



ارزیابی عملکرد مدل‌های LARS-WG و SDSM در مقیاس‌گامی برون‌داد مدل‌های CMIP6 در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

نوید دهقانی^۱، مسعود گودرزی^{۲*}، مهشید کریمی^۳

۱- گروه مدیریت حوزه‌های آبخیز، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲- گروه خشکسالی و تغییر اقلیم، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- گروه حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	مقدمه: خروجی مدل‌های گردش کلی جو (GCMs) به علت تفکیک فضایی شبکه‌ای پایین فاقد دقت مکانی و زمانی مناسب برای مطالعات منطقه‌ای و محلی است. این نیاز منجر به توسعه مدل‌های منطقه‌ای و مقیاس‌گامی آماری و دینامیکی گردید. از میان روش‌های آماری نیز مدل‌های LARS-WG و SDSM از رایج‌ترین و معتبرترین ابزارهای مقیاس‌گامی به حساب می‌آیند.
تاریخچه مقاله:	مواد و روش‌ها: در این تحقیق عملکرد این دو مدل در مقیاس‌گامی برون‌داد مدل‌های CMIP6 و شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه ارزیابی شد. ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی شامل ۷ ایستگاه همدیدی با دوره آماری ۳۰ سال متناسب با دوره پایه مدل‌ها (۲۰۱۴-۱۹۸۵) می‌باشد. جهت ارزیابی عملکرد مدل‌ها نیز از سنج‌های خطاسنجی MSE، RMSE، MAE و هم‌چنین R^2 بهره گرفته شد.
دریافت:	۱۴۰۴/۰۴/۲۶
پذیرش:	۱۴۰۴/۰۷/۳۰
کلمات کلیدی:	نتایج: هر دو مدل LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش در حوزه مورد مطالعه از توانایی بالایی برخوردارند. هرچند در ایستگاه‌های مختلف و همچنین متغیرهای اقلیمی مختلف میزان دقت آنها یکسان نبود. بر اساس نتایج هر دو مدل در شبیه‌سازی بارش از دقت کمتری نسبت به دما برخوردارند که این امر می‌تواند ناشی از پیچیده بودن فرآیند بارش و ماهیت آن باشد. مدل SDSM کمترین خطا را در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش در حوزه مورد مطالعه دارد. با وجود اینکه مدل LARS-WG نیز توانایی مناسبی در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش جهت مقیاس‌گامی دارد و در برخی ایستگاه‌های نیز بهتر عمل کرده است اما قابلیت آن به اندازه مدل SDSM نیست. در مدل SDSM عمل مقیاس‌گامی از طریق ایجاد یک رابطه رگرسیونی بین پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده‌ها در یک ایستگاه صورت می‌گیرد ولی در مدل LARS-WG متغیرهای مستقل و بزرگ مقیاس جوی نقش مستقیمی در شبیه‌سازی داده‌ها ندارند بلکه مدل در ابتدا به منظور تعیین پارامترها و خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی آنها را تحلیل می‌کند سپس هم راستا با نوع تغییرات آینده متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس، پارامترهای آماری داده‌های مشاهداتی را تغییر داده و اقدام به باز تولید داده‌ها در دوره‌های آینده می‌کند. با توجه به سنج‌های خطاسنجی و مقایسه دو مدل مورد بررسی با یکدیگر به طور قطعی نمی‌توان یکی را بر دیگری ترجیح داد.
	بحث: به دلیل نوع فرآیند شبیه‌سازی و همچنین ساختار ترکیبی مدل SDSM در مقیاس‌گامی داده‌ها و استفاده

مستقیم از مدل‌های گردش کلی جو و داده‌های بزرگ مقیاس NCEP و ERA5 در گزارش ششم، این مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی داده‌ها در حوضه مورد بررسی دارد. از طرف دیگر مدل LARS-WG نیز به سبب سادگی ساختار مدل، داده‌های ورودی به مدل و نیاز به مهارت کمتر و همچنین سرعت عملکرد دارای برتری است و به کاربر قدرت انعطاف بیشتری را می‌دهد. اما مدل SDSM دارای فرآیند پیچیده‌تری است و نیاز به دقت و زمان بیشتر و همچنین تخصص نسبتاً بالای کاربر دارد. این مدل علاوه بر متغیرهای اقلیمی برای متغیرهای هیدرولوژی و زیست محیطی نیز قابل استفاده است در صورتی که مدل LARS-WG فقط برای متغیرهای دما، بارش، تابش و تبخیر کاربرد دارد. اما از طرف دیگر برای مدل LARS-WG با توجه به ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه می‌توان سناریوهای جدید تغییر اقلیم تعریف نمود که در کاربرد این مدل‌ها در یحث‌های تغییر اقلیم می‌تواند مفید باشد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت این مدل‌ها علی‌رغم تفاوت‌هایی که دارند می‌توانند رفتار آماری داده‌های اقلیمی یک ایستگاه هواشناسی را از نظر میانگین، انحراف معیار و غیره تولید کنند که با رفتار آماری داده‌های مشاهداتی یکسان هستند و هیچکدام از مدل‌ها بر دیگری برتری مطلق ندارد. با توجه به اینکه در هر منطقه‌ای قبل از اجرای مدل‌های تغییر اقلیم، مقیاس‌کاهی و ارزیابی عملکرد مدل‌ها امری ضروری است از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در صحت‌سنجی برون‌داد مدل‌ها CMIP6 در پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آینده در اقلیم‌های مختلف استفاده کرد.

مقدمه

که روش آماری دو وجه تمایز عمده با روش دینامیکی دارد نخست آن‌که نیازمند رفتار مشاهداتی (گذشته) ایستگاه مورد مطالعه است و دوم این‌که مدل‌سازی در کسری از ثانیه انجام می‌شود (Shamsipour, 2013). بنابراین یکی از مناسب‌ترین و معتبرترین ابزارها جهت مقیاس‌کاهی داده‌های GCM استفاده از روش‌های آماری است و این کار برای صحت‌سنجی و ارزیابی دقت پیش‌نگری‌ها در دوره‌های آینده لازم و ضروری است. تحقیقات متعددی در سراسر دنیا در ارتباط با مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف مقیاس‌کاهی صورت گرفته است. در این راستا Semenov و همکاران (۱۹۹۸) به مقایسه دو مدل LARS-WG و WGEN بر روی ۱۸ ایستگاه واقع در ایلات متحده، اروپا و آسیا پرداختند. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG از توانایی خوبی در تولید داده‌های آب و هوایی برخوردار است. Khan و همکاران (۲۰۰۶) به تحلیل عدم قطعیت در سه مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM، LARS-WG و ANNs پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های SDSM و LARS-WG از دقت بیشتری نسبت به مدل ANN برخوردارند. Hashmi و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی بارش‌های شدید در حوزه کلوتا در نیوزلند پرداختند. نتایج نشان داد که هر دو مدل توانایی‌های مشابه و خوبی دارند. Sunyer و همکاران (۲۰۱۵) به مقایسه روش‌های مختلف مقیاس‌کاهی جهت

