



## ارزیابی تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای: حوضه دریاچه ارومیه

مهسا میردشتوان<sup>۱</sup>، آرش ملکیان<sup>۲\*</sup>، محسن محسنی ساروی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
  ۲. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
  ۳. استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- \* نویسنده مسئول: [malekian@ut.ac.ir](mailto:malekian@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

### چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه گذشته موجب برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده است که از آن تحت عنوان "تغییر اقلیم" نام برده می‌شود. بررسی‌ها و مطالعات گوناگون نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی دارای اثراتی بر سیستم‌های مختلف طبیعی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی است. با توجه به اهمیت و ضرورت بررسی پدیده مذکور، "حوضه آبخیز دریاچه ارومیه" برای مطالعه پدیده تغییر اقلیم انتخاب گردید. در پژوهش حاضر کوچک مقیاس کردن خروجی‌های بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو HadCM3 با استفاده از مدل چندگانه خطی SDSM، و سناریوهای انتشار A2 و B2 متعلق به دوره زمانی ۲۰۴۱ تا ۲۰۷۰ میلادی انجام شد. بر پایه نتایج پژوهش حاضر، بارندگی روزانه در دوره سناریوسازی دارای نوسانات متفاوتی است. کاربرد مدل HadCM3 نشان داد که مقدار بارندگی در دهه ۲۰۵۰ میلادی به مقدار ۰/۱ میلی‌متر در روز تحت سناریوی A2 کاهش خواهد یافت و برای سناریوی B2 دارای افزایشی معادل ۰/۳ میلی‌متر خواهد بود. همچنین مقدار بارندگی تحت هر دو سناریوی انتشار مورد بررسی در فصول زمستان و بهار کاهش و در فصول تابستان و پاییز افزایش خواهد یافت. کاربرد مدل HadCM3 در حوضه نشان داد که مقدار درجه حرارت در دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ میلادی، به مقدار ۱/۲ و ۱/۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب تحت سناریوهای A2 و B2 افزایش خواهد یافت؛ همچنین بیش‌ترین افزایش دما طی فصل زمستان سناریوی A2 به مقدار ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و با سناریوی B2 در فصل تابستان به مقدار ۱/۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. از یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند برای برآورد تغییرات در منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه، تغییرات در عملکرد محصولات کشاورزی و مرتعی و وضعیت پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها در آینده به‌کاربرده شود.

واژگان کلیدی: ریزمقیاس‌سازی؛ گازهای گلخانه‌ای؛ دریاچه ارومیه، AOGCM؛ HadCM3؛ SDSM

## ■ مقدمه

انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزدهم میلادی و توسعه اقتصادی و اجتماعی بشر، به طور عمده‌ای سبک زندگی مردم را تغییر داده است. رشد صنایع و کارخانه‌ها و به تبع آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از یک سو و تغییر کاربری اراضی از سوی دیگر موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو، به‌ویژه گاز کربن دی‌اکسید<sup>۱</sup> در چند دهه گذشته شده است؛ به گونه‌ای که غلظت این گاز از ۲۸۰ پی پی ام<sup>۲</sup> در قبل از انقلاب صنعتی (۱۷۵۰ میلادی) به ۳۷۹ پی پی ام در سال ۲۰۰۵ میلادی رسیده است. این افزایش غلظت موجب به هم خوردن ایستایی روند متغیرهای اقلیمی به خصوص دمای کره زمین شده است که از آن به‌عنوان "تغییر اقلیم" تعبیر می‌شود (۶). بررسی‌ها نشان داده‌اند که تغییر اقلیم دارای پیامدها و اثراتی از جمله تغییر در الگوی بارش، به وجود آمدن ناهمگنی در سری داده‌های تاریخی<sup>۳</sup>، بروز پدیده گرمایش جهانی<sup>۴</sup>، کم‌شدن کیفیت منابع آب، تغییر سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها، کاهش تولیدات کشاورزی، تغییر سطح آب‌های زیرزمینی، ایجاد مشکلات اجتماعی و اقتصادی و... است (۸، ۱۰).

برای درک ماهیت پیچیده اتمسفر و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده، باید مدلی از اقلیم با استفاده از قوانین و روابط ریاضی، بین پارامترهای مختلف اتمسفر فراهم نمود. مدل‌های گردش عمومی جو، مدل‌های ریاضی (شبیه‌سازهای رایانه‌ای) ویژگی‌های و فرآیندهای جوی - اقیانوسی هستند که هدف آن‌ها توصیف سیستم اقلیمی کره زمین است. یکی از محدودیت‌های اصلی استفاده از داده‌های اقلیمی مدل‌های گردش عمومی جو، این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آن‌ها با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیک مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل‌ها که در حدود ۲۰۰ کیلومتر است برای بررسی مناطق کوهستانی و مطالعه فرآیندهای بارش نامناسب است (۱، ۹)، در نتیجه داده‌ها باید به طریقی کوچک مقیاس شوند. در میان روش‌های گوناگون کوچک مقیاس

سازی، کوچک مقیاس سازی آماری به دلایلی نظیر هزینه کم‌تر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیش‌تری برخوردار است. کوچک مقیاس کردن آماری شامل توسعه روابط بین متغیرهای بزرگ مقیاس (پیش‌بینی کننده<sup>۵</sup>) و متغیرهای سطحی محلی (پیش‌بینی شده‌ها<sup>۶</sup>) است. در شکل عمومی، پیش‌بینی شده‌ها به‌عنوان تابعی از پیش‌بینی کننده‌ها مطرح می‌شوند اما انواع دیگری مانند رابطه بین پیش‌بینی کننده‌ها و پارامترهای توزیع آماری پیش‌بینی شده‌ها و یا فراوانی مقادیر حدی پیش‌بینی شده‌ها نیز به کار رفته‌اند (۱۳). از آن جا که مهم‌ترین ورودی مدل‌های گردش عمومی جو، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی بوده و از طرف دیگر محاسبه و تعیین انتشار این گازها در دوره‌های آتی به طور قطعی امکان‌پذیر نیست، از این رو سناریوهای مختلفی که شامل چگونگی تغییرات این گازها در آینده می‌باشد، ارائه شده است که آن‌ها را سناریوهای انتشار<sup>۷</sup> می‌نامند. در این سناریوها مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای با توجه به پیش‌بینی محرک‌هایی<sup>۸</sup> مانند مقدار جمعیت، نرخ رشد اقتصادی و مقدار اهمیت به محیط زیست برای دوره‌های آتی تعیین می‌شود (۱۰). در مجموع ۴۰ زیرسناریوی متفاوت SRES ارائه شده است که هر کدام از آنها متعلق به یکی از گروه‌های A1، A2، B1 و B2 است. لازم به ذکر است که به دلیل هزینه‌بر بودن اجرای تمامی سناریوها توسط مدل‌های گردش عمومی جو، اجرای تمامی آن‌ها توسط این مدل‌ها امکان‌پذیر نیست (۱۱).

با توجه به اهمیت بحث تغییر اقلیم و اثراتی که این پدیده بر روی سیستم‌های گوناگون بر جای می‌گذارد، در سال‌های اخیر و در کشورهای مختلف، پژوهشگران بسیاری اقدام به بررسی و پژوهش در مورد این مقوله مهم کرده‌اند (۲، ۳، ۵). در ایران نیز پژوهشگران متعددی اقدام به انجام مطالعات در زمینه ارزیابی تغییرات اقلیمی در سطوح حوضه‌ای و منطقه‌ای کرده‌اند. محققان طی پژوهشی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب در استان

<sup>۵</sup> Predictors<sup>۶</sup> Predictands<sup>۷</sup> Emission Scenarios<sup>۸</sup> Drivers<sup>۱</sup> Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)<sup>۲</sup> Parts-per million (ppm)<sup>۳</sup> Historical data<sup>۴</sup> Global warming

مقدار تغییرات اقلیمی تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه" به عنوان یکی از حوضه‌های مهم که دارای اقلیم غالب نیمه خشک در ایران است، می‌باشد.

