

نیز دارای فرآیند شبیه‌سازی وقت‌گیر و پیچیده‌های است. در حالی که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دوره‌های بارش از کارایی بهتری برخوردار است و دارای سادگی و سرعت عملکرد بیشتری نسبت به مدل SDSM است. در مجموع بر اساس نتایج حاصل هیچ‌کدام از مدل‌ها برتری مطلق بر یکدیگر ندارند و علیرغم تفاوت‌هایی در شبیه‌سازی، می‌توانند در بررسی‌های تغییرات اقلیمی مفید واقع شوند.

**واژه‌های کلیدی:** بارش، تغییرات اقلیمی، دریاچه ارومیه، دما، LARS-WG, SDSM

#### مقدمه

ارزیابی پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای احتمالی آن بر فرایندهای هیدرولوژی حوضه کمک فراوانی به چالش‌های مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در دوره‌های آتی خواهد کرد [۲۶]؛ و این پدیده می‌تواند به عنوان عمده‌ترین چالش بشر در دوره‌های آتی قلمداد گردد. طبق گزارش‌ها، تغییر اقلی مباعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی در چند دهه اخیر در سطح جهان شده است، به گونه‌ای که بارندگی و جریان‌های سطحی در عرضه‌ای جغرافیایی بالا و میانی، بیشتر و در عرض‌های پایینی کمتر شده و احتمال مواجهه بار خداداده‌ای حدی اقلیمی مانند سیلاب و خشک‌سالی افزایش یافته است [۱۴]. از آنجا که افزایش این احتمال برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیان‌باری را برای جوامع بشری در پی داشته باشد، در سال‌های اخیر تحقیق در مورد این موضوع برای حوضه‌های آبریز مختلف در سطح جهان مدنظر قرار گرفته است. بررسی تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آب می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های راهبردی آینده‌ی مدیریت منابع آب باشد، بدون توجه به این واقعیت که اقلیم در حال تغییر است، نمی‌توان برنامه‌ریزی واقع‌بینانه‌ای را در زمینه بهره‌برداری از منابع آب انجام داد [۹]. بنابراین پیشبینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی جهت اطلاع از میزان تغییرات آن‌ها و در نظر گرفتن تمهیدات لازم به‌منظور تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییرات اقلیمی مورد توجه بسیاری از مجامع علمی جهانی قرار گرفته است. بر همین اساس مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) توسعه یافته‌اند [۱۶]. هرچند که این مدل‌ها در مقیاس فضایی اتمسفری 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 اشکال

## ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

مسعود گودرزی<sup>۱</sup>، برومند صلاحی<sup>۲</sup> و سید اسعد حسینی<sup>۳</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۲۱

#### چکیده:

در بررسی تغییرات اقلیمی، پیش‌بینی آینده پارامترهای اقلیمی توسط مدل‌های گردش عمومی (GCMs) و تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام می‌شود؛ اما خروجی این مدل‌ها به علت بزرگ مقیاس بودن شبکه‌ی آن‌ها فاقد دقت مکانی و زمانی مناسب در مقیاس کوچک می‌باشند. بدین منظور نیاز به کوچک مقیاس کردن خروجی این مدل‌ها در مقیاس ایستگاهی و نقطه‌ای با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس گردانی خواهد بود که به دو دسته آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند که روش‌های آماری دارای کاربرد و مقبولیت بیشتری می‌باشند. از میان روش‌های آماری نیز مدل‌های LARS-WG و SDSM از معتبرترین ابزارهای ریزمقیاس گردانی در حال حاضر به حساب می‌آیند؛ که در این پژوهش به تحلیل عملکرد این دو مدل در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب کشور که در چند دهه اخیر با بحران زیست‌محیطی و خطر خشک شدن دریاچه ارومیه روبه‌رو بوده است پرداخته شد. ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی شامل چهار ایستگاه سینوپتیک سقز، تبریز، خوی و ارومیه می‌باشد که دارای آمار کامل در دوره پایه (۱۹۶۰-۱۹۶۱) بوده‌اند. جهت ارزیابی عملکرد مدل‌ها نیز از شاخص‌های خطا سنجی MAE, RMSE, MSE و همچنین ضریب تعیین و همبستگی بهره گرفته شد. نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی دما نسبت به بارش دارند و در شبیه‌سازی ماهانه پارامترهای دما و بارش، مدل SDSM موفق‌تر عمل نموده و دارای عدم قطعیت کمتری است؛ و از سویی دیگر

۱- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲- دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی

۳- نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی  
پست الکترونیک: Hosseini.asad8@gmail.com

با شبکه ریز مقیاستر محلی را به نمایش بگذارند [۵، ۲۰، ۲۲]. لذا ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف موقتی و فضایی بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس و متغیرهای هواشناسی با مقیاس محلی را پر کند که در این مورد، رویکرد اساسی همان تکنیکهای ریزمقیاس گردانی هستند [۲۳]. در واقع مدل‌های گردش عمومی هیچگاه نمی‌توانند مستقیماً برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند که به دو دسته آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند؛ که روش آماری دو وجه تمایز عمده با روش دینامیکی دارد اول اینکه نیازمند رفتار مشاهداتی (گذشته) ایستگاه مورد مطالعه است و دوم اینکه مدل‌سازی در یک دوره‌ی حدود دو تا سه دهه در کسری از ثانیه انجام می‌شود [۱۹]. بنابراین معتبرترین ابزار جهت ریزمقیاس گردانی داده‌های GCM به‌ویژه در کشور ما استفاده از روش‌های آماری می‌باشد. دبایک و کولیالی [۷] با استفاده از دو مدل ریزمقیاس گردانی SDSM و LARS-WG به بررسی پیامدهای هیدرولوژی تغییر اقلیم در حوضه سگنی در کانادا پرداختند نتایج هر دو مدل روند افزایشی را برای متغیرهای دما و بارش پیش‌بینی نمودند. خان و همکاران [۱۳] به تحلیل عدم قطعیت در سه مدل ریزگردانی LARS-WG، SDSM و ANNs پرداختند نتایج حاصل از بررسی آنان نشان داد که مدل‌های SDSM و LARS-WG نتایج خوبی داشته است ولی مدل ANN از دقت کمتری در این زمینه برخوردار می‌باشد. هاشمی و همکاران [۱۰] به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDSM جهت شبیه‌سازی بارش‌های شدید در حوضه کلوتا واقع در جزیره جنوبی نیوزلند پرداختند نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل توانایی‌های مشابه و خوبی در شبیه‌سازی بارش‌های شدید دارند و قابل استفاده برای پیش‌بینی‌های اقلیمی می‌باشند. چن و همکاران [۶] به مقایسه و ارزیابی روش‌های ریزمقیاس گردانی آماری SDSM و 4SSVM و مدل‌های هیدرولوژیکی در حوضه‌های چین پرداختند نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش عملکرد بهتری از مدل SSVM دارد. ولیزاده و همکاران [۲۱] به بررسی عملکرد گندم تحت تغییرات آب و هوایی آینده در منطقه سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل LARS-WG پرداختند نتایج حاصل نشان داد که مدل LARS-WG پیش‌بینی مناسبی از پارامترهای آب و هوایی در منطقه دارد. آبابایی و همکاران [۱] به ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در ۴ ایستگاه ساحلی شمالی و ۸ ایستگاه ساحلی جنوبی ایران در رابطه با شبیه‌سازی بارندگی، دما و تابش پرداختند نتایج حاصل نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی توزیع روزانه و میانگین ماهانه و فصلی اکثر سریها عملکرد مناسبی دارد. آقاشاهی و همکاران [۳] به معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به‌منظور ریزمقیاس‌سازی

