های سال بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی و همچنین در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است در ارتباط با دمای حداقل نیز به غیر از ماه‌های نوامبر و دسامبر که کاهش جزیی داشته است در سایر ماه‌های سال افزایش دما پیش‌بینی می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵: وضعیت تغییرات ماهانه دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه (۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه

Fig. 5: Maximum & minimum monthly temperature changes in (2020) comparing to base period

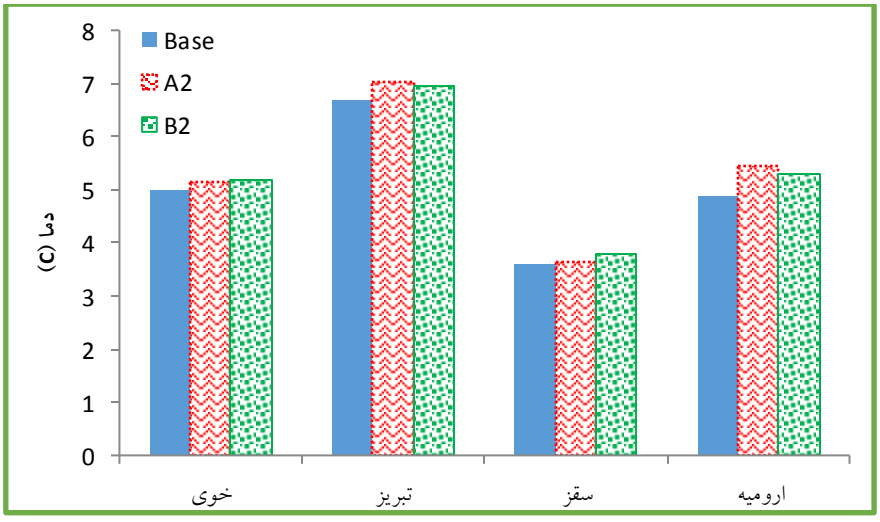
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



ادامه شکل ۵: وضعیت تغییرات ماهانه دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه (۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه

Continue Figure 5: Maximum & minimum monthly temperature changes in (2020) comparing to base period

از نظر ایستگاهی و میانگین بلندمدت نیز بیش‌ترین تغییرات دمای حداقل در منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، خوی و سقز با ۹/۳، ٤/۳، ۳/۸ و ۲/۷ درصد می‌باشد که این میزان برابر با ۰/۵، ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۱ درجه سلسیوس افزایش نسبت به دوره پایه می‌باشد (شکل ٦). به‌طور متوسط دمای حداقل در سطح حوزه به میزان ۰/۳ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.



شکل ٦: وضعیت تغییرات دمای حداقل در دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره پایه

Figure 6: Minimum temperature changes in 2020s comparing to base period

بررسی بلندمدت دماهای حداکثر در سطح حوزه نیز نشان‌دهنده افزایش دما است که بیش‌ترین میزان افزایش آن مربوط به ایستگاه‌های تبریز به میزان ۱/۹ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه خواهد بود (شکل ۷). این میزان برای ایستگاه سقز، خوی و ارومیه به‌ترتیب برابر با ۱/۳، ۱ و ۱/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. به طور متوسط، حداکثر دما در سطح حوزه مورد بررسی به میزان ۱/٤ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت.

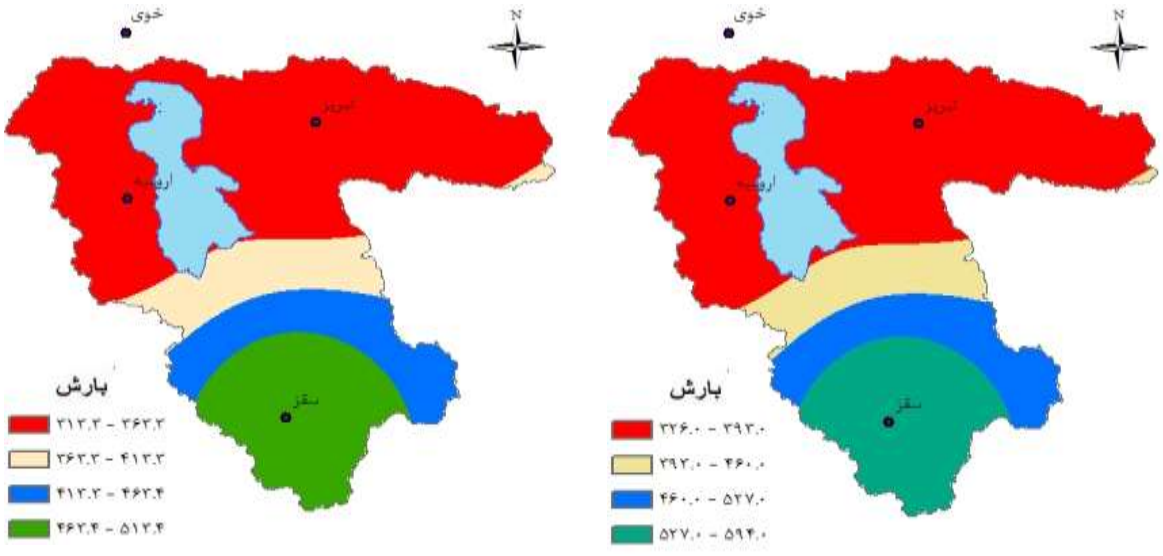
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۷: وضعیت تغییرات دمای حداکثر در دهه (۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه

Figure 7: Maximum temperature changes in (2020) comparing to base period

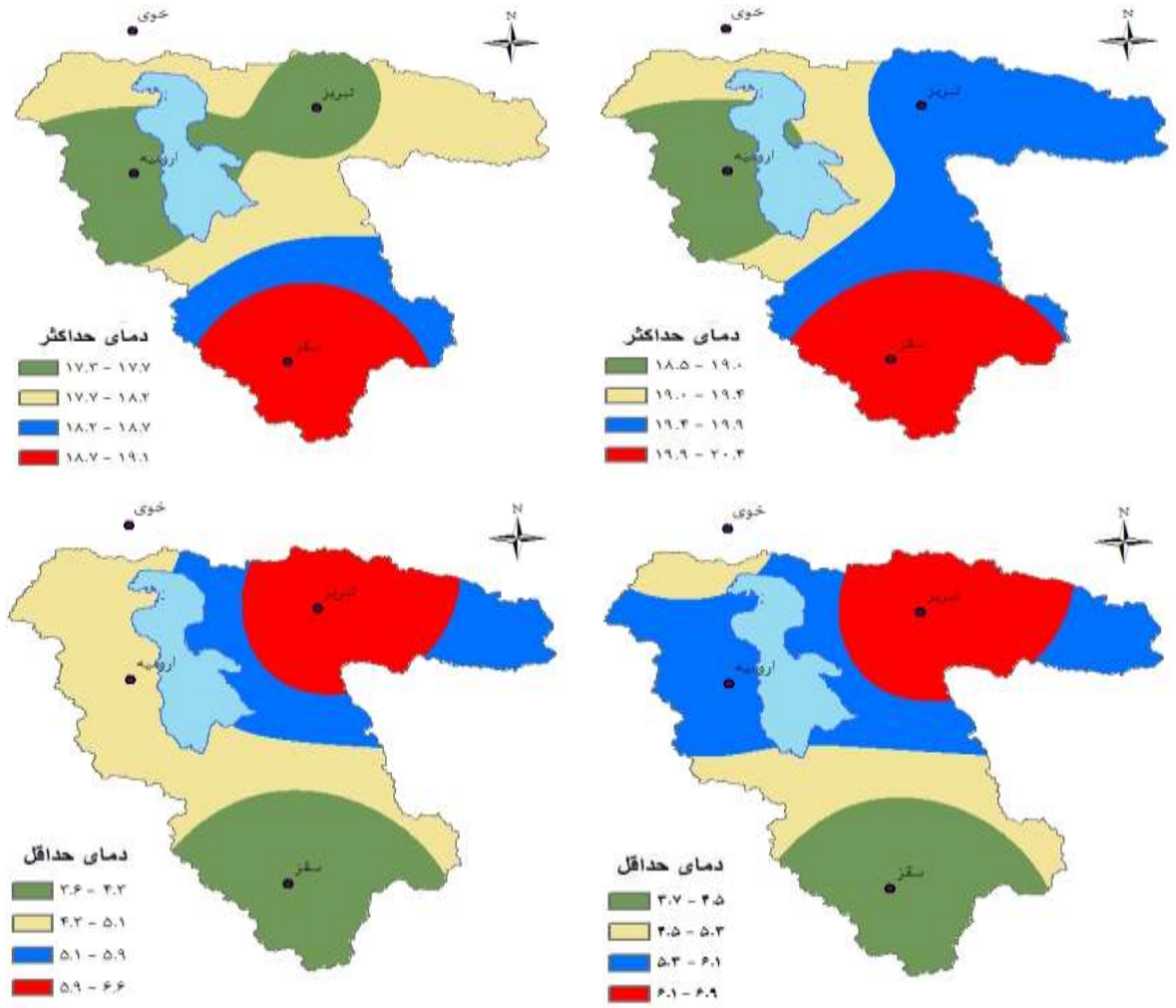
جهت نمایش بهتر تغییرات دما و بارش در سطح حوزه مورد بررسی، میزان دما و بارش در دهه (۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه در سطح حوزه در محیط نرم‌افزار Arc GIS با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله (IDW) درون‌یابی گردید که نتایج حاصل از آن برای هر سه متغیر مورد بررسی در (شکل ۸) آورده شده است.