از بین متغیرهای اقلیمی، دما و بارش به دلیل تأثیر گسترده بر سایر عوامل و به خصوص تأثیراتی که بر فعالیت‌های انسانی دارند از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشند به طوری که تقریباً بیشترین نمود تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین بر روی این دو متغیر متمرکز شده است (Majdi *et al.*, 2022). بنابراین شبیه‌سازی و پیش‌نگری بلندمدت آن‌ها جهت اطلاع از میزان تغییرات و در نظر گرفتن تمهیدات لازم به منظور تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات اقلیمی مورد توجه بسیاری از مجامع علمی جهانی قرار گرفته است. بر همین اساس مدل‌های گردش کلی جو (GCM) توسعه یافته‌اند (Khan *et al.*, 2006). این مدل‌ها در مقیاس جوی و قاره‌ای نتایج معنی‌داری را به نمایش می‌گذارند و بخش بزرگی از پیچیدگی سیستم کره زمین را ترکیب می‌کنند، اما ذاتاً قادر نیستند که دینامیک و واداشت‌های ریزمقیاس و محلی را به نمایش بگذارند (Carter *et al.*, 1994; Sharma *et al.*, 2007). لذا ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف زمانی و فضایی بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس و متغیرهای هواشناسی با مقیاس محلی را پر کند که در این زمینه، رویکرد اساسی همان روش‌های مقیاس‌کاهی هستند (Willby *et al.*, 2002). روش‌های مقیاس‌کاهی به دو دسته کلی مدل‌های آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند

بررسی بارش‌های فرین در اروپا پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های مقیاس‌کاهی آماری از دقت بیشتری برخوردارند. Babausmail و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی عملکرد ۱۵ مدل CMIP6 در تغییرات زمانی و مکانی بارش در شمال آفریقا پرداختند. نتایج نشان داد که جهت بررسی تغییرات بارش بهتر است از چند مدل برتر استفاده کرد. Mesgari و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 در پیش‌نگری تغییرات بارش در شمال آفریقا و خاورمیانه با استفاده از شاخص‌های مختلف خطاسنجی و نمودار تیلور پرداختند. نتایج بیانگر دقت بالای مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه است. Peng و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 در پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در حوزه رودخانه Ishikari در ژاپن پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی دما عملکرد بهتری نسبت به بارش به نمایش می‌گذارند.

Goodarzi و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی عملکرد مدل‌های مقیاس‌کاهی SDSM و LARS-WG در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه بر اساس داده‌های گزارش چهارم پرداختند. نتایج حاصل حاکی از عدم برتری مطلق مدل‌ها بر یکدیگر بود. Sobhani و همکاران (۲۰۱۷) به مقایسه سه مدل SDSM، ANN و LARS-WG در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در شمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد مدل‌ها بسته به نوع اقلیم منطقه متفاوت است. Oji (۱۳۹۷) به مقایسه ریزمقیاس‌گردانی تک‌ایستگاهی و چندایستگاهی فرین‌های دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر پرداخت. نتایج نشان داد که عملکرد روش ریزگردانی چند ایستگاهی، به‌ویژه در ریزگردانی شاخص‌های دما، بهتر از روش تک ایستگاهی است. Zareian و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی دقت مدل‌های CMIP6 در برآورد دما و بارش در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های مختلف در ماه‌های متفاوت سال، دقت یکسانی در برآورد دما و بارش کشور ندارند و تغییرپذیری خطای مدل‌ها در برآورد بارش، بیش‌تر از دما است. Hafezi Moghadas و همکاران

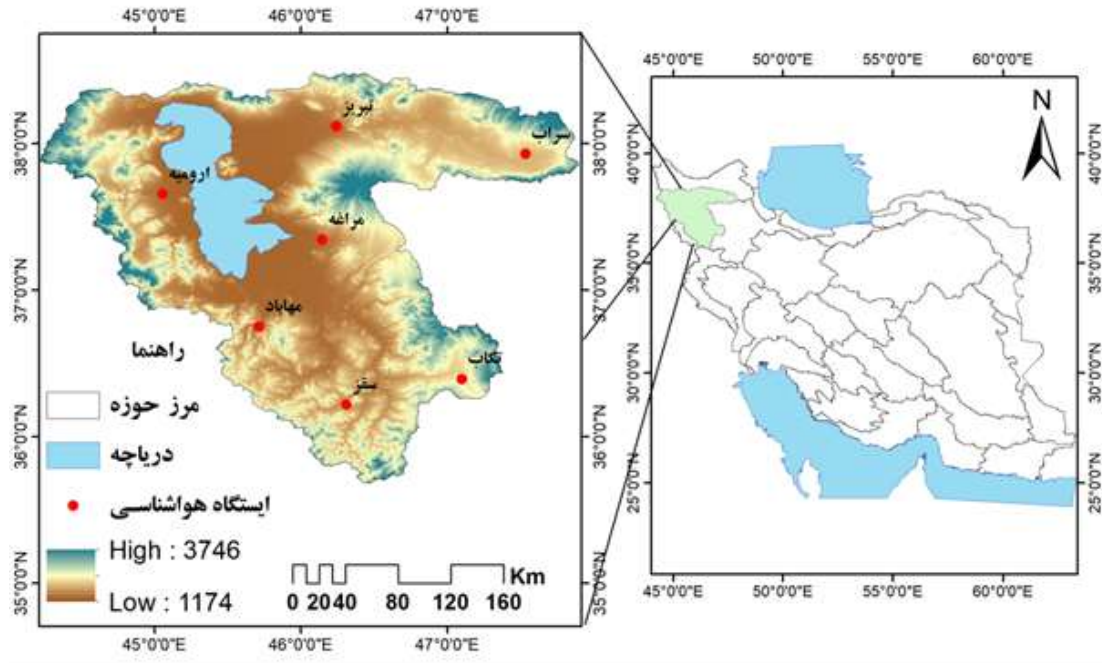
(۲۰۲۴) به ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 در پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در محدوده چاه نیمه‌های استان سیستان و بلوچستان پرداختند. نتایج نشان داد مدل‌های مورد بررسی توانایی بالایی در شبیه‌سازی دما و بارش در منطقه مورد مطالعه دارند.