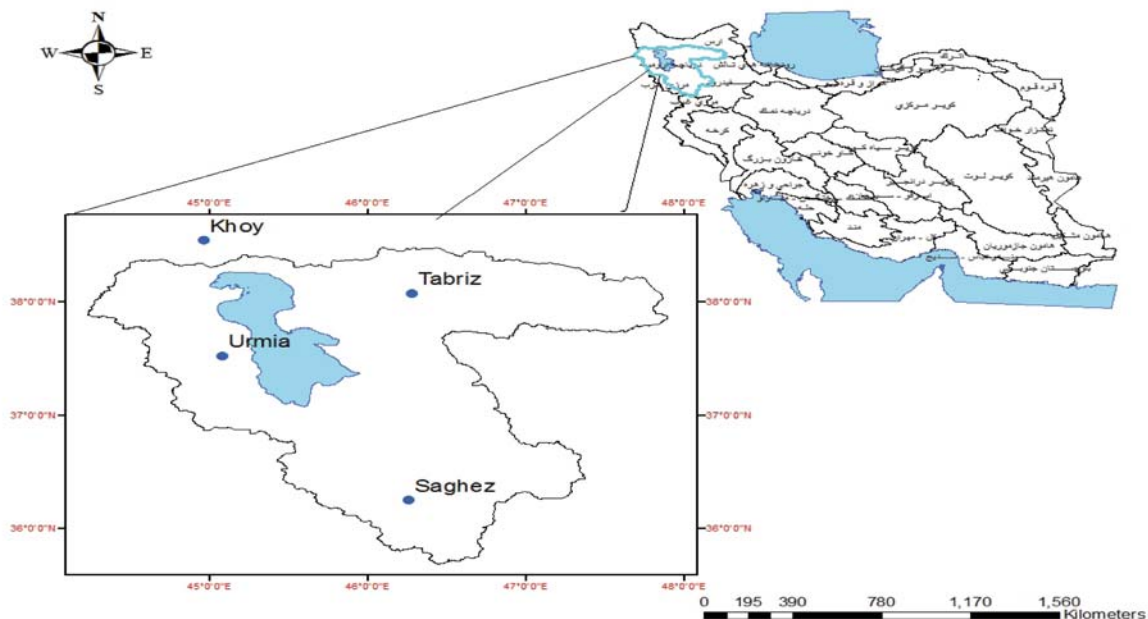
- 1- Dibke and Coulibaly
- 2- Hashmiet al
- 3- Chen et al
- 4- Smooth Support Vector Machine
- 5- Hanjiang

پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم پرداختند نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM دارای عدم قطعیت کمتر و فرآیند شبیه‌سازی پیچیده‌تر و مدل LARS-WG دارای سادگی و سرعت عملکرد بیشتر و کارایی مناسبی است. همچنین بررسی‌ها حاکی از عدم برتری مطلق یک مدل بر مدل دیگر می‌باشد. آبکار و همکاران [۲] به بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخصهای دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداختند نتایج حاصل نشان داد که مدل SDSM توانایی لازم جهت شبیه‌سازی شاخصهای دمایی را دارد. حجارپور و همکاران [۸] به مقایسه سه مدل LARS-WG، Weatherman و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در سه اقلیم مختلف گرگان، گنبد و مشهد پرداختند نتایج حاکی از کارایی بهتر LARS-WG در شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما در منطقه‌های گرگان و مشهد است و به‌طورکلی هر سه مدل پارامتر دما را بهتر از سایر پارامترها اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند. عجم‌زاده و ملایی نیا [۴] به مقایسه عملکرد روشهای ریزمقیاس گردانی SDSM و LARS-WG در ایستگاه سد تنگاب در استان فارس پرداختند نتایج حاصل حاکی از عدم برتری مطلق مدل‌ها بر یکدیگر است. همان‌طور که از بررسی پیشینه پژوهش مشاهده می‌شود از میان مدل‌های ریزمقیاس گردانی آماری در بررسی تغییرات اقلیمی مدل‌های SDSM و LARS-WG از پرکاربردترین مدل‌های آماری در ایران و جهان می‌باشند؛ که در این بررسی به ارزیابی عملکرد این دو ابزار ریزمقیاس گردانی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه که یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز کشور می‌باشد و در چند دهه اخیر با پدیده کم‌آبی و بحران خشکسالی روبه‌رو بوده و خسارات قابل توجهی را به واسطه کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی، در سطح منطقه‌ای و ملی وارد ساخته است، پرداخته خواهد شد.

## مواد و روشها

### داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه در شمال غرب ایران قرار گرفته است و مساحت حوضه ۵۲۳۵۵ کیلومتر مربع است؛ که از این مقدار حدود ۵۸۲۲ کیلومتر مربع مساحت خود دریاچه مستقیماً با ارتفاع آب دریاچه رابطه داشته و با افزایش یا کاهش آن تغییر پیدا می‌کند؛ که از لحاظ مساحت بیستمین دریاچه جهان محسوب می‌گردد. تراز کف دریاچه از سطح آزاد دریاها نیز ۱۲۶۸ متر است [۱۵]. پژوهش حاضر بر روی سه ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (سقر، ارومیه و تبریز) و همچنین یک ایستگاه سینوپتیک نزدیک به حوضه (خوی) جهت پوشش نیمه شمالی حوضه به دلیل عدم وجود ایستگاه با دوره آماری بلندمدت در داخل حوضه در این بخش، انجام شده است. موقعیت حوضه آبریز و ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی در شکل (۱) و همچنین مشخصات ایستگاه‌های مورد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig 1. Geographical position of Urmia lake basin and stations study

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Table 1. Geographical characteristics of meteorological stations study

دوره آماری	ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نام ایستگاه
1961-1990	1522.8	36' 15"	46' 16"	سقز
1961-1990	1361	38' 5"	46' 17"	تبریز
1961-1990	1328	37' 4"	45' 3"	ارومیه
1961-1990	1103	38' 33"	46' 58"	خوی

آماري ارائه شد. این مدل به عنوان یک مدل ریزمقیاس سازی، در عین پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه سازی و داده های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش بینی تغییر اقلیم دارد [۱۸]. داده های ورودی به مدل شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و میزان تابش به صورت روزانه می باشد این داده ها که از سازمان هواشناسی کشوری اخذ گردید حداقل باید دارای یک دوره زمانی ۳۰ ساله باشند که معمولاً در مطالعات تغییر اقلیم دوره (۱۹۹۰-۱۹۶۱) به عنوان دوره پایه یا شرایط اقلیمی حال حاضر استفاده می شود. روش کار به این صورت است که مدل، داده های دیده بانی شده دوره پایه را دریافت نموده، با بررسی آنها مشخصه های آماری داده ها استخراج می شوند سپس به منظور صحت سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، برای دوره آماری پایه رویه QTEST را اجرا نموده تا یک سری داده های مصنوعی در دوره پایه مجدداً ایجاد شود سپس این خروجی ها به منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده ها، با مشخصات آماری مشاهداتی ۳۰ ساله مقایسه می شوند. در

بررسی در جدول (۱) آورده شده است. پارامترهای اقلیمی مورد بررسی شامل آمار روزانه پارامترهای دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش در طول دوره آماری پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) جهت بررسی مدل های ریزمقیاس گردانی می باشد. با توجه به آمار ایستگاه های مورد بررسی، حداقل و حداکثر روزانه درجه حرارت مشاهده شده در سطح حوضه در دوره مورد بررسی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) برابر با ۳۶- و ۴۳+ درجه سلسیوس و متوسط درجه حرارت سالانه آن ۱۱/۶ درجه سلسیوس است. میانگین سالانه بارندگی نیز برابر با ۳۷۱/۸ میلی متر می باشد که حداکثر و حداقل آن به ترتیب مربوط به ایستگاه سقز با ۵۱۳/۴ و ایستگاه تبریز با ۳۱۳/۳ میلی متر است.