شکل ۸: وضعیت تغییرات بارش در دهه (۲۰۲۰) (راست) نسبت به دوره پایه (چپ) در سطح حوزه مورد مطالعه

Figure 8: Precipitation changes in (2020) (right) comparing to base period (left)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]



ادامه شکل ۸: وضعیت تغییرات دما در دهه (۲۰۲۰) (راست) نسبت به دوره پایه (چپ) در سطح حوزه مورد مطالعه

Continue Figure 8: Temperature changes in (2020) (right) comparing to base period (left)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش داده‌های دما و بارش با استفاده از خروجی مدل $HadCM_3$ تحت دو سناریو A_2 و B_2 برای چهار ایستگاه سینوپتیک سقز، تبریز، خوی و ارومیه واقع در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در دوره (۲۰۱۱–۲۰۳۰) و با استفاده از مدل آماری SDSM ریزگردانی شدند. پس از این که مدل برای دوره پایه (۱۹۶۱–۱۹۹۰) و بر اساس داده‌های NCEP ارزیابی شد به شبیه‌سازی دما و بارش برای دوره پایه بر اساس داده‌های $HadCM_3$ پرداخته شد و بر اساس شاخص‌های خطاسنجی، ضریب تعیین و همبستگی، صحت و دقت مدل تعیین شد. نتایج حاصل نشان داد مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش در دوره پایه و دوره ارزیابی از توانایی قابل قبولی برخوردار است اما در مقایسه با دو متغیر دما و بارش، مدل در شبیه‌سازی بارش از دقت کم‌تری برخوردار است که این امر ناشی از پیچیده بودن فرآیند بارش و همچنین ساختار مدل‌های اقلیمی و همچنین ناشی از روش‌های ریزمقیاس‌گردانی آماری است که در مدل SDSM بر مبنای رگرسیون چندگانه است و بر این فرض استوار است که روابط به‌دست آمده با داده‌های

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

کنونی، طی دوره‌های آینده نیز ایستا و قابل استفاده می‌باشد (Kuhi & Sanaee fard, 20013: 571)، بنابراین در این زمینه عدم قطعیت‌هایی وجود دارد. نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل نیز نشان می‌دهد که مقادیر بارش، دمای حداقل و حداکثر در طی دهه (۲۰۲۰) در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی افزایش خواهد یافت که این افزایش به‌طور متوسط بلندمدت در سطح حوزه برای متغیرهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر به‌ترتیب برابر ۲۹/۷ میلی‌متر (٦/۲ درصد)، ۰/۳ و ۱/٤ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه خواهد بود. خلاصه نتایج به‌دست آمده در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای هر دو سناریوی مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه در (جدول ٦) آورده شده است. بیش‌ترین دامنه تغییرات بارش در سطح حوزه نیز مربوط به ایستگاه سقز با ۹ تا ۲۲ درصد افزایش نسبت به دوره پایه می‌باشد. بیش‌ترین میزان تغییرات دمای حداکثر و حداقل نیز به‌ترتیب مربوط به ایستگاه سقز با ۱/۲ تا ۱/۳ درجه و ایستگاه ارومیه با ۰/٤ تا ۰/۵ درجه سلسیوس تغییر نسبت به دوره پایه می‌باشد. در (جدول ٦) دامنه تغییرات بارش به درصد و دما به درجه سلسیوس می‌باشد.