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد که از میان مدل‌های مقیاس‌کاهی در بررسی تغییرات اقلیمی مدل‌های SDSM و LARS-WG از پرکاربردترین مدل‌های آماری هستند. با توجه به این‌که در هر منطقه‌ای قبل از اجرای مدل‌های تغییراقلیم، مقیاس‌کاهی و ارزیابی عملکرد مدل‌ها امری ضروری است. در این پژوهش عملکرد این دو مدل در مقیاس‌کاهی برونداد آخرین نسل مدل‌های جهانی آب و هوا یعنی CMIP6 در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش، حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران است که در مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. وسعت این حوزه برابر با ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع است. این حوزه به دلیل موقعیت جغرافیایی و کوهستانی بودن، مرطوب‌ترین حوزه آبریز داخلی ایران است (Hosseini, 2015). متغیرهای هواشناسی مورد بررسی در این پژوهش نیز شامل بارش و دمای کمینه و بیشینه در ۷ ایستگاه هواشناسی همدیدی در طول دوره آماری (۲۰۱۴-۱۹۸۵) به‌صورت روزانه است. دوره مذکور متناسب با دوره پایه مدل‌های CMIP6 انتخاب شده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در شکل ۱ و همچنین مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.



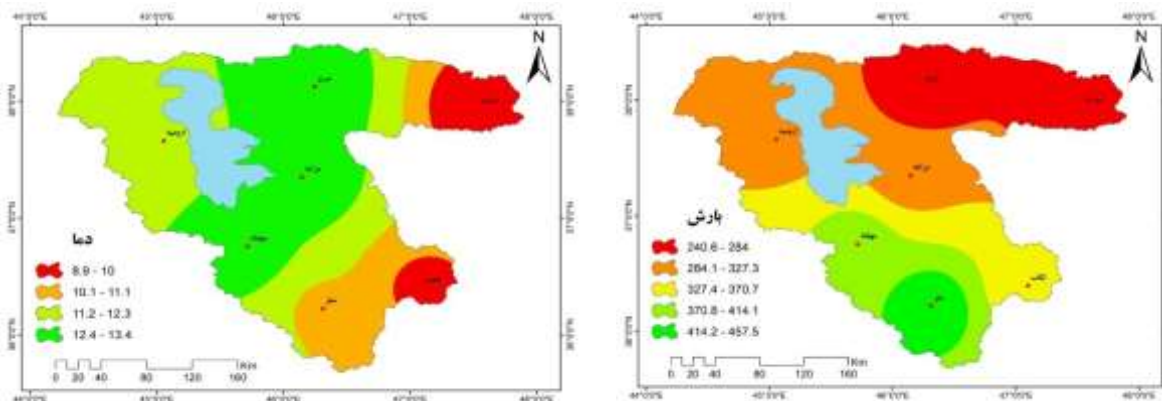
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	ارومیه	۳۷/۶۶	۴۵/۰۶	۱۳۲۸
۲	تبریز	۳۸/۱۲	۴۶/۲۴	۱۳۶۱
۳	تکاب	۳۶/۴۰	۴۷/۱۰	۱۸۱۷/۲
۴	سراب	۳۷/۹۳	۴۷/۵۳	۱۶۸۲
۵	مراغه	۳۷/۳۵	۴۶/۱۵	۱۳۴۴
۶	مهاباد	۳۶/۷۵	۴۵/۷۲	۱۳۵۱/۸
۷	سقز	۳۶/۲۲	۴۶/۳۱	۱۵۲۲/۸

در سطح حوزه نیز بین ۸/۹ تا ۱۳/۴ درجه سلسیوس است که کمترین و بیشترین میزان آن به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سراب و تبریز است.

بررسی وضعیت دما و بارش در دوره مورد مطالعه نشان داد که بیشترین میزان بارش با ۴۵۷/۵ میلی‌متر مربوط به ایستگاه سقز و کمترین میزان نیز با ۲۴۰/۶ میلی‌متر مربوط به ایستگاه سراب است. دامنه تغییرات متوسط دما



شکل ۲- پراکنش فضایی تغییرات دما و بارش در حوزه مورد مطالعه

اساس آن بر استفاده از ترکیبی از روش‌های رگرسیونی و تولید داده‌های آب و هوایی استوار است. این مدل در ابتدا، برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم در مقیاس کوچک تهیه شد. اما با بارزتر شدن آثار تغییر اقلیم و گذر از مرحلهٔ اقبایی به مرحلهٔ تصمیم‌گیری به عنوان یک نرم افزار تصمیم‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. مدل SDSM در واقع یک روش نمونه‌برداری مجدد شرطی و دو مرحله‌ای جهت مقیاس‌گامی است (Wilby et al., 2007) و یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری مقیاس‌گامی می‌باشد که کاربردهای بسیاری در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژی، جغرافیایی و زیست‌محیطی دارد (Wilby & Harris, 2006)؛ زیرا 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 Bavani, 2008).

در این پژوهش از آخرین نسخه این نرم‌افزار یعنی SDSM 6.1 استفاده شده است که داده‌های مدل‌های مختلف CMIP6 برای آن در دسترس است. داده‌های ورودی به این مدل شامل داده‌های مشاهداتی ایستگاهی به عنوان پیش‌بینی شونده و داده‌های بازکای NCEP و ERA5 به عنوان پیش‌بینی کننده می‌باشند که دارای ۲۶ متغیر جوی مستقل هستند از آنجا که خروجی‌های پیش‌بینی کننده دارای متغیرهای زیادی می‌باشد باید از بین آن‌ها مناسب‌ترین پیش‌بینی کننده مرتبط با ایستگاه مورد نظر را انتخاب کرد. طی این فرآیند که غربال‌گری نامیده می‌شود مدل SDSM بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و متغیرهای پیش‌بین شونده (عموماً بارش و دما) اقدام به ایجاد آزمون‌های همبستگی، همبستگی جزئی و همبستگی متقابل می‌کند. با کمک این آزمون‌ها، پیش‌بینی کننده‌هایی که با متغیرهای پیش‌بینی شونده رابطه همبستگی خوبی برقرار کنند، به عنوان پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی آینده انتخاب می‌شوند. در این بررسی از داده‌های ۳۰ ساله NCEP از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۸ که شامل ۲۶ متغیر مستقل جوی است برای ارزیابی مدل

مدل LARS-WG: مدل مولد آب و هوایی LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که به‌مراتب از دیگر برنامه‌ها به دلیل تکرار محاسبات، نیاز کمتر به داده‌های ورودی و سادگی و کارایی دارای کاربرد بیشتری است (Dibike & Collibally, 2005; Kilsby et al., 2007). مدل LARS-WG ابتدا توسط (Rasko et al., 1991) ارائه شد. سپس توسط Semenov و همکاران (۱۹۹۸) در بوداپست مجارستان بازنگری شد. دلیل اصلی تولید این مدل غلبه بر نقاط ضعف زنجیره مارکوف بود. این مدل علاوه بر پیچیدگی کمتر در فرآیند شبیه‌سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌نگری تغییر اقلیم دارد (Semenov & Stratonovitch, 2010). در واقع مدل LARS-WG یک مدل تصادفی برای تولید داده‌های آب و هوایی به وسیله روش‌های مقیاس‌گامی آماری است (Wilcox & Wilby, 1999; Wilcox, 1992). داده‌های ورودی به مدل شامل دمای کمینه و بیشینه، بارش و میزان تابش به‌صورت روزانه می‌باشد. این داده‌ها حداقل باید دارای یک دوره زمانی ۳۰ ساله باشند؛ لذا در این پژوهش دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۵ به عنوان دوره پایه مورد بررسی متناسب با مدل‌های CMIP6 در نظر گرفته شد. روش کار به این صورت است که مدل، داده‌های دیده‌بانی شده دوره پایه را دریافت نموده، با بررسی آن‌ها مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج می‌شوند، سپس به‌منظور صحت‌سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه مدل را اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود. سپس این خروجی‌ها به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها، با مشخصات آماری مشاهداتی ۳۰ ساله مقایسه می‌شوند. در این پژوهش از آخرین نسخه این مدل یعنی LARS-WG8 که در سال ۲۰۲۴ جهت مقیاس‌گامی مدل‌های CIMP6 به‌روزرسانی شده استفاده شد. در واقع این مدل با دریافت داده‌های هواشناسی دوره آماری و برنوداد مدل‌های CMIP6 در دوره مشابه با دوره آماری حال و آینده، پارامترهای هواشناسی را به صورت روزانه و در مقیاس ایستگاهی تولید می‌نماید.