### مدل های مورد بررسی

مدل LARS-WG یک مدل مولد داده های تصادفی آب و هوایی جهت ریزمقیاس سازی است. اولین نسخه این مدل در سال ۱۹۹۰ و در شهر بوداپست مجارستان به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس سازی

نشان‌دهنده‌ی میزان خطای مدل می‌باشند که بهترین مقدار آن‌ها برابر صفر است و از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند [۱۷].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (X_k - Y_k)^2}{K}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{k=1}^K |X_k - Y_k|}{K} \quad (3)$$

در روابط فوق XK مقادیر مشاهداتی، YK مقادیر شبیه‌سازی شده و K تعداد داده‌ها می‌باشد.

۳- میانگین مربعات خطا: برای محاسبه آن از رابطه (۴) استفاده می‌شود که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند [۱۱].

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Obs_i - For_i)^2 \quad (4)$$

در روابط فوق Obsi و Fori به ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه و n تعداد کل داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

۴- ضریب همبستگی: بیان‌کننده‌ی میزان همبستگی بین نتایج برآورد شده مدل و داده‌های واقعی می‌باشد که بر اساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود [۱۲]. 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 [۱۷].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act}) (y_{est} - \bar{y}_{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act})^2 \sum_{i=1}^n (y_{est} - \bar{y}_{est})^2}} \quad (5)$$

که در آن،  $y_{act}$ : مقادیر مشاهداتی،  $\bar{y}_{act}$ : میانگین مقادیر مشاهداتی،  $y_{est}$ : مقادیر شبیه‌سازی شده و  $\bar{y}_{est}$ : میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد.

### نتایج

به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل LARS-WG، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری (۱۹۶۱-۱۹۹۰) تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید. سپس خروجی‌های مدل که شامل دمای حداقل و حداکثر و بارش ماهانه و انحراف معیار آن‌ها می‌باشد با داده‌های ۳۰ سال (۱۹۶۱-۱۹۹۰) مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه مقایسه گردید. همچنین به منظور اطمینان از صحت مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM، به ارزیابی پارامترهای شبیه‌سازی شده با استفاده از متغیرهای NCEP و داده‌های واقعی

این پژوهش از آخرین نسخه این مدل یعنی نسخه ۵ استفاده شده است. در واقع این مدل با دریافت داده‌های هواشناسی دوره آماری و خروجی مدل گردش عمومی جو در دوره مشابه با دوره آماری حال و آینده، پارامترهای هواشناسی را به صورت روزانه و در مقیاس ایستگاهی تولید می‌نماید. جهت صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل نیز داده‌های حاصل از سناریوی تغییر اقلیم برای گذشته با داده‌های مشاهداتی مقایسه و تحلیل می‌گردد.

مدل SDSM نیز یک مدل رگرسیونی چند متغیره برای تولید داده‌های آب و هوایی به وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس‌سازی آماری است [۲۴، ۲۵]؛ که در سال ۲۰۰۲ در انگلستان تهیه شده است. اساس آن استفاده از ترکیبی از روش‌های رگرسیونی و تولید داده‌های آب و هوایی مصنوعی برای کوچک‌مقیاس‌سازی می‌باشد [۳]. در این پژوهش از آخرین نسخه آن یعنی ۵/۱ استفاده شده است. داده‌های ورودی به مدل شامل داده‌های روزانه هواشناسی پارامترهای مورد بررسی و نیز داده‌های مشاهداتی مربوط به مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا (NCEP) می‌باشند. از آنجا که خروجی پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس یا متغیرهای NCEP دارای متغیرهای زیادی می‌باشد باید از بین آن‌ها مناسب‌ترین پیش‌بینی‌کننده مرتبط با ایستگاه مورد نظر را انتخاب کرد. طی این فرآیند که غربال‌سازی نامیده می‌شود مدل SDSM بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و متغیرهای پیش‌بینی‌شونده (عموماً بارش و دما) اقدام به ایجاد آزمون‌های همبستگی، همبستگی جزئی و همبستگی متقابل می‌کند. با کمک این آزمون‌ها، پیش‌بینی‌کننده‌هایی را که با متغیرهای پیش‌بینی‌شونده رابطه همبستگی خوبی برقرار کنند، به عنوان پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیمی آینده انتخاب خواهند شد [۳]. بدین صورت که از داده‌های ۳۰ ساله NCEP از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ که شامل ۲۶ متغیر مستقل اتمسفری می‌باشد، برای صحت‌سنجی و ارزیابی مدل جهت شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش در دوره پایه استفاده شده است.

### معیارهای ارزیابی عملکرد

جهت ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل‌های تخمین و پیش‌بینی شاخص‌های عملکردی مختلفی وجود دارد که در این پژوهش، معیارهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین مطلق خطا (MAE)، ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) و ضریب همبستگی (R) به کارگرفته شده است.

۱- ضریب تعیین: معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد [۱۷].

$$R^2 = \frac{\sum_{K=1}^K X_K Y_K}{\sqrt{\sum_{K=1}^K X_K^2 \sum_{K=1}^K Y_K^2}} \quad (1)$$

۲- مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا:

جدول ۲- عملکرد مدل‌های ریزمقیاس گردانی با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و همبستگی  
Table 2. Performance of downscaling models using measurement error and correlation indexes