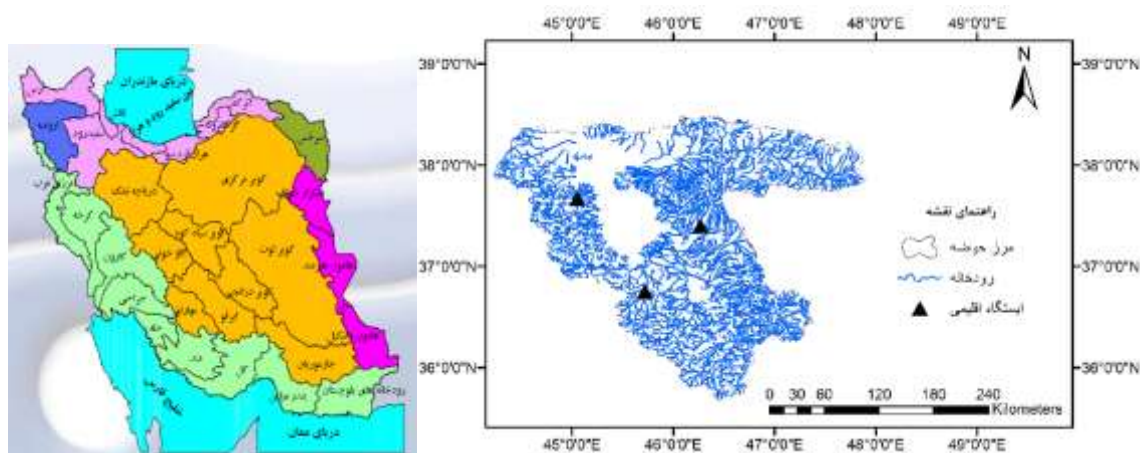
### ■ مواد و روش‌ها

#### محدوده مطالعاتی

حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، با وسعت ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع، در ناحیه کوهستانی شمال غربی ایران و بین استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و کردستان واقع شده است و حدود سه درصد از مساحت ایران را تشکیل می‌دهد. حوضه مذکور جزو حوزه‌های آبخیز بسته به شمار می‌آید به طوری که کلیه آب‌های سطحی و زیرزمینی، از مناطق پیرامون به سمت دریاچه ارومیه سرازیر می‌شوند. حوضه در ارتفاع بین ۱۲۸۰ تا ۳۶۰۰ متر بالاتر از سطح دریا قرار گرفته است که پست‌ترین نقطه آن دریاچه ارومیه و دشت‌های وسیع اطراف آن است و مرتفع‌ترین نقطه آن، قله کوه سبلان می‌باشد. از لحاظ شرایط اقلیمی، حوضه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل است. متوسط مقدار بارش در منطقه حدود ۳۵۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است که بخش عمده بارش از فصل پاییز تا اواسط بهار رخ می‌دهد. در ماه‌های تابستان در مقایسه با دیگر فصول سال، مقدار بارش بسیار اندک است. متوسط دمای سالانه بر حسب ارتفاع بین ۶/۵ تا ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. ماه‌های مرداد و شهریور گرم‌ترین و ماه‌های دی و بهمن سردترین ماه‌های سال هستند. بخش عمده حوضه، دو رودخانه سیمینه رود و زرینه رود هستند که به عنوان مهم‌ترین رودخانه‌های حوزه آبخیز دریاچه تلقی می‌شوند و در استان کردستان گسترش دارند (۴). شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز دریاچه ارومیه را در ایران و ایستگاه‌های مورد بررسی در حوضه را نشان می‌دهد.

آذربایجان شرقی و بر اساس مدل‌های گردش عمومی جو نمودند. خروجی‌های پژوهش بر اساس سناریوی A2 افزایش متوسط دمای سالانه را حدود ۲/۳ درجه سانتی‌گراد و کاهش ۳ درصدی بارش سالانه را در نیمه قرن حاضر نشان دادند. این تغییرات اقلیم استان را از نیمه خشک به خشک بر اساس شاخص خشکی دومارتن تغییر می‌دهند (۱۴). تغییرات اقلیمی مشاهده شده در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های آماری طی دوره ۱۹۶۴-۲۰۰۵ میلادی نشان دادند که بارش میانگین تا ۹/۲٪ کاهش یافته است و متوسط دمای حداکثر تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد در چهار دهه اخیر افزایش یافته است (۴). طی پژوهشی جریان رواناب در حوضه کرخه طی سال‌های ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ میلادی پیش‌بینی شد. بر اساس پیش‌بینی‌های مدل‌های SDSM و ANN دمای روزانه به ترتیب تا ۵/۵۸ درجه سانتی‌گراد (۳/۹٪) و ۰/۴۸ درجه سانتی‌گراد (۳/۴۸٪) افزایش خواهد یافت، هم‌چنین بارش روزانه به ترتیب ۰/۱ میلیمتر (۲/۵۶٪) و ۰/۴ میلیمتر (۲/۸٪) کاهش خواهد یافت (۱۱). نتایج پژوهش محققانی که به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر حداکثر بارش محتمل در حوضه رودخانه چنار-راهدار پرداختند حاکی از افزایش مقادیر حداکثر بارش محتمل با استفاده از روش‌های مختلف کوچک مقیاس سازی است (۱).

در حال حاضر مواردی نظیر رقابت بر سر استفاده و تخصیص منابع آب، آلودگی آب، کاهش جریان آب‌های ورودی، افزایش رسوبات ورودی و تغییر کاربری زیستگاه‌ها، شرایط اکولوژیک حوزه دریاچه ارومیه را مورد تهدید قرار می‌دهد (۱۴). از آنجایی که بخش عمده‌ای از موارد مذکور وابسته به شرایط اقلیمی و تحت تأثیر تغییرات آن هستند لذا بررسی مقدار تغییرپذیری اقلیمی در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه به برای تأثیری که موارد تهدید کننده مذکور بر سلامت اکولوژیک منطقه دارند ضروری است؛ بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر "ارزیابی



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در ایران و ایستگاه‌های مورد بررسی در حوزه

صورت گرفت داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه، مهاباد و مراغه به عنوان ایستگاه‌های مبنا برای کوچک مقیاس سازی و پیش‌بینی دما و بارش در دوره‌های آتی مورد استفاده قرار گرفتند. از مهم‌ترین ویژگی‌های ایستگاه‌های مذکور آمار بلند مدت و صحت آماری در میان سایر ایستگاه‌های موجود در حوزه است. جدول (۱) ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد بررسی حوزه را نشان می‌دهد.

### داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر برای آن که به نتایج مناسبی در زمینه مطالعه اثرات سناریوهای تغییرات اقلیمی بر متغیرهای اقلیمی حوزه دریاچه ارومیه دست یابیم کوچک مقیاس سازی در مقیاس ایستگاه‌های اقلیمی و با استفاده از متغیرهای اقلیمی مناسب انجام گرفت و سپس مقادیر متغیرهای اقلیمی دما و بارش حاصل از شبیه‌سازی‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به همین منظور با مطالعه‌ای که بر روی ایستگاه‌های مختلف حوزه

جدول ۱. ویژگی‌های ایستگاه‌های تحت بررسی حوزه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	سال تأسیس	طول (درجه-دقیقه)	عرض (درجه-دقیقه)	ارتفاع از سطح دریاهای آزاد (متر)
ارومیه	سینوپتیک	۱۹۵۱	۰۳-۴۵	۴۰-۳۷	۱۳۱۵/۹
مهاباد	سینوپتیک	۱۹۸۵	۴۳-۴۵	۴۵-۳۶	۱۳۸۵
مراغه	سینوپتیک	۱۹۸۳	۱۶-۴۶	۲۴-۳۷	۱۴۷۷/۷

اطلاعات، روش کوچک مقیاس سازی SDSM مورد استفاده قرار گرفت.

### مدل گردش عمومی جو HadCM3

مدل گردش عمومی جو HadCM3 یک مدل GCM (جفت شده‌ی جوی-اقیانوسی) است که در مرکز

### روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها

در پژوهش حاضر به منظور شبیه سازی متغیرهای بارش و دما برای دوره‌های آتی تحت اثر پدیده تغییر اقلیم، از مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 از مجموعه سناریوهای SRES استفاده گردید. در ادامه برای بالا بردن وضوح مکانی

در نظر گرفتن موقعیت سلول محاسباتی اصلی با ویژگی‌های ۲۰x و ۱۳y داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و NCEP<sup>۲</sup> برای کوچک مقیاس‌سازی استخراج گردید.

پژوهشی<sup>۱</sup> HCCPR در انگلستان ارائه شده است. این مدل دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است (۷). جدول (۲) ویژگی‌های این مدل را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر با

جدول ۲. ویژگی‌های مدل HadCM3 (۱۱)

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 شبیه‌سازی شده SRES
HadCM3	۲/۵*۳/۷۵	۲/۵*۳/۷۵	CO <sub>2</sub> : ۱۸۶۰-۱۹۸۹ SO <sub>4</sub> : ۱۸۶۰-۱۹۸۹	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای SRES: ۱۹۵۰-۲۰۹۹	A1,A2,B1,B2

### سناریوهای انتشار

از آنجایی که مهم‌ترین ورودی مدل‌های گردش عمومی جو، مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی بوده و از طرفی محاسبه و تعیین انتشار این گازها در دوره‌های آتی به طور قطعی امکان پذیر نیست، از این رو سناریوهای انتشار مختلفی برای آن‌ها ارائه شده است (۱۰). برای مدل گردش عمومی جو HadCM3، چهار سناریوی A1، A2، B1 و B2 ارائه شده است که در پژوهش حاضر دو سناریوی A2 و B2 مورد استفاده قرار می‌گیرند.

موضوع دربرگیرنده سناریوی A2، تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده‌ها و رسوم

خانوادگی، رشد زیاد جمعیت به میزان ۱۵ میلیارد نفر تا سال ۲۱۰۰ میلادی و سرعت کمتر در پیشرفت اقتصادی است. در سناریوی B2 تأکید بر راه حل‌های منطقه‌ای برای تقویت مسائل اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست است. جهان تعریف شده در این سناریو جهانی ناهمگن با سرعت تغییرات، پیشرفت فناوری کم‌تر اما متنوع‌تر است. در این سناریو بر ابتکار عمل جامعه برای یافتن راه حل‌های منطقه‌ای نسبت به راه حل‌های جهانی تأکید شده است (۸). در جدول (۳) ویژگی‌های این دو سناریو نشان داده شده است.

جدول ۳. ویژگی‌های سناریوهای اقلیمی A2 و B2 در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ میلادی (۸)

خصوصیت سناریو	۱۹۹۰	A2	B2
جمعیت (میلیارد)	۵/۲۵۲	۱۵/۱	۱۰/۴
غلظت CO <sub>2</sub> (ppm)	۳۵۴	۸۳۴	۶۰۱
شاخص رشد اقتصادی جهان (۱۰ <sup>۱۲</sup> دلار در سال)	۲۱	۲۴۳	۲۳۵
تغییر دمای کره زمین (°C)	-	۳/۱	۲/۱
افزایش جهانی سطح آب دریا (cm)	-	۶۲	۵۲

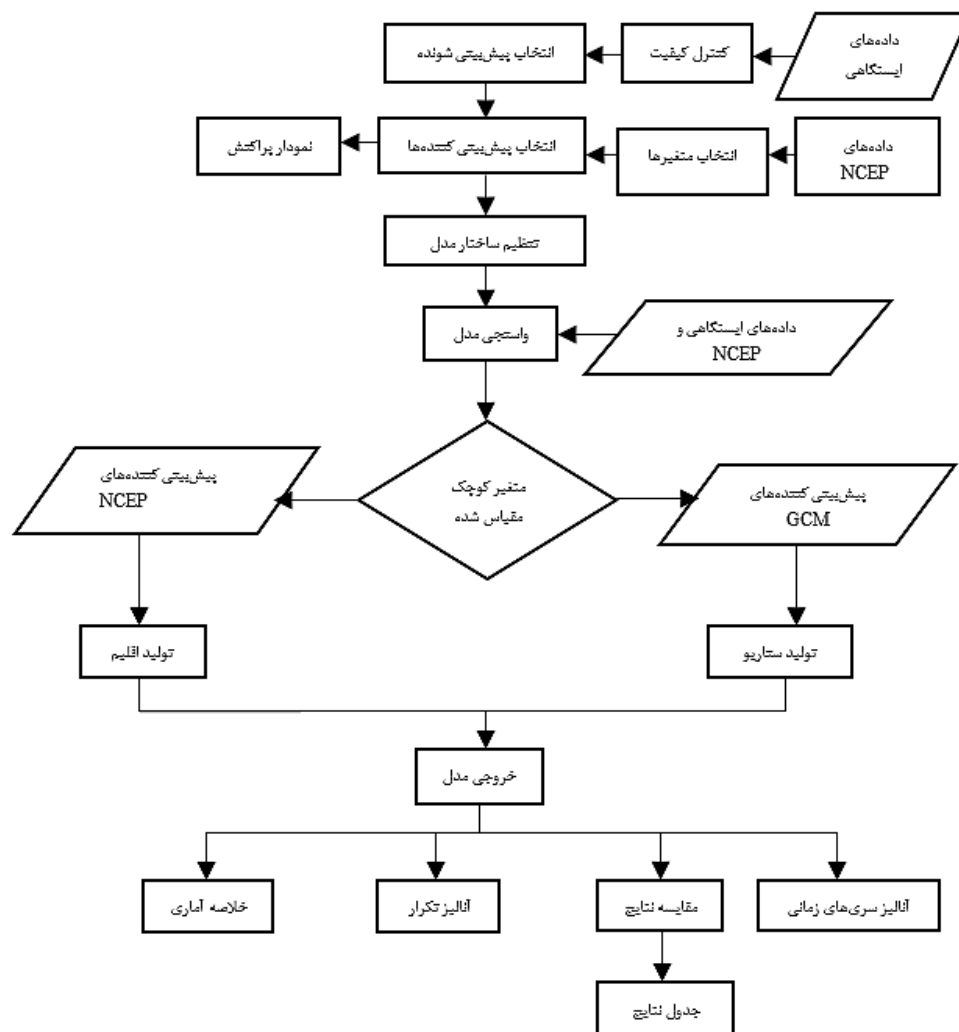
<sup>۲</sup> National Centre for Environmental Prediction

<sup>۱</sup> Hadley Center for Climate Prediction & Research

## کوچک مقیاس سازی

خروجی مدل‌های گردش عمومی جو باید تحت سناریوهای مختلف برای منطقه مورد مطالعه کوچک مقیاس شوند. SDSM روش کوچک مقیاس سازی است که بر روابط آماری تکنیک‌های رگرسیون چندگانه خطی میان متغیرهای بزرگ مقیاس و متغیرهای مشاهده‌ای محلی پایه‌گذاری شده است، در واقع SDSM یک روش

نمونه‌برداری دو مرحله‌ای است. این روش ابتدا متغیر پیش‌بینی کننده را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی کوچک مقیاس کرده و در مرحله دوم بارش را مجدداً در محل ایستگاه تولید می‌کند. این روش هیبریدی از روش مولدهای هواشناسی تصادفی و توابع انتقال است (۱۲). شکل ۲) مراحل کوچک مقیاس کردن متغیرهای اقلیمی روزانه با استفاده از مدل SDSM را نشان می‌دهد.