مدل SDSM: مدل SDSM توسط Wilby و همکاران (۲۰۰۲) تحت عنوان نسخه ۲/۱ در انگلستان تهیه شد که

نتایج

به‌منظور صحت‌سنجی و اطمینان از صحت مدل LARS-WG، ابتدا مدل برای دوره آماری پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) اجرا گردید سپس خروجی‌های مدل که شامل دمای کمینه و بیشینه و بارش ماهانه و انحراف معیار آنها می‌باشد با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه مقایسه شد. همچنین به‌منظور اطمینان از صحت مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM، به ارزیابی پارامترهای شبیه‌سازی شده با استفاده از متغیرهای NCEP و داده‌های واقعی برای دوره آماری پایه پرداخته شد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین متغیرهای NCEP و داده‌های مشاهداتی، متغیرهای متوسط فشار در سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال و متوسط دما در ارتفاع دو متری بیشترین ارتباط را با متغیرهای مورد بررسی (دما و بارش) در حوزه مطالعاتی دارند. براساس نتایج حاصل، متغیر مستقل متوسط دما در ارتفاع دو متری سطح زمین بالاترین همبستگی را با دمای کمینه و بیشینه و متغیر رطوبت ویژه در ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بیشترین ارتباط را با بارش در اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی دارند.

نتایج ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده بارش توسط هر دو مدل LARS-WG و SDSM با استفاده از سنجه‌های عملکردی مختلف در جدول ۲ آورده شده است. نتایج حاصل بیانگر آن است دقت مدل‌های مورد بررسی در ایستگاه‌ها و مناطق مختلف متفاوت است. بر اساس شاخص R^2 دقت مدل SDSM در مناطق مورد مطالعه بین ۰/۹۲ تا ۰/۹۸ و میزان RMSE نیز بین ۱/۸ تا ۶/۸ میلی‌متر متغیر است. بیشترین و کمترین دقت مدل مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد بررسی بر اساس شاخص RMSE به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سراب و سقر است. در صورتی که مقادیر R^2 مدل LARS-WG بین ۰/۹۳ تا ۰/۹۷ و مقادیر RMSE آن نیز بین ۳/۳ تا ۵/۴ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین دقت این مدل در مهاباد و تکاب است. در مجموع براساس سنجه‌های مختلف دقت هر دو مدل مورد بررسی در شبیه‌سازی بارش در حوزه مورد مطالعه مناسب و قابل قبول است.

SDSM جهت شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش در دوره پایه استفاده شده است.

سنجه‌های عملکردی مورد بررسی: جهت ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل‌های تخمین و پیش‌بینی، سنجه‌های عملکردی مختلفی وجود دارد که در ادامه به توضیح مختصری راجع به شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش پرداخته می‌شود. ضریب تعیین (R^2) معیاری بدون بعد است که بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد (Goodarzi *et al.*, 2016). خطای میانگین مربعات (MSE) که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد (Salahi *et al.*, 2016). مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به کار می‌رود. این معیار که به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود به عنوان مرسوم‌ترین شاخص خطا به کار می‌رود (Lin *et al.*, 2006). میانگین مطلق خطا (MAE) برای مقایسه عبارت به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود که به صورت رابطه (۴) ارائه می‌گردد (Hu *et al.*, 2001).

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

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (4)$$

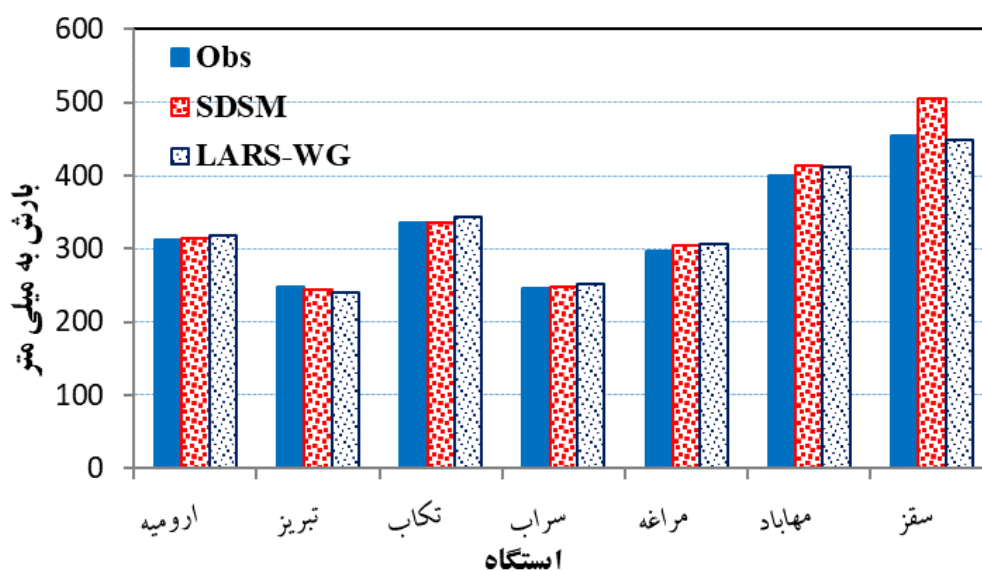
در روابط فوق X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل‌های LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی بارش (میلی‌متر)

ایستگاه	R ²		MAE		RMSE		MSE	
	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS
ارومیه	۰/۹۶	۰/۹۴	۲/۴	۳/۲	۳/۲	۴/۳	۱۰/۱	۱۸/۴
تبریز	۰/۹۸	۰/۹۳	۱/۶	۲/۳	۲/۱	۳/۴	۴/۳	۱۱/۹
تکاب	۰/۹۲	۰/۹۴	۳/۹	۴/۱	۵/۲	۵/۴	۲۷/۲	۲۸/۶
سراب	۰/۹۸	۰/۹۵	۱/۵	۳/۱	۱/۸	۴/۴	۳/۲	۱۹/۳
مراغه	۰/۹۸	۰/۹۷	۲/۳	۲/۴	۲/۷	۳/۴	۷/۳	۱۱/۲
مهاباد	۰/۹۸	۰/۹۷	۲/۸	۲/۵	۳/۶	۳/۳	۱۲/۷	۱۰/۶
سقز	۰/۹۸	۰/۹۶	۵	۲/۹	۶/۸	۴/۱	۴۵/۹	۱۶/۵