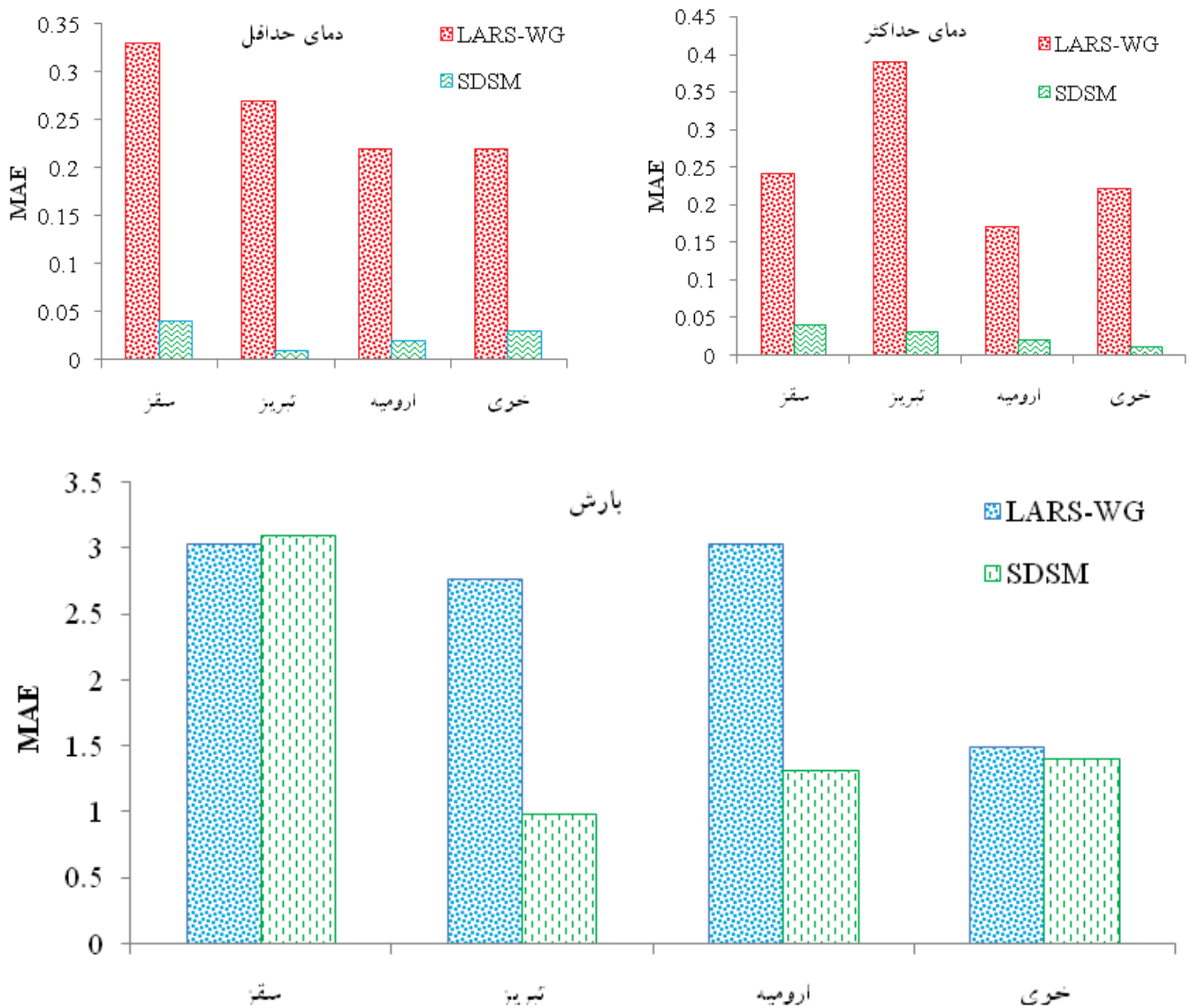
ایستگاه	شاخص مدل	RMSE		MSE		MAE		R <sup>2</sup>		R	
		SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS	SDSM	LARS
۳۱	بارش	3.78	3.65	14.26	13.34	3.1	3.03	0.99	0.99	0.99	0.99
	دمای حداکثر	0.05	0.28	0.00	0.08	0.04	0.24	0.99	0.99	0.99	0.99
	دمای حداقل	0.06	0.44	0.00	0.19	0.04	0.33	0.99	0.99	0.99	0.99
۳۳	بارش	1.21	3.53	1.47	12.48	0.99	2.77	0.99	0.96	0.99	0.98
	دمای حداکثر	0.02	0.44	0.00	0.19	0.02	0.39	0.99	0.99	0.99	0.99
	دمای حداقل	0.02	0.33	0.00	0.11	0.01	0.27	0.99	0.99	0.99	0.99
ارومیه	بارش	4	4.36	2	19.05	1.32	3.03	0.99	0.94	0.99	0.97
	دمای حداکثر	0.02	0.21	0.00	0.05	0.02	0.17	0.99	0.99	0.99	0.99
	دمای حداقل	0.03	25	0.00	0.06	0.02	0.22	0.99	0.99	0.99	0.99
۴۱	بارش	2.28	2.07	5.22	4.27	1.41	1.5	0.99	0.98	0.99	0.99
	دمای حداکثر	0.02	0.26	0.00	0.07	0.01	0.22	0.99	0.99	0.99	0.99
	دمای حداقل	0.04	0.3	0.00	0.09	0.03	0.22	0.99	0.99	0.99	0.99

حوضه‌ی مورد بررسی به‌ویژه شاخص‌های دمایی برخوردار است (جدول ۲).

جدول ۲- عملکرد مدل‌های ریزمقیاس گردانی با استفاده از شاخص‌های خطشکل (۲) نیز میانگین مطلق خطا (MAE) مدل‌های ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM را جهت نمایش بهتر وضعیت خطای مدل‌ها در شبیه‌سازی ماهانه پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در دوره مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ارتباط با پارامتر بارش مدل LARS-WG فقط در ایستگاه سقر با میانگین مطلق خطا برابر با ۳/۰۳ درصد از خطای کمتری نسبت به مدل SDSM با MAE برابر با ۳/۱ درصد برخوردار است. در سایر ایستگاه کمترین خطا بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی مربوط به مدل SDSM است. بالاترین دقت و کمترین خطا نیز در شبیه‌سازی بارش با استفاده از مدل SDSM مربوط به ایستگاه ارومیه با MAE برابر با ۱/۳۲ و در مدل LARS-WG مربوط به ایستگاه سینوپتیک خوی با MAE برابر با ۱/۵ است. در ارتباط با دمای حداقل نیز مدل SDSM موفق‌تر عمل نموده و کمترین خطای این مدل نیز در زمینه شبیه‌سازی دمای حداقل مربوط به ایستگاه تبریز با MAE برابر با ۰/۰۱ است. در زمینه شبیه‌سازی دمای حداکثر در منطقه مورد بررسی نیز وضعیت مشابه با دمای حداقل است با این تفاوت که میانگین خطای هر دو مدل در این زمینه نسبت به دمای حداقل کاهش یافته و در واقع هر دو مدل در شبیه‌سازی دمای حداکثر نسبت با دو پارامتر اقلیمی دیگر عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند که در این زمینه نیز مدل SDSM کارایی بهتری را از خود نشان داده

برای دوره آماری پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) پرداخته شد. نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هر دو مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM با استفاده از شاخص‌های آماری مختلف در جدول (۲) آورده شده است. نتایج حاصل بیانگر آن است که اختلاف معنی داری بین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط هر دو مدل و مقادیر مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد و مقادیر همبستگی پیرسون بین داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی در سطح معنی داری ۰/۰۱ قابل قبول می‌باشند. برای اطمینان از صحت و اسننجی مدل‌ها از شاخص‌های خطاسنجی MSE، RMSE و MAE نیز استفاده شد؛ که نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که دقت مدل‌ها در ایستگاه‌های مورد بررسی و پارامترهای مختلف متفاوت است. بدین صورت که هر دو مدل در شبیه‌سازی دما از دقت مناسب‌تری نسبت به شبیه‌سازی بارش برخوردار بوده و در شبیه‌سازی بارش ماهانه نیز مدل SDSM به غیر از ایستگاه سقر که از دقت کمتری نسبت به مدل LARS-WG برخوردار بوده است در سایر ایستگاه‌ها، هم از نظر شبیه‌سازی بارش و هم از نظر شبیه‌سازی پارامترهای دمایی از دقت بیشتری نسبت به مدل LARS-WG برخوردار بوده است. در شبیه‌سازی پارامترهای دمایی نیز هر دو مدل در شبیه‌سازی دمای حداکثر نسبت به دمای حداقل موفق‌تر عمل نموده‌اند؛ و در این زمینه نیز مدل SDSM از دقت بیشتری نسبت به مدل LARS-WG برخوردار است. در مجموع نتایج حاصل از شاخص‌های خطاسنجی بیانگر آن است که مدل ریزمقیاس گردانی SDSM در مقیاس ماهانه از دقت بیشتری جهت ریزمقیاس گردانی پارامترهای اقلیمی در