شکل ۲. مراحل کوچک مقیاس سازی آماری به روش SDSM (۱۲)

## ■ نتایج

## نتایج صحت‌سنجی پارامتر دما

برای کوچک مقیاس سازی خروجی‌های دمای مدل گردش عمومی جو، ابتدا باید مدل SDSM با استفاده از

داده‌های مشاهداتی مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گیرد. برای واسنجی مدل SDSM ابتدا از میان متغیرهای بزرگ مقیاس موجود، متغیرهایی که بیش‌ترین ارتباط را

شبیه‌سازی شده توسط داده‌های NCEP مقایسه گردیده که این مقایسه‌ها در شکل‌های (۳) تا (۵) نشان داده شده است.

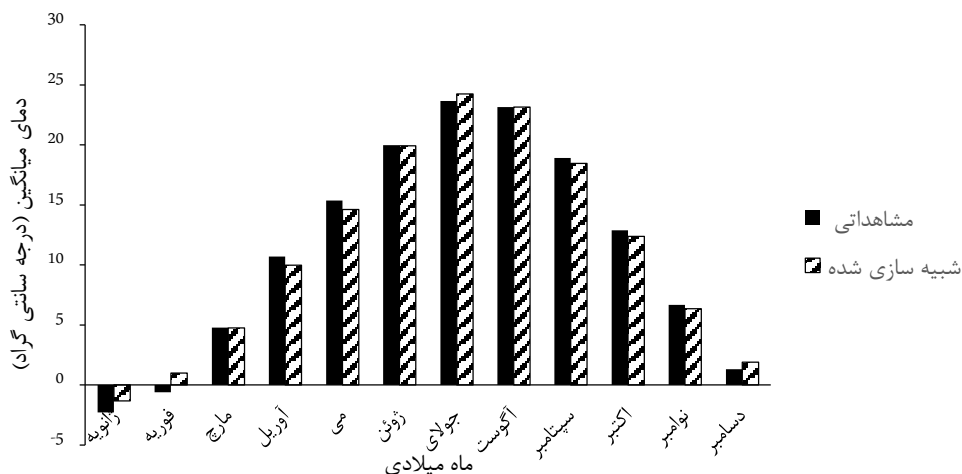
با دمای منطقه دارند انتخاب گردیدند (جدول ۴). پس از واسنجی مدل برای دوره پایه، اقدام به تولید داده‌های اقلیمی دما برای دو دوره صحت‌سنجی و تولید سناریو گردید. برای صحت‌سنجی مدل، دمای مشاهداتی و

جدول ۴. متغیرهای غالب در شبیه‌سازی میانگین دمای روزانه حوضه دریاچه ارومیه

ایستگاه	متغیرهای پیش‌بینی کننده
ارومیه	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال، متوسط دما در ارتفاع دو متری
مهاباد	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال، متوسط دما در ارتفاع دو متری
مراغه	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال، متوسط دما در ارتفاع دو متری

مدل، در ماه فوریه به مقدار  $1/6$  درجه سانتی‌گراد است. بالاترین میانگین دمای روزانه ایستگاه مربوط به ماه جولای با  $23/7$  درجه سانتی‌گراد بر اساس داده‌های مشاهداتی است (شکل ۳).

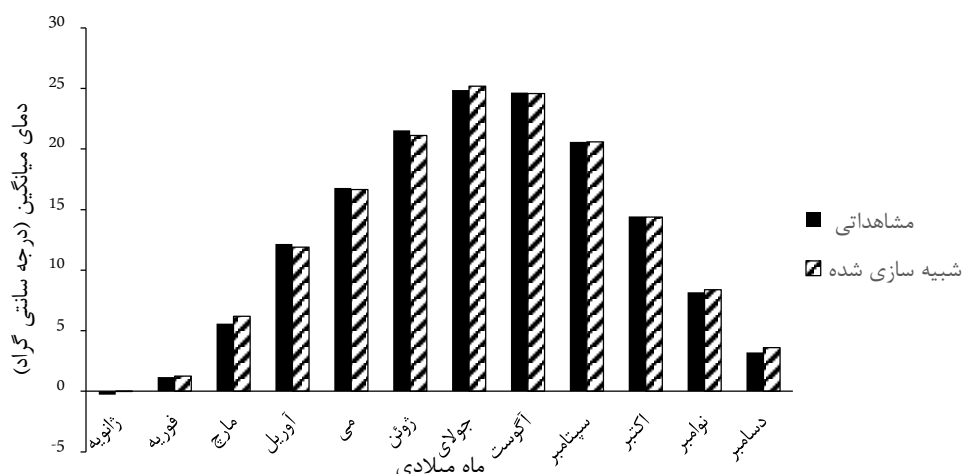
همان طور که در نمودار مربوط به متوسط ماهانه میانگین دمای روزانه در ایستگاه ارومیه در دوره صحت‌سنجی نشان داده شده است بیش‌ترین اختلاف میان نتایج مدل و مقادیر مشاهداتی در دوره صحت‌سنجی



شکل ۳. متوسط دمای روزانه ایستگاه ارومیه در دوره صحت‌سنجی

روزانه ایستگاه مربوط به ماه جولای با  $24/9$  درجه سانتی‌گراد بر اساس داده‌های مشاهداتی است. نتایج حاصل از دوره صحت‌سنجی مدل برای ایستگاه مهاباد حاکی از عملکرد بهتر مدل در برآورد دمای ایستگاه مهاباد نسبت به دمای ایستگاه ارومیه است (شکل ۴).