شکل ۳). اما دامنه تغییرات خطای مدل LARS-WG نسبت به SDSM کمتر است به طوری که مدل LARS-WG در بیشتر ایستگاه‌ها به یک صورت عمل کرده است و همانطور که قبلاً بیان شد مقادیر RMSE آن بین ۳/۳ تا ۵/۴ میلی‌متر است اما مدل SDSM در یک ایستگاه هم‌چون سراب از دقت بالایی برخوردار است و در ایستگاه دیگری همچون سقز ضعیف عمل کرده است به طوری که دامنه تغییرات خطای این مدل در حوزه مورد مطالعه بر اساس سنج RMSE بین ۱/۸ تا ۶/۸ میلی‌متر است.

جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت‌سنجی مدل‌های مورد بررسی به مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده متغیرهای مورد بررسی در طول دوره آماری مورد بررسی (۲۰۱۴-۱۹۸۵) در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای مقایسه-ای پرداخته شد. براساس نتایج سنج‌های عملکردی مختلف و همچنین مقایسه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی، مدل SDSM به جز ایستگاه مهاباد و سقز در سایر ایستگاه‌ها از دقت بیشتری نسبت به مدل LARS-WG در شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد مطالعه برخوردار است



شکل ۳- مقایسه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مدل‌های SDSM و LARS-WG

در حوزه مورد مطالعه بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۱ درجه سلسیوس است که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط ایستگاه‌های ارومیه و تبریز است. میزان RMSE مدل LARS-WG نیز بین ۰/۳۲ تا ۰/۶۳ درجه سلسیوس است

نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده کمینه دما با استفاده از مدل‌های مقیاس‌گامی مورد بررسی بیانگر دقت بالای این مدل‌ها در شبیه‌سازی دمای کمینه است. بر اساس نتایج میزان RMSE مدل SDSM

۰/۹۹ می‌باشد که حاکی از دقت بالای هر دو مدل در شبیه‌سازی متغیر دمای کمینه در حوزه مورد مطالعه است (جدول ۳).

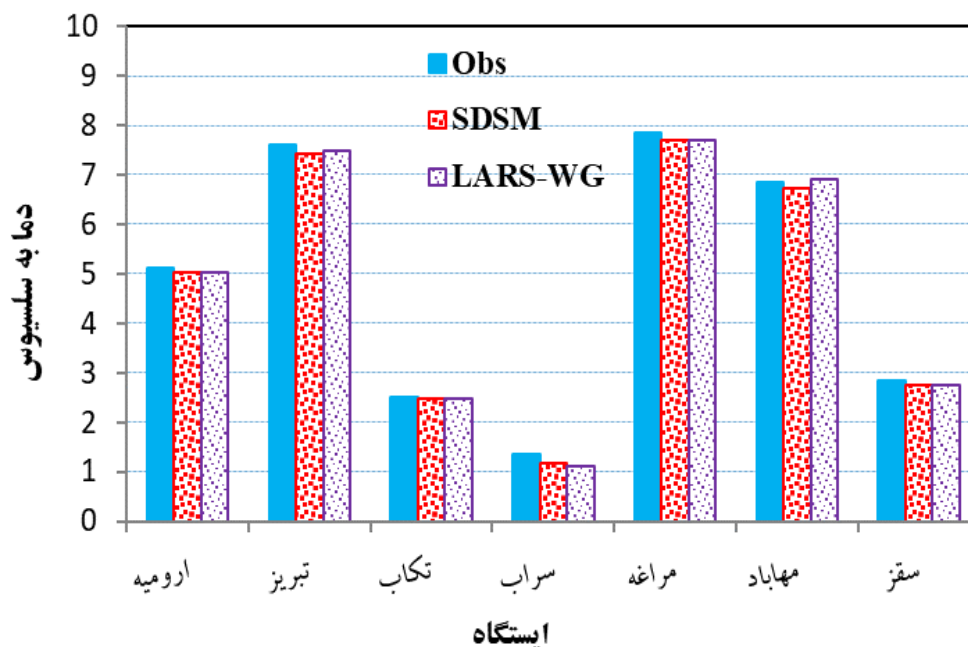
که کمترین و بیشترین مقدار آن مربوط به ایستگاه‌های تبریز و مهاباد است. میزان R^2 نیز بر اساس هر دو مدل مورد بررسی در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه برابر با

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل‌های LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی دمای کمینه (درجه سلسیوس)

ایستگاه	R^2		MAE		RMSE		MSE	
	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS
ارومیه	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۴۷	۰/۰۱	۰/۲۲
تبریز	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۰۹	۰/۱۱
تکاب	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۵	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۴۴	۰/۰۴	۰/۱۹
سراب	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۹	۰/۴۳	۰/۲۹	۰/۵۵	۰/۰۸	۰/۳۱
مراغه	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۰۸	۰/۱۷
مهاباد	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۲۱	۰/۵۵	۰/۳۰	۰/۶۳	۰/۰۹	۰/۳۹
سقز	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۰۸	۰/۲۳

کمترین خطا و اختلاف مربوط به ایستگاه‌های تبریز، مراغه و تکاب است. در مجموع اختلاف و خطا در ایستگاه‌های سردسیرتر حوزه مورد مطالعه به دلیل نوسان شدید دما در طول سال به ویژه در فصول سرد سال بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است (شکل ۴).

در ارتباط با مقایسه متوسط دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نیز با وجود دقت بالای هر دو مدل مورد بررسی، مدل SDSM موفق‌تر از مدل LARS-WG عمل نموده است. کمترین اختلاف بین دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی در مدل SDSM مربوط به ایستگاه ارومیه و سپس تکاب است در صورتی که در مدل LARS-WG



شکل ۴- مقایسه دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل‌های SDSM و LARS-WG

۰/۱۷ تا ۰/۲۵ درجه سلسیوس و برای مدل LARS-WG بین ۰/۱۹ تا ۰/۷۶ درجه سلسیوس است که بیشترین مقادیر مذکور در مدل SDSM مربوط به ایستگاه سقز و

بررسی عملکرد مدل‌های مورد بررسی در شبیه‌سازی بیشینه دما نیز نشان داد که دامنه تغییرات شاخص RMSE در ایستگاه‌های مطالعاتی برای مدل SDSM بین

ضریب تعیین در هر مدل مورد بررسی برابر با ۰/۹۹ شده است با این وجود مقادیر خطا براساس سنجه‌های خطاسنجی در مدل SDSM کمتر از LARS-WG است (جدول ۴).