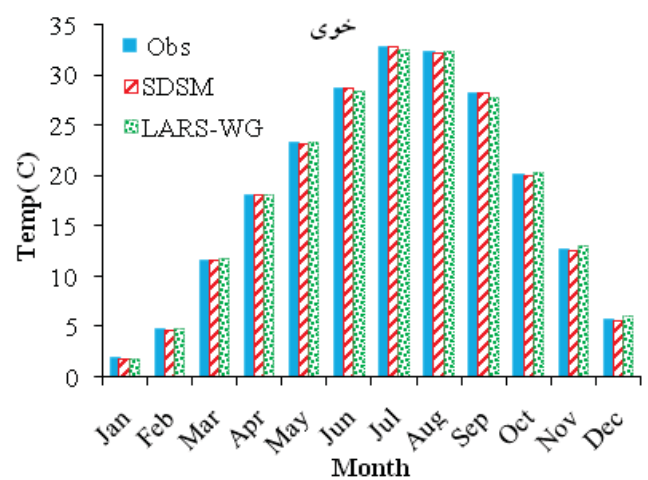
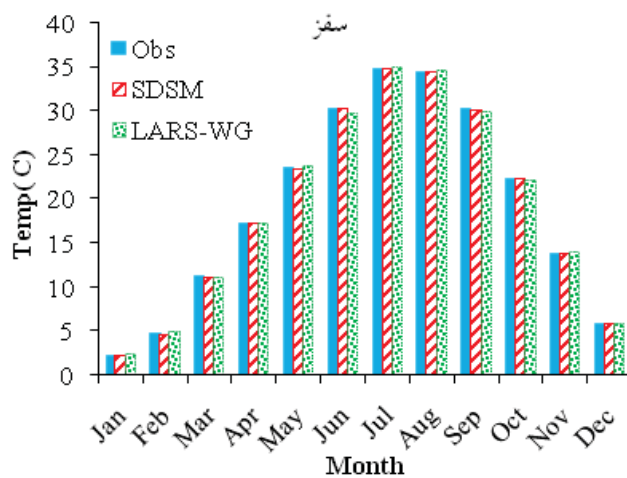
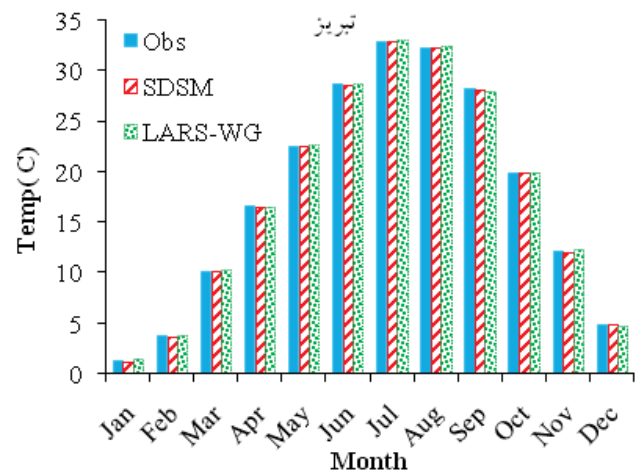
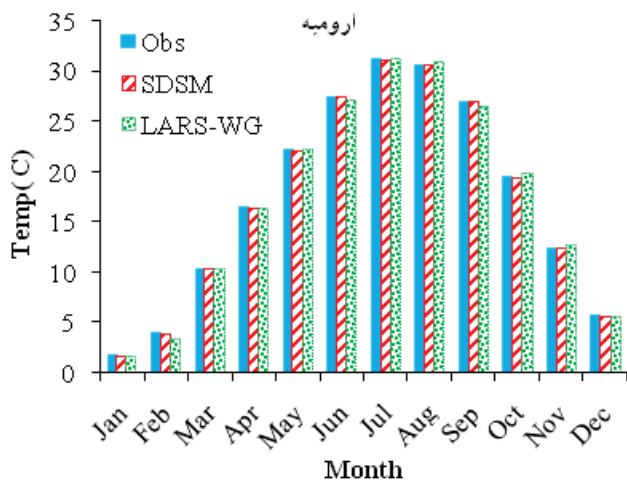
شکل ۲- مقایسه میانگین مطلق خطای (MAE) مدل‌های LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش  
 Fig 2. Comparison of (MAE) in SDSM and LARS-WG models in simulation of temperature and precipitation

بیشتر ماه‌ها و همچنین به صورت دوره‌ای در همه ایستگاه‌ها، مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM از کارایی بهتری نسبت به مدل LARS-WG برخوردار است. در ارتباط با مقایسه میانگین ماهانه و دوره‌ای دمای حداقل مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نیز که در شکل‌های (۵ و ۶) آورده شده است مدل SDSM موفق‌تر از مدل LARS-WG عمل نموده است.

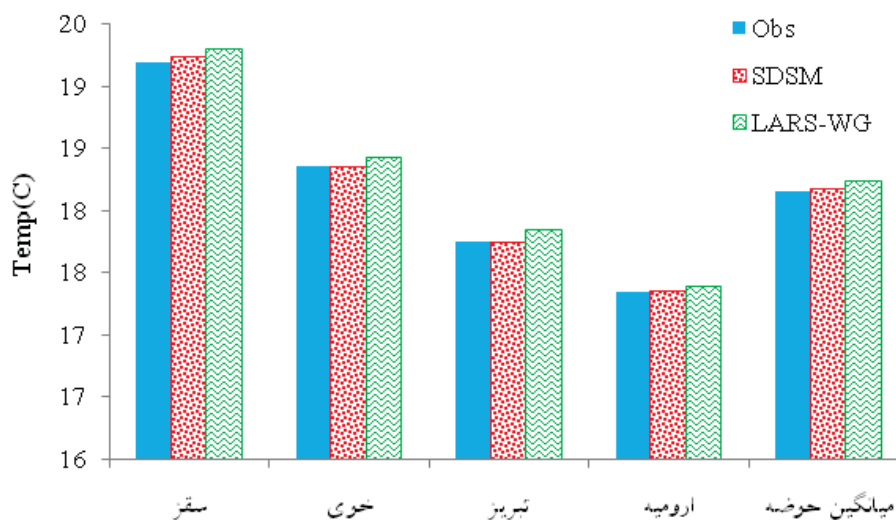
در ارتباط با وضعیت بارش شرایط مقداری متفاوت است چرا که در بیشتر ایستگاه‌ها (به غیر از سقر) مدل SDSM در شبیه‌سازی بارش به صورت ماهانه (شکل ۷) بهتر عمل نموده است در حالی که در شبیه‌سازی بارش به صورت دوره‌ای (۱۹۶۱-۱۹۹۰) مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG به مقادیر مشاهداتی

است؛ و کمترین و بیشترین خطای آن نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه خوی با میانگین مطلق خطای ۰/۰۱ و ایستگاه سقر با ۰/۰۴ درصد می‌باشد (شکل ۲).