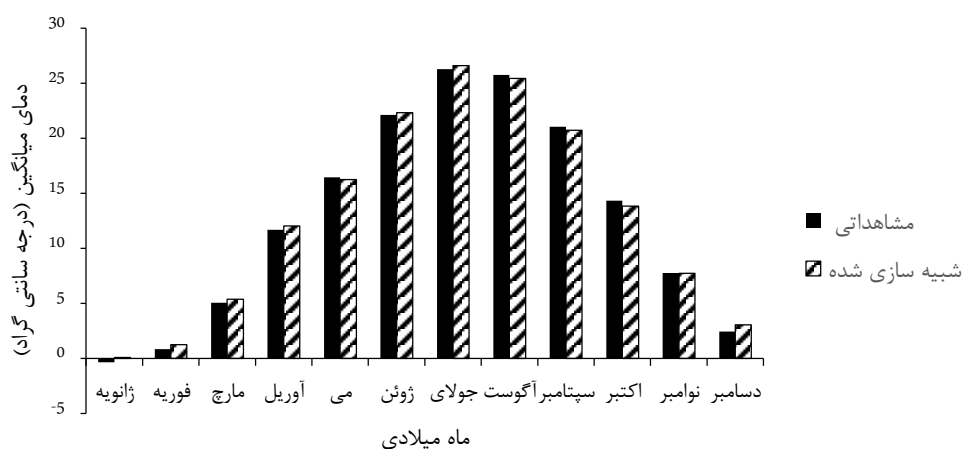
در شکل ۴ متوسط ماهانه میانگین دمای روزانه در ایستگاه مهاباد در دوره صحت‌سنجی نشان داده شده است. بیش‌ترین اختلاف میان نتایج مدل و مقادیر مشاهداتی در دوره صحت‌سنجی مدل، در ماه مارچ به مقدار  $0/6$  درجه سانتی‌گراد است. بالاترین میانگین دمای



شکل ۴. متوسط دمای روزانه ایستگاه مه‌آباد در دوره صحت‌سنجی مدل

ماه جولای با  $26/3$  درجه سانتی‌گراد بر اساس داده‌های مشاهداتی است (شکل ۵). نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل برای شبیه‌سازی پارامتر دما حاکی از عملکرد بهتر مدل به ترتیب برای ایستگاه‌های مه‌آباد، مراغه و ارومیه است.

متوسط ماهانه میانگین دمای روزانه در ایستگاه مراغه در دوره صحت‌سنجی در شکل ۵ نشان داده شده است. بیش‌ترین اختلاف میان نتایج مدل و مقادیر مشاهداتی در دوره صحت‌سنجی مدل، در ماه دسامبر به مقدار  $0/6$  درجه سانتی‌گراد است. بالاترین میانگین دمای روزانه ایستگاه مربوط به



شکل ۵. متوسط دمای روزانه ایستگاه مراغه در دوره صحت‌سنجی



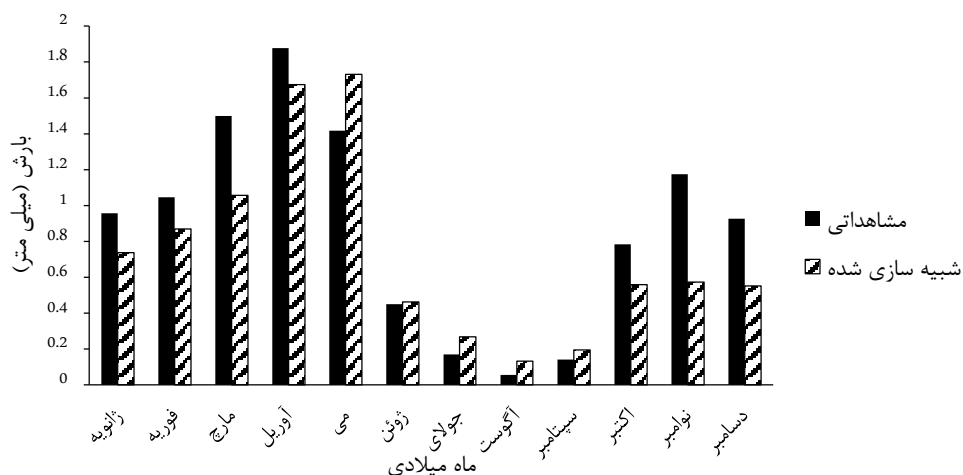
## نتایج صحت‌سنجی پارامتر بارش

برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم بارندگی ابتدا باید مدل SDSM مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گیرد. مراحل واسنجی و صحت‌سنجی پارامتر بارش همانند مراحل طی شده برای پارامتر دما با استفاده از متغیرهای پیش‌بینی کننده صورت گرفت (جدول ۵). در شکل ۶

متوسط ماهانه میانگین بارندگی روزانه در ایستگاه ارومیه در دوره صحت‌سنجی نشان داده شده است. بیش‌ترین اختلاف میان نتایج مدل و مقادیر مشاهداتی در دوره صحت‌سنجی مدل، در ماه مارچ به مقدار ۰/۶ میلی‌متر است. بالاترین میانگین بارندگی روزانه ایستگاه مربوط به ماه آوریل با ۱/۹ میلی‌متر بر اساس داده‌های مشاهداتی است (شکل ۶).

جدول ۵. متغیرهای غالب در شبیه‌سازی میانگین بارندگی روزانه حوضه دریاچه ارومیه

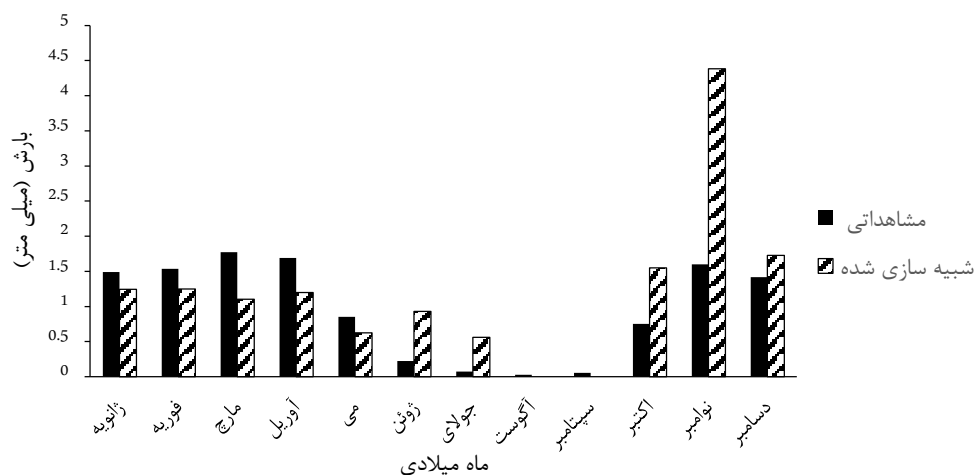
ایستگاه	متغیرهای پیش‌بینی کننده
ارومیه	سرعت مدیترانه‌ای در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، واگرایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
مهاباد	سرعت مدار سطحی، سرعت مدیترانه‌ای سطحی، برای باد سطحی
مراغه	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، متوسط دما در ارتفاع دو متری، طوبت ویژه سطحی



شکل ۶. متوسط بارندگی روزانه ایستگاه ارومیه در دوره صحت‌سنجی

اساس داده‌های مشاهداتی است. نتایج حاصل از دوره صحت‌سنجی مدل برای ایستگاه مهاباد حاکی از عملکرد بهتر مدل در برآورد بارندگی ایستگاه ارومیه نسبت به بارندگی ایستگاه مهاباد است (شکل ۷).