جدول ٦- میانگین دما و بارش برای دوره پایه و آینده تحت دو سناریوی مدل HadCM3

Table 6- Mean annual temperature and precipitation for base period & future of 2 scenarios HadCM3

پارامتر		بارش				دمای حداکثر				دمای حداقل			
ایستگاه		سقز	تبریز	ارومیه	خوی	سقز	تبریز	ارومیه	خوی	سقز	تبریز	ارومیه	خوی
دوره پایه		۵۱۳/٤	۳۱۳/۳	۳٤۳/۷	۳۱٦/۸	۱۹/۲	۱۷/۷	۱۷/۳	۱۸/۳	۳/٦	٦/۷	٤/۹	۵
دوره آینده	A_2	۵٦۱/۳	۳۳۳/۳	۳٦۵/۷	۳۱۷/٤	۲۰/٤	۱۸/٦	۱۸/٤	۱۹/٤	۳/۷	۷/۱	۵/۵	۵/۲
	B_2	٦۲۷	۳۲۸/٦	۳۷۹/۸	۳٤٤/۸	۲۰/۵	۱۸/۷	۱۸/۵	۱۹/۳	۳/۸	۷	۵/۳	۵/۳
دامنه تغییرات		۲۲-۹	۵-۳	۱۱-٦	۹-۲	۱/۲ - ۱/۳	۰/۹- ۱	۱/۲- ۱/۱	۱/۱- ۱	۰/۲- ۰/۱	۰/٤- ۰/۳	۰/۵- ۰/٤	۰/۳- ۰/۲

نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های Abkar Espenani et al (2012), Ansari Moqadam & Hesami Kermani (2012), et al (2013), Qermezcheshmeh et al (2014), Zinati & Hesami (2014) مطابقت دارد. در خصوص شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی به‌ویژه پارامتر بارش نیز پیشنهاد می‌شود سایر روش‌های ریزگردانی و همچنین سایر مدل‌های GCM مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. لذا با توجه به این‌که به دنبال تغییرات آب وهوایی، شرایط اقلیم کشاورزی و همچنین وضعیت منابع آبی و طبیعی نیز دچار تغییر می‌گردند لازم است کلیه برنامه‌ریزان و مسئولان بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی، محیط‌زیست و منابع آب راهکارهای لازم برای تعدیل خسارات ناشی از تغییرات آب و هوایی و یا سازگاری با شرایط آب‌وهوایی جدید را اتخاذ نمایند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

References

- Abdo, K. S., Fiseha, B. M., Rientjes, T. H. M., Gieske, A. S. M., Haile, A. T., (2009), "Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana Basin. Ethiopia", ***Hydrological Processes***, 45: 18-30.
- Abkar, A., Habibnejad, M., Soleimani, K., Naqavi, H., (2013), "Assessing SDSM in simulation of temperature in the arid and semi-arid region", ***Journal of irrigation and water***, 4 (14): 1-17. [In Persian].
- Ansari Moqadam, N., Hesami Kermani, M. R., (2012), "Prediction of precipitation using statistical downscaling the out puts of CGCM3 & HADCM3: a Case study in Urmia lake", 11th Iranian Hydraulic conference, University of Urmia, 6th November, 2012. [In Persian].
- Aqashahi, M., Ardestani, M., Niksokhan, M., H., Tahmasebi, B., (2012), "Introducing & comparison of Lars-Wg & SDSM models in order to downscale environmental parameters in climate change studies", 6th national conference & special exhabition on environmental engineering, Tehran, 17th November, 2012. [In Persian].
- Ashofteh P., Massah Bavani, A., (2009), "Climate change impacts on maximum discharge: a case study in Aidaqmush East Azarbaijan", ***Journal of scinces & techniques of Agriculture & Natural Resources***, Water & soil sciences, 4: 53: 25-39. [In Persian].
- Chen, H., Yu Xu, C., Guo, SH., (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.
- Espenani, K., Shahidi, A., Rostamian, R., Farzaneh, M. R., (2012), "Investigation of climate change in future period using SDSM: a case study in Behesht Abad", North Karun, 1st national conference on Desert, 16th June. [In Persian].
- Fung, F., Lopez, A. L., New, M., (2011), "***Modeling the impact of climate change on water resources***", Wiley-Blackwell, london.
- Goodarzi, M., (2011), "Assessing climate change impacts on surface runoff of upper Karkha river basin", PhD thesis, University of Tabriz, Departement of Geography, Iran. [In Persian].
- Goodarzi, M., Jahanbakhsh, S., Rezaee, M., Ghafouri, A., Mahdian, M. H., (2011), "Assessment of climate change statistical downscaling methods in a single site in Kermanshah, Iran", ***American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.***, 6 (5): 564-572.
- Goodarzi, M., Khosravanian, J., Hejazi, A., (2015), "Prediction of climatic parameters using Lars-WG model in Qare-su", ***Journal of geographical space***, 15 (51): 263-279. [In Persian].
- Guo, B., Zhang, J., Gong, H., Cheng, X., (2014), "Future climate change impacts on the ecohydrology of Guishui River Basin China", ***Ecohydrology & Hydrobiology***, 14 (1): 55-67.
- Hamidianpur, M., Soltani, J., Qandehari, Q., (2013), "Climate change impact assessment on runoff in Bar & Taqan Basin using the out put of HadCm3 model", 1st Iranian national conference on climatology, advanced science and technology of Kerman, 21th May. [In Persian].
- Karamouz, M., Ramezani, F., Razavi, S., (2007), "Forecasting the long-term of rainfall through meteorological signals: Application of Artificial Neural Networks", ***Seventh International Congress on Civil Engineering,*** Tehran; 8th May. [In Persian].
- Khalili N., Khodashenas, S., Davari, K., (2006), "Prediction of precipitation using artificial naural network models", 2nd conference on water resources management, 23th January. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