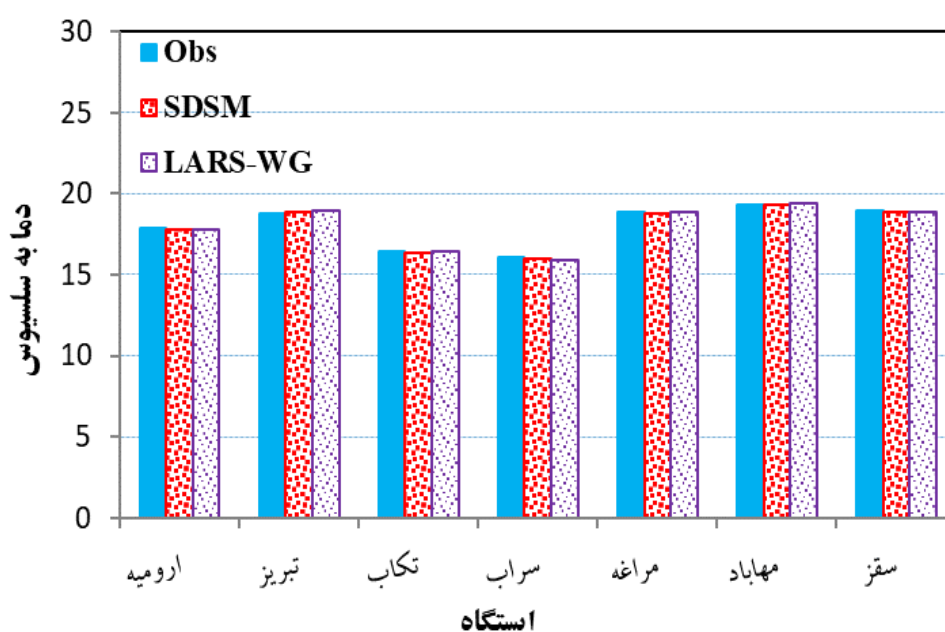
در مدل LARS-WG مربوط به ایستگاه مهاباد است. نتایج حاصل از بررسی دقت مدل‌های مورد بررسی در شبیه‌سازی دمای بیشینه با استفاده از سنجه‌های مختلف خطاسنجی نشان می‌دهد که هر دو مدل در مقیاس گاهی دمای بیشینه از دقت بالایی برخوردارند به طوری که

جدول ۴- ارزیابی عملکرد مدل‌های LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی دمای بیشینه (درجه سلسیوس)

ایستگاه	R ²		MAE		RMSE		MSE	
	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS
ارومیه	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۰۷
تبریز	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۳۰	۰/۲۳	۰/۳۴	۰/۰۵	۰/۱۲
تکاب	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۲	۰/۳	۰/۰۴	۰/۰۸
سراب	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۰۶
مراغه	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۰۸
مهاباد	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۶۹	۰/۲	۰/۷۶	۰/۰۴	۰/۵۸
سقز	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۲	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۰۴

مدل SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی دمای بیشینه عملکرد بهتری نسبت به دمای کمینه داشته‌اند و در مقایسه بین دو مدل نیز مدل SDSM نسبت به LARS-WG عملکرد بهتری از خود نشان داده است. هم‌چنین هر دو مدل در زمینه شبیه‌سازی دمای بیشینه در ایستگاه‌های سردسیرتر حوزه مورد مطالعه بهتر عملکرد کرده‌اند که می‌تواند ناشی از تغییرات کمتر دمای بیشینه در ایستگاه‌های مذکور باشد.

بررسی دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی نیز نشان می‌دهد در تمام ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی، مدل SDSM از عملکرد بهتری نسبت به مدل LARS-WG برخوردار است. کمترین اختلاف بین دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی در مدل SDSM مربوط به ایستگاه‌های مراغه، مهاباد و تکاب و در مدل LARS-WG مربوط به ایستگاه‌های سقز، سراب و ارومیه است (شکل ۵). در مجموع بر اساس نتایج حاصل از بررسی دما، هر دو



شکل ۵- مقایسه دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل‌های SDSM و LARS-WG

ایستگاه‌های نیز بهتر عمل کرده است اما قابلیت آن به اندازه مدل SDSM نیست. در مدل SDSM عمل مقیاس‌کاهی از طریق ایجاد یک رابطه رگرسیونی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها و پیش‌بینی شونده‌ها در یک ایستگاه صورت می‌گیرد ولی در مدل LARS-WG متغیرهای مستقل و بزرگ مقیاس جوی نقش مستقیمی در شبیه‌سازی داده‌ها ندارند. بلکه مدل در ابتدا به منظور تعیین پارامترها و خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی آن‌ها را تحلیل می‌کند سپس هم راستا با نوع تغییرات آینده متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس، پارامترهای آماری داده‌های مشاهداتی را تغییر داده و اقدام به باز تولید داده‌ها در دوره‌های آینده می‌کند. با توجه به سنج‌های خطاسنجی و مقایسه دو مدل مورد بررسی با یکدیگر به‌طور قطعی نمی‌توان یکی را بر دیگری ترجیح داد چرا که در تحلیل عملکرد مدل‌ها در ایستگاه‌های مختلف و همچنین متغیرهای اقلیمی مختلف شاهد تفاوت در نتایج و نوع عملکرد مدل‌ها هستیم. اما به دلیل نوع فرآیند شبیه‌سازی و همچنین ساختار ترکیبی مدل SDSM در مقیاس‌کاهی داده‌ها و استفاده مستقیم از مدل‌های گردش کلی جو و داده‌های بزرگ مقیاس NCEP و ERA5 در گزارش ششم، این مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی داده‌ها در حوزه مورد بررسی دارد. از طرف دیگر مدل LARS-WG نیز به سبب سادگی ساختار مدل، داده‌های ورودی به مدل و نیاز به مهارت کمتر و همچنین سرعت عملکرد دارای برتری است و به کاربر قدرت انعطاف بیشتری را می‌دهد. اما مدل SDSM دارای فرآیند پیچیده‌تری است و نیاز به دقت و زمان بیشتر و همچنین تخصص نسبتاً بالای کاربر دارد. این مدل علاوه بر متغیرهای اقلیمی برای متغیرهای هیدرولوژی و زیست محیطی نیز قابل استفاده است در صورتی که مدل LARS-WG فقط برای متغیرهای دما، بارش، تابش و تبخیر کاربرد دارد. اما از طرف دیگر برای مدل LARS-WG با توجه به ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه می‌توان سناریوهای جدید تغییر اقلیم تعریف نمود که در کاربرد این مدل‌ها در بحث‌های تغییر اقلیم می‌تواند مفید باشد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت این مدل‌ها علی‌رغم تفاوت‌هایی که دارند می‌توانند رفتار آماری داده‌های اقلیمی یک ایستگاه هواشناسی را از نظر میانگین، انحراف معیار و غیره تولید کنند که با رفتار