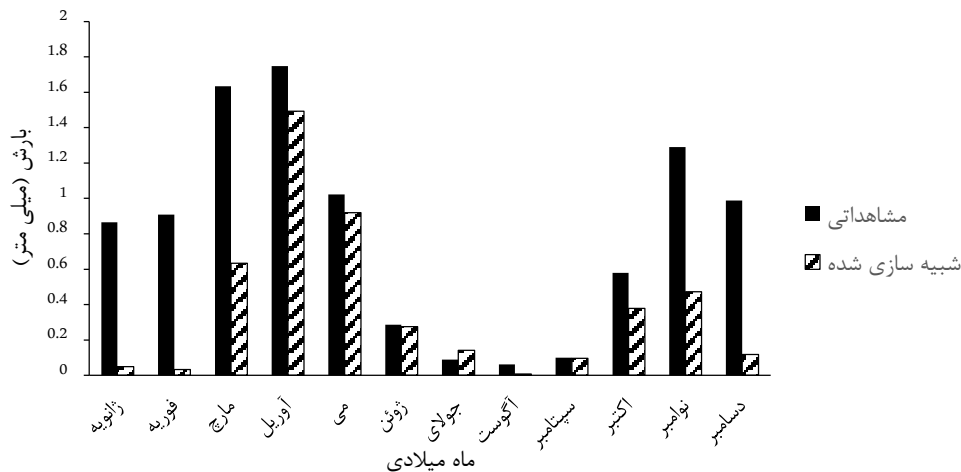
بیش‌ترین اختلاف میان نتایج مدل و مقادیر مشاهداتی ایستگاه مهاباد طی دوره صحت‌سنجی مدل، در ماه نوامبر به مقدار ۲/۸ میلی‌متر است. بالاترین میانگین بارندگی روزانه ایستگاه مربوط به ماه مارچ با ۱/۸ میلی‌متر بر



شکل ۷. متوسط بارندگی روزانه ایستگاه مهاباد در دوره صحت‌سنجی

داده‌های مشاهداتی است. نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل برای شبیه‌سازی پارامتر بارندگی حاکی از عملکرد بهتر مدل به ترتیب برای ایستگاه‌های ارومیه، مراغه و مهاباد است.

بیشترین اختلاف متوسط ماهانه میانگین بارندگی روزانه در ایستگاه مراغه میان نتایج مدل و مقادیر مشاهداتی در دوره صحت‌سنجی مدل، در ماه مارچ به مقدار ۱ میلی‌متر است. بالاترین میانگین دمای روزانه ایستگاه مربوط به ماه آوریل با ۱/۱ میلی‌متر بر اساس



شکل ۸. متوسط بارندگی روزانه ایستگاه مراغه در دوره صحت‌سنجی

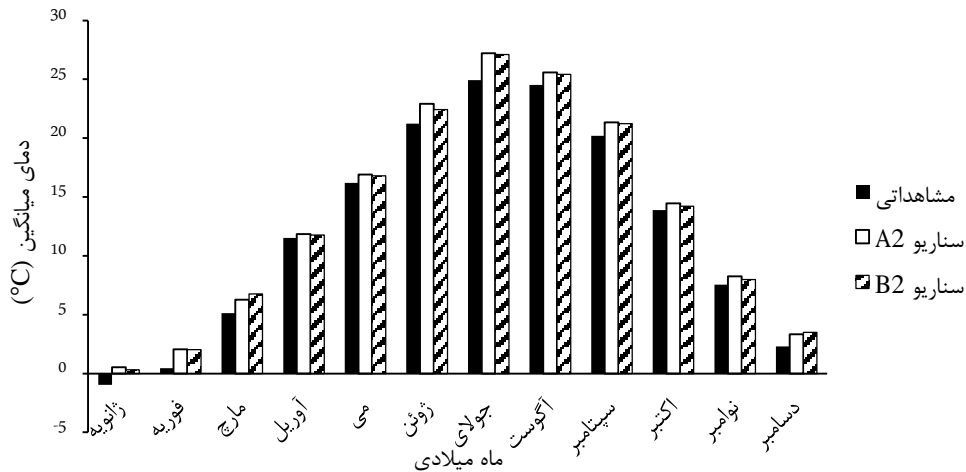
۲۰۵۰ میلادی) مقایسه گردید. همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌شود به طور میانگین دمای روزانه در ایستگاه‌های تحت بررسی حوضه در دهه ۲۰۵۰ میلادی (۲۰۷۰-۲۰۴۱ میلادی) در تمامی ماه‌ها و تحت هر دو سناریوی انتشار مورد نظر دارای روند افزایشی است و بیشترین مقدار افزایش در دوره آبی در ماه جولای و به مقدار ۲/۳ و ۲/۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب تحت دو

### تغییرات دما در آینده (دهه ۲۰۵۰ میلادی)

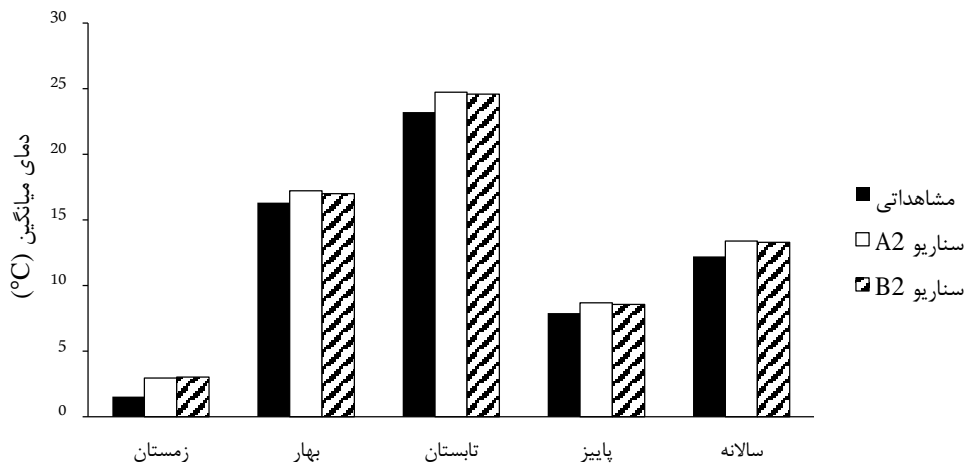
به منظور بررسی و تحلیل تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای مختلف، متغیرهای اقلیمی حاصل از مدل HadCM3 در دهه ۲۰۵۰ میلادی شبیه‌سازی گردید و برای برآورد روند تغییرات دما تحت سناریوهای مختلف انتشار نمودارهای دوره زمانی پایه در هر ایستگاه با دوره زمانی آینده (دهه

B2 خواهد بود. که با توجه به تفاوت اندک میان تغییرات میانگین دمای متوسط روزانه در فصول تابستان و زمستان (۱/۴ و ۱/۵ درجه سانتی‌گراد)، تحت هر دو سناریوی انتشار می‌توان این‌گونه بیان نمود که در واقع بیش‌ترین افزایش دمای میانگین روزانه در حوضه در فصول زمستان و تابستان رخ خواهد داد (شکل ۱۰).

سناریوی A2 و B2 است. به طور کلی دمای متوسط روزانه حوضه تحت دو سناریوی A2 و B2 به ترتیب ۱/۲ و ۱/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. از لحاظ تغییرات فصلی نیز به طور متوسط در دوره آتی بیش‌ترین افزایش دمای روزانه حوضه در فصل زمستان و به مقدار ۱/۵ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی A2 و در فصل تابستان و به مقدار ۱/۴ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی



شکل ۹. میانگین دمای روزانه حوضه در دوره‌های مشاهده‌ای و سناریوسازی



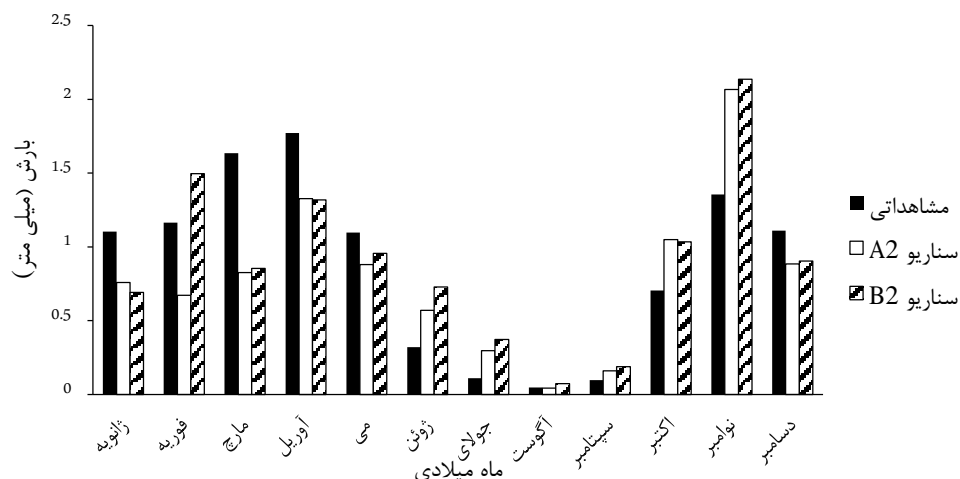
شکل ۱۰. تغییرات متوسط فصلی و سالانه دمای روزانه حوضه در دوره‌های مشاهده‌ای و سناریوسازی