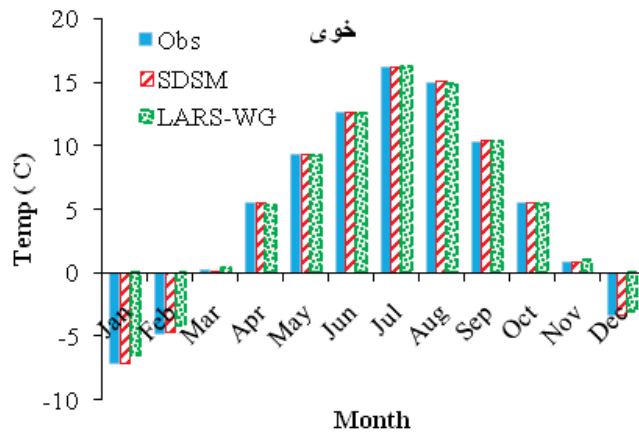
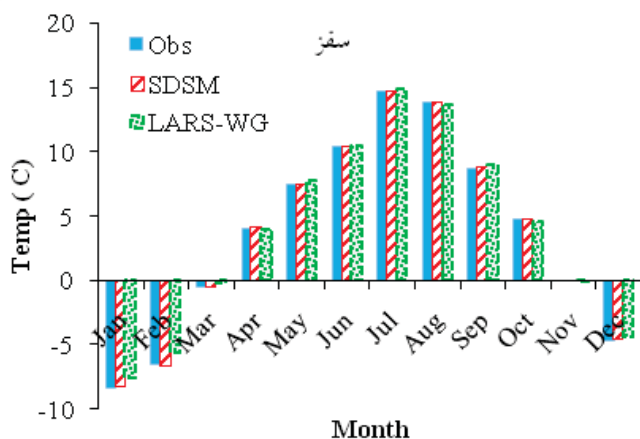
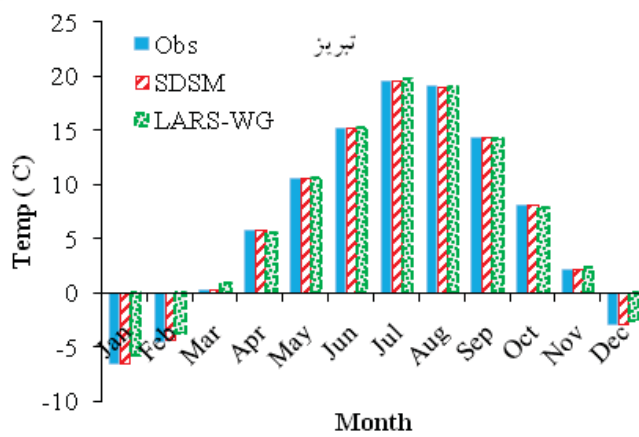
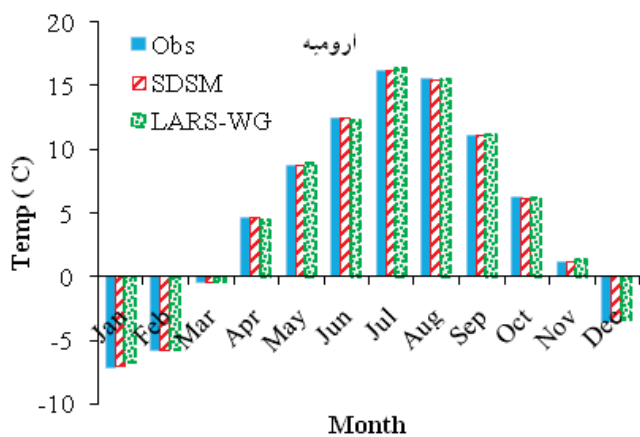
جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت پیش‌بینی به مقایسه مقادیر دمای حداقل و حداکثر و بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی به صورت ماهانه و دوره‌ای (۱۹۶۱-۱۹۹۰) در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای پرداخته شد. شکل‌های (۳ و ۴) به مقایسه دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه‌سازی توسط هر دو مدل به صورت ماهانه و دوره‌ای در ایستگاه مختلف حوضه مورد بررسی پرداخته است. همان‌طور که قبلاً ذکر گردید در زمینه شبیه‌سازی دمای حداکثر، در



شکل ۳- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداکثر ماهانه توسط مدل‌های SDSM و LARS-WG  
 Fig 3. Observed and simulated values of maximum monthly temperature by SDSM and LARS-WG models

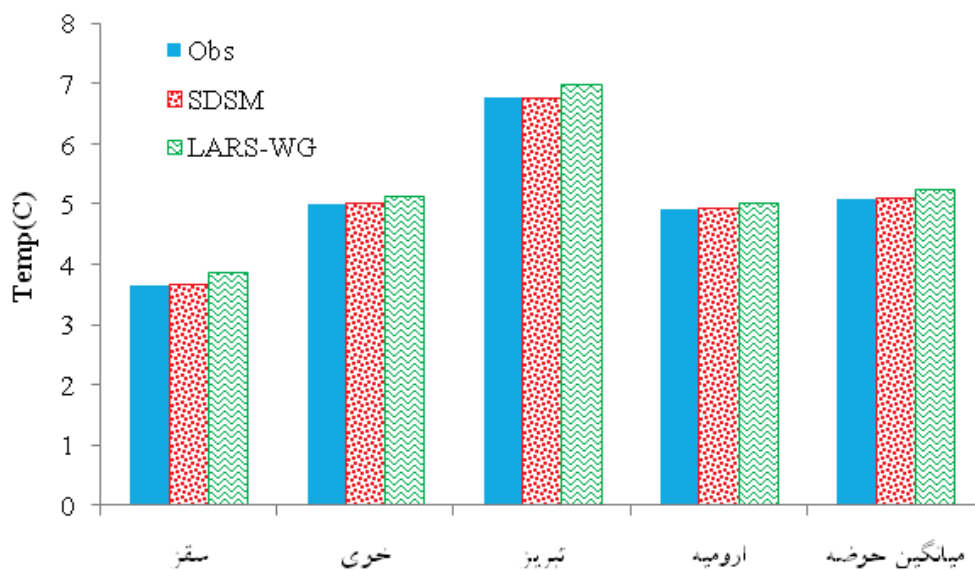


شکل ۴- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداکثر دوره پایه توسط مدل‌های SDSM و LARS-WG  
 Fig 4. Observed and simulated values of maximum temperature in base period by SDSM and LARS-WG models



شکل ۵- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداقل ماهانه توسط مدل‌های SDSM و LARS-WG

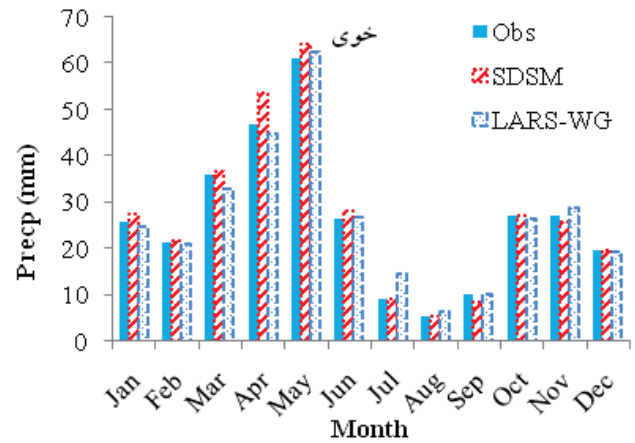
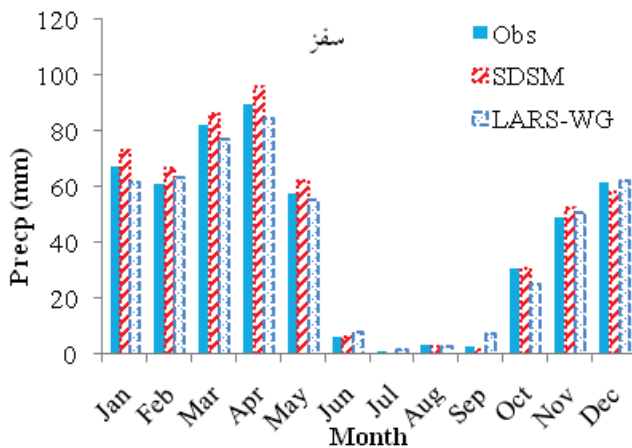
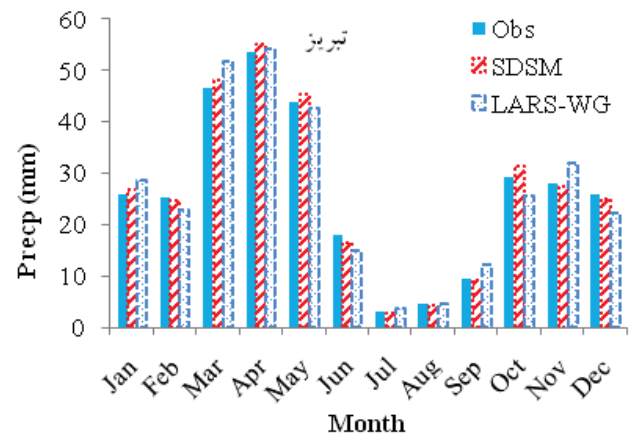
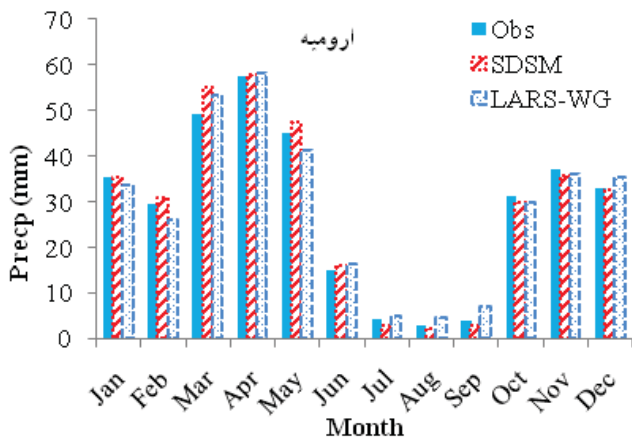
Fig5. Observed and simulated values of minimum monthly temperature by SDSM and LARS-WG models