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که دقت مدل‌ها مقیاس‌کاهی مورد بررسی در ایستگاه‌های مختلف و پارامترهای مختلف متفاوت است. هر دو مدل در شبیه‌سازی دما از دقت مناسب‌تری نسبت به شبیه‌سازی بارش برخوردار بوده‌اند. اما از نظر شبیه‌سازی پارامترهای دمایی (دمای کمینه و بیشینه) نیز مدل SDSM از دقت بیشتری نسبت به مدل LARS-WG برخوردار است. همچنین در شبیه‌سازی پارامترهای دمایی نیز هر دو مدل در شبیه‌سازی دمای بیشینه نسبت به دمای کمینه موفق‌تر عمل نموده‌اند. در شبیه‌سازی بارش نیز در برخی ایستگاه‌ها مدل SDSM و در برخی ایستگاه‌ها مدل LARS-WG بهتر عمل کرده است هرچند مدل SDSM از دقت بیشتری نسبت به مدل LARS-WG برخوردار است. در مجموع نتایج حاصل از سنج‌های خطاسنجی و نمودارهای مقایسه‌ای بیانگر آن است که مدل مقیاس‌کاهی SDSM در بیشتر موارد از دقت بیشتری جهت مقیاس‌کاهی متغیرهای اقلیمی در حوزه مورد مطالعه به‌ویژه متغیرهای دمایی برخوردار است.

بحث

در این پژوهش توانمندی و عملکرد دو مدل LARS-WG و SDSM در مقیاس‌کاهی برون‌داد مدل‌های CMIP6 و شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۵ مورد بررسی قرار گرفت. جهت سنجش دقت مدل‌ها از سنج‌های خطاسنجی MAE، RMSE، MSE و همچنین R_2 استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش در حوزه مورد مطالعه از توانایی بالایی برخوردارند. هر چند در ایستگاه‌های مختلف و همچنین متغیرهای اقلیمی مختلف میزان دقت آن‌ها یکسان نبود. بر اساس نتایج هر دو مدل در شبیه‌سازی بارش از دقت کمتری نسبت به دما برخوردارند که این امر می‌تواند ناشی از پیچیده بودن فرآیند بارش و ماهیت آن باشد. نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM کمترین خطا را در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش در حوزه مورد مطالعه دارد. با وجود این که مدل LARS-WG نیز توانایی مناسبی در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش جهت مقیاس‌کاهی دارد و در برخی

- WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed, *Stoch Environ Res Risk Assess.*
9. **Hosseini, A., 2015**, a study on climate change impacts on the changes of surface runoff in Urmia Lake basin, a PhD dissertation, Physical geography, Mohaqegh Ardabili University, 196pp.
 10. **Hu, T.S., Lam, K.C. and Ng, S.T., 2001**. River flow time series prediction with a range dependent neural network. *Hydrological Science Journal*, 46: 729-745.
 11. **Karamouz, M., Ramezani, F. and Razavi, S., 2006**. application of Artificial Neural network, in predicting long-term precipitation using Meteorologic signals, 7th international congress on civil engineering, Tehran. 11 pp.
 12. **Khan, M.S., Coulibaly, P. and Dibike. Y., 2006**. Uncertainty analysis of statistical downscaling method. *Journal of Hydrology*, 319: 357-382.
 13. **Kilsby, C.G., Jones, P.D., Burton, A., Ford, A.C., Fowler, H.J., Harpham, C., James, P., Smith, A. and Wilby, R.L., 2007**. A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modelling and Software*, 22: 1705-1719.
 14. **Lin, J.Y., Cheng, C.T. and Chau, K.W., 2006**. Using support vector machines for long-term discharge prediction. *Hydrological Science Journal*, 51: 599-612.
 15. **Majdi, F., Hosseini, S.A., Karbalaee, A., Kaseri, M. and Marjanian, S., 2022**. Future projection of precipitation and temperature changes in the Middle East and North Africa (MENA) region based on CMIP6. *Theor Appl Climatol* 147, 1249-1262.
 16. **Mesgari, M., Hosseini, S.A., Hemmesy, M.S., Houshyar, M. and Golzari Partoo, L., 2022**. Assessment of CMIP6 models' performances and projection of precipitation based on SSP scenarios over the MENAP region. *Journal of Water and Climate Change*, 13 (10): 3607-3619.
 17. **Oji, R., 2018**. Comparison of Multi-site and Single-site Daily Precipitation and Temperature Extremes Downscaling (Case Study: Southern Coast of the Caspian Sea). *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(2), 397-410. doi:10.22059/jesphys.2017.234927.1006908
 18. **Peng, S., Wang, C., Li, Z., Mihara, K., Kuramochi, K., Toma, Y. and Hatano, R., 2023**. Climate change multi-model projections in CMIP6 scenarios in Central Hokkaido, Japan. *Sci Rep*, 13(1):230.
 19. **Racsko, P., Szeidl, L. and Semenov, M., 1991**. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 57, 27-41.
 20. **Samadi, Z. and Massah Bavani, A., 2008**. Introducing artificial neural network and SDSM methods for downscaling temperature and
- آماري داده‌های مشاهداتی یکسان هستند و هیچ‌کدام از مدل‌ها بر دیگری برتری مطلق ندارد. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های Goodarzi و همکاران (۲۰۱۵)، Sobhani و همکاران (۲۰۱۷)، Hashmi و همکاران (۲۰۲۴)، Peng و همکاران (۲۰۱۰) و مبنی بر کاربرد بیشتر مدل‌های مقیاس گاهی و هم‌چنین دقت بالای مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در مناطق مختلف مطابقت دارد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در صحت‌سنجی برونداد مدل‌ها CMIP6 در پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آینده در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه استفاده کرد.

منابع

1. **Aghashahi, M., Ardestani, M., Niksokhan, M.H. and Tahmasbi, B., 2012**. introducing and comparisons of Lars-wg and SDSM models for downscaling environmental parameters and climate change studies, 6th national conference and exhibitions of environmental engineering.
2. **Babaousmail, H., Hou, R., Ayugi, B., Ojara, M., Ngoma, H., Karim, R., Rajasekar, A. and Ongoma, V., 2021**. Evaluation of the Performance of CMIP6 Models in Reproducing Rainfall Patterns over North Africa. *Atmosphere*, 12, 475.
3. **Carter, T.R., Parry, M.L., Harasawa, H. and Nishioka, S., 1994**. IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations, IPCC Special Report to Working Group II of IPCC, London.
4. **Dibike, Y.B. and Coulibaly, P., 2005**. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay Watershed: Comparison of Ownscaling Methods and Hydrologic Models. *Journal of Hydrologic*, 307: 145-163.
5. **Goodarzi, M., Hosseini, A. and Mesgari, E., 2016**. *Climate Models*, Azarkelk press, Zanjan.
6. **Goodarzi, M., Salahi, B. and Hosseini, S.A., 2016**. Performance Analysis of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin. *jwmsei*; 9 (31):11-22. UR:<http://jwmsei.ir/article-1-457-en.html>
7. **Hafezi Moghaddas, N., Lashkaripour, G. and Parsaei, R., 2024**. Performance analysis of CMIP6 models in projection of temperature and precipitation changes in the Chahnimeh area of Sistan and Baluchistan province. *Journal of Climate Research*, 1402(56), 165-178.
8. **Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y. and Melville, B.W., 2010**. Comparison of SDSM and LARS-