تغییرات بارندگی تحت سناریوهای مختلف انتشار نمودارهای دوره زمانی پایه در هر ایستگاه با دوره زمانی آینده (دهه ۲۰۵۰ میلادی) مقایسه شد. همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود به طور میانگین بارندگی روزانه در ایستگاه‌های تحت بررسی

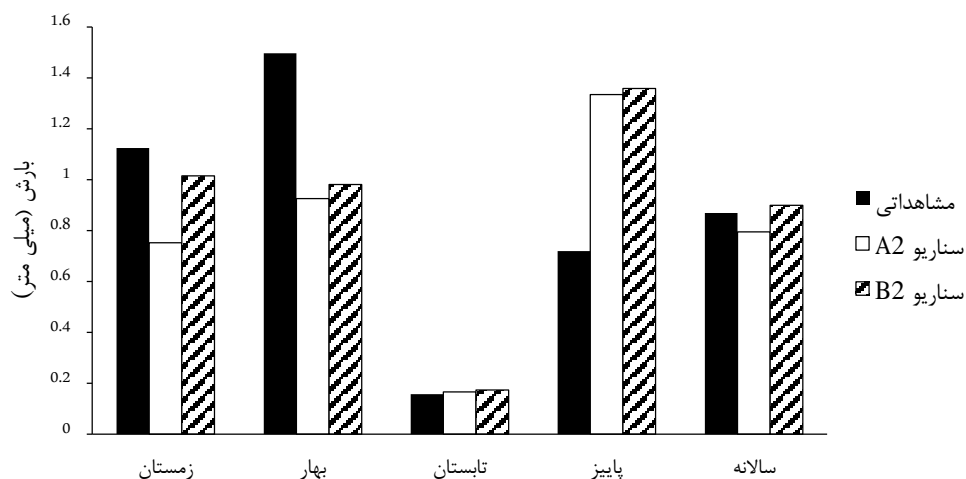
تغییرات بارش در آینده (دهه ۲۰۵۰ میلادی) به منظور بررسی و تحلیل تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای مختلف، متغیرهای اقلیمی حاصل از مدل HadCM3 در دهه ۲۰۵۰ میلادی شبیه‌سازی گردید و برای برآورد روند

میلی متر پیش بینی می‌شود. به طور متوسط در هر دو سناریوی مورد استفاده بارندگی روزانه در فصول زمستان و بهار کاهش، در فصل تابستان و فصل پاییز افزایش خواهد یافت؛ هم‌چنین به طور کلی بارندگی روزانه در دهه آتی تحت سناریوی A2 ۰/۱ میلی متر کاهش خواهد یافت و تحت سناریوی B2 ۰/۳ میلی متر افزایش خواهد یافت.

حوضه در دهه ۲۰۵۰ میلادی (۲۰۷۰-۲۰۴۱ میلادی) تحت سناریوی A2، در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارچ، آوریل، می و دسامبر کاهش خواهد یافت که بیش‌ترین کاهش در ماه مارچ و به مقدار ۰/۸ میلی متر پیش‌بینی می‌شود، هم‌چنین تحت سناریوی B2 در ماه‌های ژانویه، مارچ، آوریل، می و دسامبر کاهش می‌یابد که همانند سناریوی B2 این کاهش در ماه مارچ و به مقدار ۰/۷



شکل ۱۱. میانگین بارندگی روزانه حوضه در دوره‌های مشاهده‌ای و سناریوسازی



شکل ۱۲. تغییرات فصلی و سالانه میانگین بارندگی روزانه حوضه در دوره‌های سناریوسازی

برای سناریوهای A2 و B2 نشان داده شده است (جدول ۶).

نتایج تغییرات بارندگی و دمای روزانه حوضه به اختصار در جدول زیر در دو دوره ارزیابی و سناریوسازی

جدول ۶. مقایسه تغییرات مقادیر بارندگی و دما در دوره ارزیابی و سناریوسازی

تغییرات دمای روزانه (درجه‌ی سانتی‌گراد) کوچک مقیاس شده			تغییرات بارش روزانه (میلی‌متر در روز) کوچک مقیاس شده			پارامتر
HadCM3			HadCM3			زمان
A2	B2		A2	B2		
۱/۴	۱/۵	۱/۵	-۰/۴	-۰/۱	۱/۱	زمستان
۰/۹	۰/۷	۱۶/۳	-۰/۶	-۰/۵	۱/۵	بهار
۱/۵	۱/۴	۲۳/۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۲	تابستان
۰/۸	۰/۷	۷/۹	۰/۶	۰/۶	۰/۷	پاییز
۱/۲	۱/۱	۱۲/۲	-۰/۱	۰/۰۳	۰/۹	سالانه

### ■ بحث و نتیجه‌گیری

حوزه آبخیز دریاچه ارومیه یکی از مهم‌ترین حوزه‌های آبخیز در ایران از دیدگاه‌های زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و... است. حوزه مذکور دارای ویژگی‌های مهم و منحصر به فردی از جمله قرار گرفتن دریاچه ارومیه در آن، طبیعی بودن دریاچه مذکور، شرایط خاص اکولوژیک حوزه، وجود تالاب‌های اقماری آب شیرین در حوزه و... می‌باشد. در پژوهش حاضر روش‌شناسی ۱ تعریف شد که در آن با استفاده از خروجی‌های بزرگ مقیاس مدل HadCM3 و ابزار کوچک مقیاس سازی آماری SDSM، تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B2، مقادیر دما و بارش در دوره میانی تغییر اقلیم (۲۰۴۱-۲۰۷۰ میلادی) شبیه‌سازی گردید. در بیش‌تر مطالعات کوچک مقیاس کردن، متغیرهای بزرگ مقیاس به تعداد حداقل سه و حداکثر شش متغیر انتخاب و به مدل معرفی می‌گردند و نوع و تعداد آن‌ها بر اساس شرایط منطقه مطالعاتی متفاوت است و انتخاب آن‌ها بر نتایج پژوهش اثرگذار است. آنچه مسلم است هرچه مقدار بارندگی روزانه حوزه‌ای بیش‌تر باشد روابط همبستگی بهتری با داده‌های بزرگ مقیاس خواهد داشت. تمامی پژوهش‌های علمی صورت گرفته در مجامع علمی نشان از تغییر متغیرهای بارندگی و دما در آینده دارد به طوری که حوزه‌های مرطوب دارای روندی به سمت نیمه مرطوب، حوزه‌های نیمه مرطوب به سمت نیمه خشک و

حوزه‌های نیمه خشک روند تغییراتی به سمت خشک خواهند داشت (۱۱). با توجه به یافته‌های پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که مدل SDSM دارای توانایی خوبی در تولید مجدد متغیرهای اقلیمی در دوره کنونی و هم‌چنین دوره آتی در حوزه است.