شکل ۶- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای دوره پایه توسط مدل‌های SDSM و LARS-WG

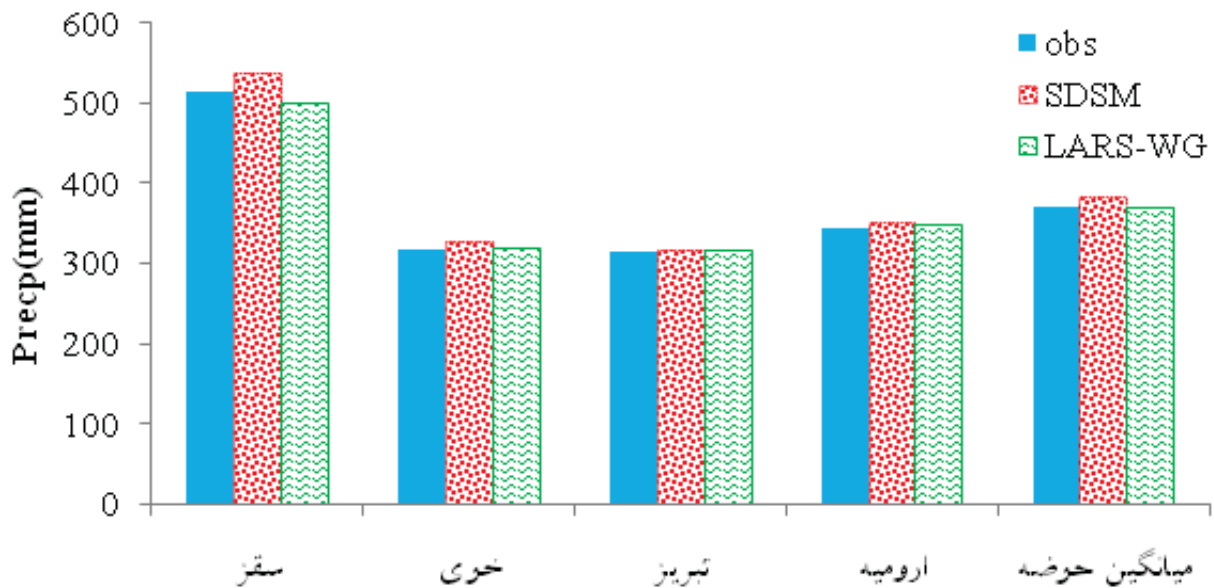
Fig6. Observed and simulated values of minimum temperature in base period by SDSM and LARS-WG models





شکل ۷- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش ماهانه توسط مدل‌های SDSM و LARS-WG

Fig.7. Observed and simulated values of precipitation by SDSM and LARS-WG models



شکل ۸- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش دوره پایه توسط مدل‌های SDSM و LARS-WG

Fig.8. Observed and simulated values of precipitation in base period by SDSM and LARS-WG models

ایستگاهی نزدیک تر است و در واقع در این زمینه موفق تر از مدل SDSM بوده است (شکل ۸).

### بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، به ارزیابی عملکرد دو مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM جهت شبیه سازی تغییرات اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) پرداخته شد. جهت صحت و دقت مدل ها نیز از شاخص های خطاسنجی، ضریب تعیین و ضریب همبستگی بهره گرفته شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که هر دو مدل LARS-WG و SDSM در شبیه سازی متغیرهای دما و بارش در منطقه مورد مطالعه از توانایی قابل قبولی برخوردارند؛ اما در ایستگاه های مختلف و همچنین پارامترهای اقلیمی مختلف نتایج متفاوتی دارند. در مقایسه با متغیرهای دما و بارش، هر دو مدل در شبیه سازی بارش از دقت کمتری نسبت به دما برخوردارند که این امر ناشی از پیچیده بودن فرآیند بارش و همچنین ساختار مدل های اقلیمی است. نتایج حاصل بیانگر آن است که مدل SDSM کمترین خطا را در شبیه سازی داده های مشاهداتی دارد هر چند که مدل LARS-WG نیز توانایی مناسبی در شبیه سازی داده های مشاهداتی جهت ریزمقیاس گردانی دارد؛ اما قابلیت آن به اندازه مدل SDSM نیست. در مدل SDSM عمل ریزمقیاس گردانی از طریق ایجاد یک رابطه رگرسیونی بین پیش بینی کننده ها و پیش بینی شونده ها در یک ایستگاه صورت می گیرد. ولی در مدل LARS-WG متغیرهای بزرگ مقیاس جوی نقش مستقیمی در شبیه سازی داده ها ندارند؛ بلکه مدل در ابتدا به منظور تعیین پارامترها و خصوصیات آماری داده های مشاهداتی آن ها را آنالیز می کند سپس هم راستا با نوع تغییرات آینده ی متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس، پارامترهای آماری داده های مشاهداتی را تغییر داده و اقدام به باز تولید داده ها در دوران آینده می کند [۳]. با توجه به معیارهای خطاسنجی و مقایسه دو مدل با یکدیگر به طور مطلق نمی توان یکی را بر دیگری ترجیح داد؛ چراکه در ارزیابی عملکرد مدل ها در مناطق مختلف و برای پارامترهای اقلیمی مختلف و همچنین مقیاس های ماهانه و سالانه در دوره مورد بررسی شاهد تفاوت در نتایج و نوع عملکرد مدل ها می باشیم؛ اما به دلیل نوع فرآیند شبیه سازی و همچنین ساختار ترکیبی مدل SDSM در ریزمقیاس گردانی داده ها و استفاده مستقیم از مدل های GCM و داده های بزرگ مقیاس NCEP این مدل دقت بیشتری در شبیه سازی داده های اقلیمی در حوضه مورد بررسی دارد. از طرف دیگر نیز مدل LARS-WG به سبب سادگی مکانیسم مدل، داده های ورودی به مدل و نیاز به مهارت کمتر و همچنین سرعت عملکرد دارای برتری می باشد؛ و به کاربر قدرت انعطاف بیشتری را می دهد؛ ولی مدل SDSM دارای فرآیند پیچیده تر است و نیاز به دقت و زمان بیشتر و همچنین تخصص نسبتاً بالای کاربر دارد که البته از مزایای این مدل نیز محسوب می شود و علاوه بر پارامترهای هواشناسی از قبیل دما، بارش، ساعات آفتابی، سرعت باد و غیره قابل استفاده برای سایر متغیرهای هیدرولوژی و زیست محیطی از قبیل پارامترهای