- Kuhi, M., Sanaee Nejad, M., H., (2012), "Investigating climate change scenarios based on two statistical downscaling methods for the variable of evapotranspiration in Urmia region", ***Iranian journal of irrigation and drainage***, 4: 559-574. [In Persian].
- Mahsafar, H., Maknun, R., Saqafian, B., (2011), "Climate change impacts on water balance of Urmia lake", ***Journal of Iranian Water resources researches***, 7: 47-58. [In Persian].
- Malcolm, R., Cawely, G. C., Harpham, C., Wilby, R. L., Goodees, C. M., (2006), "Downscaling heavy precipitaion over the United Kingdom: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarious", ***International journal of climatology***, 9: 1397-1415.
- Mohamadlu, M., Haqizadeh, A., Zeinivand, H., Tahmasebipur, N., (2016), "Assessment of climate change impacts on trend changes of temperature & precipitation in Baranduzchai basin, west Azarbaijan using AOGCM", ***Journal of geographical space***, 56 (16): 151-168. [In Persian].
- Philippe, G., Yonas, B., Dibike, P., (2007), "Temperature change signal in northern Canada: convergence of statistical downscaling results using two driving GCM", ***Intrnational journal of climatology***, 260: 161-175.
- Prudhomme, C., Reynard, N., Crooks, S., (2002), "Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?", ***Hydrological Processes***, 16: 1137-1150.
- Qermezcheshmeh, B., Rasuli, A., A., Rezaee Banafsheh, M., Khorshid Dust, A., M., (2014), "Investigation of Morpho-climatic parameters impacts on precision of SDSM", ***Journal of engineering and watershed management***, 6 (2): 155-164. [In Persian].
- Samadi, S. Z., Massah Bavani, A., (2008), "Introducing artificial naural network methods and SDSM model forstatistical downscaling of temperature & precipitation", 3rd conference on water resources management of Iran, Tabriz university, 14th October. [In Persian].
- Samadi, S. Z., Massah Bavani, A., Mahdavi, M., (2009), "Selection of predictors for downscalingtemperature and precipitation in Qaresu Karkheh", 5th national conference on science and watershed management engineering of Iran, 22th April. [In Persian].
- Sedaghatkerdar, A., Fattahi, E., (2008), "Warning of drought indices in Iran", ***Journal of Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan***; 11 (6): 76-59. [In Persian].
- Wilby, R. L., Dawson C. W., Barrow, E. M., (2002), "SDSM a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts", ***Environmental Modeling & Software***, 17 (2): 147-159.
- Wilby, R.L., Harris, I., (2006), "A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK", ***Water Resour. Res.*** 42: 10-22.
- Wilby, R. L., Dawson, W. C., (2007), "***SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2***", Lancaster University, Lancaster.
- Zinati, N., Hesami Kermani, M. R., (2014), "Comparison of neuro-fuzzy and ASD methods in predicting of climate change: a case study Kerman synoptic station", ***Journal of agricultural meteorology***, 2 (1): 1-16. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]