کاربرد مدل HadCM3 در حوزه نشان داد که مقدار درجه حرارت در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ میلادی (دهه ۲۰۵۰ میلادی) به مقدار ۱/۲ و ۱/۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب تحت سناریوهای A2 و B2 افزایش خواهد یافت. هم‌چنین بیش‌ترین افزایش دما با سناریوی A2 در فصل زمستان به مقدار ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و با سناریوی B2 در فصل تابستان به مقدار ۱/۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج به دست آمده از بررسی‌های هیئت بین دول تغییرات اقلیمی (۶) که مبین افزایش میانگین دمای جو می‌باشد هم‌خوانی دارد؛ هم‌چنین نتایج حاصل از پژوهش حاضر در مورد شبیه‌سازی دمای آینده با نتایج به دست آمده توسط محققان مختلف که مبین افزایش دما به مقدار بیش‌تر تحت سناریوی A2 برای حوزه‌های مطالعه شده در ایران است مطابقت دارد (۱۱، ۱۴). مقدار بارش تحت هر دو سناریوی انتشار مورد نظر در فصول زمستان و بهار کاهش، در فصل تابستان و در فصل پاییز افزایش خواهد یافت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی بارندگی در دوره آتی با نتایج به دست آمده توسط سایر محققان که نشان دهنده

است. در ایستگاه‌هایی که مقادیر بارندگی در فصول مختلف افزایش می‌یابد، افزایش مقدار بارندگی خطر ناشی از وقوع سیلاب را افزایش خواهد داد؛ لذا لازم است تا به مدیریت منابع آب و کنترل سیلاب حوضه توجه خاصی مبذول گردد. همچنین تدابیر مدیریت منابع در برای حفظ آبخوان‌ها و تغذیه آب‌های زیرزمینی نیز حائز اهمیت است. نتایج حاصل از پژوهش حاضر راه‌گشای مهمی در اتخاذ تصمیم‌های مرتبط با مدیریت منابع آب در حوضه خواهد بود چرا که با کاهش بارندگی و افزایش دما، تبخیر افزایش می‌یابد و کمبود آب در آینده بیش از دوره کنونی احساس می‌شود.

کاهش بارندگی تحت سناریوی A2 برای حوضه‌های مطالعه شده در ایران است هم‌خوانی دارد (۱۱، ۱۴). نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در بیش‌تر ماه‌های سال در دوره سناریوسازی افزایش دما وجود دارد بنابراین اتخاذ تصمیماتی برای کاهش اثرات منفی افزایش دما ضروری به نظر می‌رسد. به دلیل افزایش دمای هوا در زمستان از بارش‌های جوی به شکل برف کاسته خواهد شد. کاهش نزولات جوی به صورت برف موجب کاهش جریان آب رودخانه‌ها در فصول بهار و تابستان گردیده و موجب کمبود منابع آب سطحی در این دو فصل می‌شود. نتایج به دست آمده از پیش‌بینی‌ها بیان‌گر شرایط بحرانی‌تر تحت سناریوی A2 نسبت به سناریوی B2 برای متغیرهای اقلیمی دما و بارش در حوضه دریاچه ارومیه

## ■ References

1. Afrooz, A. , Akbari, H. , Rakhshandehroo, G. , & Pourtouserkani, A. (2015). Climate change impact on probable maximum precipitation in Chenar-Rahdar River Basin. *Watershed Management* 2015, 36.
2. Bozkurt, D. , & Sen, O. L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of hydrology*, 480, 149-161.
3. Collins, M. , & Knutti, R. (2013). Chapter 12: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility-Final Draft, Underlying Scientific-Technical Assessment. Paper presented at the Working Group.
4. Delju, A. , Ceylan, A. , Piguet, E. , & Rebetez, M. (2013). Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and applied climatology*, 111 (1-2), 285-296.
5. Ficklin, D. L. , Luo, Y. , Luedeling, E. , & Zhang, M. (2009). Climate change sensitivity assessment of a highly agricultural watershed using SWAT. *Journal of hydrology*, 374 (1), 16-29.
6. Field, C. B. , Barros, V. R. , Dokken, D. , Mach, K. , Mastrandrea, M. , Bilir, T. , Genova, R. (2014). IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
7. Gordon, C. , Cooper, C. , Senior, C. A. , Banks, H. , Gregory, J. M. , Johns, T. C. , Wood, R. A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate dynamics*, 16 (2), 147-168.
8. Houghton, J. T. , Albritton, D. , Meira Filho, L. , Cubasch, U. , Dai, X. , Ding, Y. , Karl, T. (2001). Technical summary of working group 1: Cambridge University Press.
9. Kabiri, R. , Bai, V. R. , & Chan, A. (2015). Assessment of hydrologic impacts of climate change on the runoff trend in Klang Watershed, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 73 (1), 27-37.
10. Qin, D. , Chen, Z. , Averyt, K. , Miller, H. , Solomon, S. , Manning, M. , Tignor, M. (2007). IPCC, 2007: Summary for Policymakers.
11. Samadi, S. , Carbone, G. J. , Mahdavi, M. , Sharifi, F. , & Bihamta, M. (2013). Statistical downscaling of river runoff in a semi arid catchment. *Water resources management*, 27 (1), 117-136.
12. Wilby, R. , & Dawson, C. (2007). Using SDSM Version 4. 1 SDSM 4. 2. 2—a decision support tool

for the assessment of regional climate change impacts. User Manual, Leicestershire, UK.

13. Wilby, R. L. , & Dawson, C. W. (2013). The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 33 (7), 1707-1719.
14. Zarghami, M. , Abdi, A. , Babaeian, I. , Hassanzadeh, Y. , & Kanani, R. (2011). Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, 78 (3), 137-146.

## **Climate change assessment under greenhouse gases emission scenarios: Urmia Lake Basin**

M. Mirdashtvan<sup>1</sup>, A. Malekian<sup>\*2</sup>, M. Mohseni Saravi<sup>3</sup>

1. PhD candidate, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
  2. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
  3. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
- \* Corresponding Author: [malekian@ut.ac.ir](mailto:malekian@ut.ac.ir)

Received date: 28/11/2016

Accepted date: 12/07/2017

### **Abstract**

In the past few decades, an increase in greenhouse gases has caused global climate imbalance on the Earth which is referred to as "climate change". Studies have shown that this phenomenon has direct and indirect impacts on the natural, economic and social systems. Given the importance and necessity of the phenomenon, "Urmia Lake Basin" was selected to study the impacts of climate change on climatic parameters. The large-scale outputs of HadCM3 general circulation models were downscaled using multi-linear SDSM model under the emission scenarios of A2 and B2 for the period of 2050s. Based on the results, the daily precipitation has different fluctuations in the coming period. Using HadCM3 model in the basin showed that the amount of precipitation in the period of 2050s will decrease 0.1 mm under the A2 scenario while will increase 0.03 mm under the B2 scenario. Precipitation will show reduction in winter and spring while will increase in summer and autumn under the both emission scenarios. The results revealed that average temperature will increase 1.2 and 1.1 °C under A2 and B2 scenarios, respectively; Also, the highest increase in temperature will be up to 1.5 °C in winter under A2 scenario and 1.4 °C in summer under B2 scenario. The findings of this study can be used to estimate the changes induced in groundwater and surface water resources of the basin, changes in the yield of crops and rangelands and the occurrence of climate extremes such as droughts and floods in the future.

**Keywords:** Downscaling; Greenhouse gases; AOGCM; HadCM3; SDSM