کیفیت هوا، پوشش برف، تبخیر و غیره نیز می باشد که باید توسط کاربر در قالب SDSM تهیه شوند. از طرفی برای مدل LARS-WG با توجه به ویژگی های اقلیمی منطقه مورد مطالعه می توان سناریوهای جدید تغییر اقلیم تعریف نمود که در کاربرد این مدل ها در بحث های تغییر اقلیم می تواند مفید باشد [۸]. به طور کلی می توان نتیجه گرفت این مدل ها علیرغم تفاوت هایی که دارند می توانند رفتار آماری داده های اقلیمی یک ایستگاه را نظر میانگین، انحراف معیار و غیره تولید کنند که با رفتار آماری داده های مشاهداتی یکسان هستند و هیچ کدام از مدل ها بر یکدیگر برتری مطلق ندارند. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته های خان و همکاران (۲۰۰۶)، هاشمی و همکاران (۲۰۱۰)، ولی زاده و همکاران (۲۰۱۴)، آقاشاهی و همکاران (۱۳۹۱)، حجارپور و همکاران (۱۳۹۳)، عجمزاده و ملایی نیا (۱۳۹۳) مطابقت دارد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش و همچنین با توجه به این که در هر منطقه ای قبل از اجرای مدل های تغییر اقلیم، آزمون و صحت آن ها امری ضروری است. از نتایج حاصل از این پژوهش می توان به منظور کاربرد خروجی های این مدل ها در بررسی تغییرات اقلیمی و پیش بینی پارامترهای اقلیمی در دهه های آینده در حوضه های آبریز به ویژه حوضه مورد بررسی که در چند دهه اخیر با بحران خشک شدن دریاچه واقع در آن روبه رو بوده است بهره گرفت؛ و پیشنهاد می شود به توجه به عملکرد مناسب این مدل ها در حوضه مورد بررسی، از این مدل ها جهت پیش بینی پارامترهای اقلیمی در دهه های آتی و همچنین بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب حوضه و دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گیرد و راهکارهای مقابله به تغییرات اقلیمی احتمالی ارائه گردد.

### منابع

1. Ababaei, b. Mirzaei, F. and Sohrabi, T. 2011. Performance evaluation of LARS- WGmodel in 12 coastal stations in Iran, Journal of Water Research; 5(9):217-222. (In Persian)
2. Abkar. AJ. Habibnejad. M. Soleimani, K. and Naghavi, H. 2013. Evaluation of the effectiveness of the SDS M models simulations of temperature in arid and semi- arid, Journal of Irrigation and Water Engineering Research, Vol. 4, No. 14, pp. 17-1. (In Persian)
3. Aghashahi, M. Ardestani, M. Nicksokhan, MH. and Tahmasebi, B. 2012. Introduce and compare the LARS- WGmodel and the SDSM in order to fine- scale environmental modeling studies of climate change, the Sixth National Conference and Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, p 10. (In Persian)
4. Ajamzadeh, A. and Mullaniya, MR. 2014. Comparison of the performance of SDSM and LARS-WG Downscaling (Case

- resources. ASCE, J. Water Resour. Planning and Manag. 125(4): 194-204.
15. Mahsafar, H. Maknoun, R. and Saghafian, B. 2011. Effects of climate change on the water balance of Urmia Lake, Journal of Iran Water Resources Research; 7 (1):58-47. (In Persian)
  16. Qian, B. Gameda, S. Hayhoe, H. DeJong, R. and Bootsma, A. 2004. Comparison of LARS-WG and AAFC-WG stochastic weather generators for diverse Canadian climates. Climate Research. 26.
  17. Sedaghatkerdar, A. and Fattahi, E. 2008. Warning of drought indices in Iran, Journal of Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan; 6 (11): 76-59. (In Persian)
  18. Semonov, MA. and Stratonovitch, P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, CLIMATE RESEARCH, Vol. 41, p. 1-14.
  19. Shamsioor, A A. 2013. Climate modeling theory and methods, Tehran University Press; P. 294. (In Persian)
  20. Sharma, D. Gupta, A D. and 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.
  21. Valizadeh, J. Ziaei, S M. and Mazlounzadeh, S M. 2014. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study), Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Vol 13, Issue 2, P 107-115.
  22. 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. 95: 1943-1953.
  23. 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: 147-159.
  24. Wilks D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. Climate Change. Vol. 22, P 67-84.
  25. Wilks, DS. and Wilby, R L. 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models. study: Tangabstation in Fars Province), the first National Conference on the Environment, University of Payam Noor, Esfahan. 9 p. (In Persian)
  5. 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
  6. Chen, H. Yu Xu C. and 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, P 36-45.
  7. Dibike, Y B. and Coulibaly, P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay Watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models, J Hydro, p. 145-163.
  8. Hajjarpour, A. Yousefi, M. and Kamkar, B. 2014. Precision test of simulators LARS- WG, Weather Man and CLIMGE in three different climates simulated (Gorgan, Gonbad and Mashhad), Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan; 35: 201-216. (In Persian)
  9. Hardy, J T. 2003. Climate Change: Causes, Effects, and Solutions. John Wiley & Sons, Ltd. 247 P
  10. Hashmi. M. Z. Shamseldin. A Y. and Melville. B W. 2010. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed, Stoch Environ Res Risk Assess.
  11. Karamouz, M. Ramezani, F. and Razavi, S. 2007. Forecasting the long-term of rainfall through meteorological signals: Application of Artificial Neural Networks, Seventh International Congress on Civil Engineering. Tehran; P. 11 (In Persian)
  12. Khalili, N. Khodashnas, S. and Davari, K. 2006. Prediction rainfall using an artificial neural network, Second Conference on Water Resources Management; p 8. (In Persian)
  13. Khan, M.S. Coulibaly, P. and Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling method. Journal of Hydrology, 319: 357-382.
  14. Lane, M E. Kirshen, P H. and Vogel, R M. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water

Progress in Physical Geography. Vol. 23, 1999, P 329-357.

26. Zahabioun, B. Goudarzi, MR. and Msahbovani, A. 2010. Application of SWAT model for estimating runoff in future periods affected by climate change, Journal of Climatology, 1- 2: 58 43. (In Persian)

*Abstract*

## Performance Assessment of LARS-WG and SDSM Downscaling Models In Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin

M. Goudarzi<sup>1</sup>, B. Salahi<sup>2</sup> and S. Asaad Hosseini<sup>3</sup>

Received: 2015.09.12 Accepted: 2015.04.30

In the study of climate changes, Prediction of the future climatic parameters is performed by general circulation models (GCMs) and emissions scenarios of greenhouse gases. However, Global Circulation Models have very coarse spatial resolutions. For this reason, downscaling methods are needed to bridge the gap between the large scale climate scenarios and the fine scale where local stations exist. Downscaling methods are divided into two categories: 1) statistical models and 2) Dynamic models. Among these methods, statistical methods are much more popular which is due to low expenses and less time consuming procedures. Lars-WG and SDSM models are among the most concise methods of statistical tools for downscaling. Herein this research these two models were used in simulating precipitation and temperature changes in Urmia lake basin located in the north west of Iran. Four synoptic stations including Saez, Tabriz Khoy and Urmia were considered. These four stations had a good and long data especially in base period (1961-1990). In order to assess the models, MSE, RMSE & MAE indexes along with regression and bias were used. Results show that both models were good in simulating temperature but SDSM was better in simulating precipitation according to statistical performance measures and has less uncertainty. But it has more complex and time consuming procedures. While Lars-WG is simpler and faster comparing with SDSM. In general, none of the models has absolute superior in simulating climatic parameters and both can be used in climate change predictions.

**Keywords:** *Climate Change, LARS-WG, SDSM, Precipitation, Temperature, Urmia Lake.*

1. Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute SCWMRI, AREEO, Tehran, Iran massoudgoudarzi@yahoo.com

2. Associate Professor, Department of Physical Geography (Climatology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3. PhD Student in Physical Geography (Climatology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran Corresponding Author Email: Hosseini.asad8@gmail.com