- Kriaučiūnienė, J., Loukas, A., Osuch, M. and Yücel, I., 2015.** Inter-comparison of statistical downscaling methods for projection of extreme precipitation in Europe, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19:1827-1847.
28. **Wigley, T.W.L., Jones, P.D., Briffa, K.R. and Smith, G., 1990.** Obtaining sub-grid scale information from coarse resolution general circulation model output, *J. Geophys. Res.* 951: 1943–1953.
29. **Wilby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow, E.M., 2002.** SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, *Environmental Modeling & Software*, 17: 147-159.
30. **Wilby, R.L. and 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 p.
31. **Wilby, R.L., Tomlinson, O.J. and Dawson, C.W., 2007.** Multi-site simulation of precipitation by condition resampling. *Journal of climate Research*, 23: 183-194.
32. **Wilks, D.S., 1992.** Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climate Change*.. 22: 67-84.
33. **Wilks, D.S. and Wilby, R.L., 1999.** The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*. 23: 329-357.
34. **Zareian, M.J., Dehban, H. and Gohari, A., 2023.** Evaluation of the Accuracy of CMIP6 Models in Estimating the Temperature and Precipitation of Iran Based on a Network Analysis. *Water and Irrigation Management*, 12(4), 783-797. doi: 10.22059/jwim.2022.345975.1006
- precipitation data, 3rd conference on Iranian water resources, university of Tabriz, 9p.
21. **Sedaghat Kerdar, A. and Fatahi, E., 2008.** Drought Early Warning Methods over Iran. *Geography and Development*, 6(11), 59-76. doi: 10.22111/gdij.2008.1616
- Salahi, B., Goudarzi, M. and Hosseini, S. A. (2016). Predicting the temperature and precipitation changes during he 2050s in Urmia Lake Basin. *Watershed Engineering and Management*, 8(4), 425-438. doi: 10.22092/ijwmse.2016.107179.
22. **Semenov, M., Brooks, R., Barrow, E. and Richardson, C., 1998.** Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Clim. Res.*, 10:95-107.
23. **Semonov, M.A. and Stratonovitch, P., 2010.** Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, *Climate Research*, 41: 1-14.
24. **Shamsipour, A.A., 2013.** climate modeling, concepts and methods, Tehran university press, 294 pp.
25. **Sharma D., Gupta A.D., Babel M.S. 2007.** Spatial disaggregation of bias-corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping River Basin, Thailand, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1373–1390.
26. **Sobhani, B., Eslahi, M. and Babaeian, I., 2017.** Comparison of statistical downscaling in climate change models to simulate climate elements in Northwest Iran. *Physical Geography Research*, 49(2), 301-325. doi: 10.22059/jphgr.2017.62847
27. **Sunyer, M.A., Hundercha, Y., Lawrence, D., Madsen, H., Willems, P., Martinkova, M., Vormoor, K., Bürger, G., Hanel, M.,**





Performance Analysis of LARS-WG and SDSM Models in Downscaling the Output of CMIP6 Models in The Urmia Lake Watershed

Navid Dehghani¹, Massoud Goodarzi^{*2}, Mahshid Karimi³

1- Department of Watershed Management, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), AREEO, Tehran, Iran

2*- Department of Drought and Climate Change, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), AREEO, Tehran, Iran

3- Department of Soil Conservation and Watershed Management, Kermanshah Research center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Kermanshah, Iran

Original Article

Received:
2025.07.17

Accepted:
2025.10.22

Keywords:
Climate Change
Urmia Lake
Downscaling
LARS-WG
SDSM

Abstract

Introduction: The output of general circulation models (GCMs) lacks the spatial and temporal accuracy required for regional and local studies due to the low spatial resolution of the grid. This has led to the development of regional models and statistical and dynamical downscaling. Among the statistical methods, LARS-WG and SDSM models are considered to be the most convenient and reliable downscaling tools.

Methods and Materials: In this study, the performance of these two models were evaluated using downscaling the output of CMIP6 models and simulating temperature and precipitation variables in the Urmia Lake basin. The meteorological stations studied included 7 synoptic stations with a statistical period of 30 years corresponding to the base period of the models (1985-2014). The error coefficients including MSE, RMSE, MAE and R^2 were also used to evaluate the performance of the models.

Results: Both LARS-WG and SDSM models have high ability in simulating temperature and precipitation variables in the studied area. However, their accuracy was not the same at different stations and also for different climatic variables. Based on the results, both models have lower accuracy in simulating precipitation than temperature, which could be due to the complexity of the precipitation process and its nature. The SDSM model has the lowest error in simulating temperature and precipitation data in the study basin. Although the LARS-WG model also has a good ability to simulate temperature and precipitation data for the small scale and has performed better in some stations, but its capability is not as good as the SDSM model. In SDSM model, the downscaling operation is performed by creating a regression relationship between predictors and predictors at a station, but in the LARS-WG model, independent and large-scale atmospheric variables do not play a direct role in simulating the data. Rather, the model initially analyzes the observational data to determine their parameters and statistical properties. Furthermore, in line with the type of future changes in large-scale climate variables, it changes the statistical parameters of the observational data and attempts to reproduce the data in future periods. Considering the error metrics and comparing

the two models under study with each other, one cannot definitely prefer one over the other.

Discussions: Due to the type of simulation process and the combined structure of the SDSM model in data downscaling and the direct use of general atmospheric circulation models and large-scale NCEP and ERA5 data in the sixth report, this model has greater accuracy in simulating data in the studied basin. On the other hand, the LARS-WG model is superior due to the simplicity of the model structure, the input data to the model, the need for less skill, and the speed of operation, and it gives the user more flexibility. However, the SDSM model has a more complex process and requires more accuracy and time, as well as relatively high user expertise. In addition to climatic variables, this model can also be used for hydrological and environmental variables, while the LARS-WG model is only applicable to temperature, precipitation, radiation, and evaporation variables. But on the other hand, for the LARS-WG model, considering the climatic characteristics of the studied region, new climate change scenarios can be defined, which can be useful in the application of these models in climate change areas. Overall, it can be concluded that these models, despite their differences, can produce the statistical behavior of climate data from a weather station in terms of mean, standard deviation, etc., which are identical to the statistical behavior of observational data, and none of the models has absolute superiority over the other. Given that in any region, before implementing climate change models, it is necessary to downscale and evaluate the performance of the models, the results of this research can be used to verify the output of CMIP6 models in predicting climate variables in future periods in different climates.