



مقایسه عملکرد مدل های SDSM و LARS-WG در شبیه سازی متغیرهای هواشناسی در منطقه شمال غرب ایران

بهروز سبحانی^{۱*}، مهدی اصلاحی^۲، یونس اکبر زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰

چکیده

در این پژوهش عملکرد دو مولد داده هواشناسی SDSM و LARS-WG در شبیه سازی متغیرهای اقلیمی بارش، دمای کمینه و بیشینه روزانه در منطقه شمال غرب ایران مورد مقایسه قرار گرفته است. شبکه مطالعاتی شامل ۱۲ ایستگاه هواشناسی با حداقل دوره آماری ۴۰ ساله بوده و داده های دما و بارش روزانه این ایستگاه ها در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به عنوان پایه مورد استفاده قرار گرفتند. برای مقایسه دقت دو مدل از دو آزمون ناپارامتری همبستگی و مقایسه ای من-ویتنی و شاخص ریشه مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است. نتایج نشان داد که برای دماهای کمینه و بیشینه دو مدل عملکرد مشابهی دارند، ولی تعداد ماه های با همبستگی معنی دار در طول دوره پایه در مدل SDSM بیشتر از مدل LARS-WG است. برای داده های بارش، متوسط شاخص RMSE در مدل SDSM و LARS-WG به ترتیب ۲۶/۵ و ۳۲/۰ میلی متر بوده است که حاکی از بالاتر بودن دقت مدل SDSM می باشد. بر اساس یافته های مطالعه، سطح معنی داری اختلاف داده های مشاهده شده و شبیه سازی شده طبق آزمون ناپارامتری من-ویتنی در دو مدل یکسان بود. تعداد ماه های با همبستگی معنی دار در مدل SDSM بیش از مدل دیگر بوده است.

واژه های کلیدی: آزمون من-ویتنی، بارش، دما، مولد داده هواشناسی، ایران

مقدمه

پیش بینی عددی کوتاه مدت وضع هوا ارائه می شود. دومین روش استفاده از مدل های اقلیمی منطقه ای (RCM)^۶ است که همان مدل گردش عمومی جو (GCM) محدود شده در یک زیرشبکه از شبکه مدل جهانی است و به روش دینامیکی از تغییرات زمانی شرایط جوی طبق مدل GCM استفاده می کند. هر دو روش نقش مهمی در تعیین پتانسیل اثرات تغییر اقلیم ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه ای ایفا می کنند. پژوهش های زیادی جهت استفاده از این روش ها برای ریزمقیاس نمودن خروجی مدل های جهانی در مناطق مختلف انجام شده است که در آن ها عملکرد مدل مورد بررسی قرار گرفته و تحلیل های عدم قطعیت روی این روش ها اعمال شده است و یا با روش های آماری دیگر مورد مقایسه قرار گرفته است (ساروار و همکاران^۷، ۲۰۱۰؛ گودرزی و همکاران، ۲۰۱۵؛ سجاد خان و همکاران^۸، ۲۰۰۶). ویلی و همکاران^۹ (۲۰۰۲) در مقاله خود مزایای این روش ریزمقیاس نمایی و

ارتباط دادن تفکیک پذیری مدل های اقلیمی جهانی با مقیاس محلی یک فرآیند خرد اقلیم شناسی است که خود یک مسئله قابل توجه است. اخیراً تلاش های زیادی از طرف مجامع اقلیم شناسی برای توسعه روش های ریزمقیاس نمایی دینامیکی و آماری برای بیان تغییر اقلیم در یک مقیاس محلی و منطقه ای صورت گرفته است. دو روش کلی جهت ریزمقیاس نمایی خروجی مدل های گردش عمومی جو (GCM)^۴ به کار می رود. اولین، استفاده از روش های آماری است که در آن یک خروجی از مدل آماری (MOS)^۵ و یک رویکرد برنامه ریزی شده برای

^۱ دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

(*نویسنده مسئول: sobhaniardabil@gmail.com)

^۲ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

^۳ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه

زنجان

^۶ Regional Circulation Model

^۷ Sarwar et al.

^۸ Sajjad Khan et al.

^۹ Wilby et al.

^۴ General Circulation Model

^۵ Model Output Statistics

SDSM و روش شبکه‌های عصبی (ANN) را برای پیش‌بینی بلندمدت بارش در ۵ ماه از سال (دسامبر تا آوریل) در جنوب شرقی ایران مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که روش SDSM عملکرد بهتری نسبت به روش ANN دارد. اشرف و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 را با به کارگیری مدل LARS-WG تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 ریزمقیاس شده و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان بارش در سه فصل پاییز، زمستان و بهار در تمام شهرهای استان به جز تربت جام در سه فصل و کاشمر در پاییز روند کاهش دارند، افزایش خواهد یافت. دمای کمینه و بیشینه در کل استان افزایش داشته و ساعات آفتابی در ۲۰ سال آتی کاهش خواهد یافت. دهقانی پور و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه خود توانمندی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM را با استفاده از بررسی همبستگی ماهانه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در تولید داده‌های بارش، دما و تبخیر در ایستگاه هواشناسی همدیدی تبریز مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل SDSM توانایی مناسبی در کوچک مقیاس نمودن داده‌های دما، تبخیر و بارش دارد. ژائوفی و همکاران^۴ (۲۰۱۱) دو مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری را شامل مدل مارکف پنهان ناهمگن (NHMM)^۵ و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) روی پیش‌بینی داده‌های بارش روزانه دریاچه خشک شده رودخانه تاریم در چین مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادند. ابزار مقایسه در این مطالعه توابع باقی‌مانده، تحلیل‌های همبستگی و توابع چگالی و توزیع احتمالی بودند. نتایج نشان داد که هر دو روش با کمی اختلاف عملکرد در مرحله پردازش و اعتبارسنجی مدل، پایداری لازم را دارند. همچنین عملکرد روش NHMM کمی بهتر از SDSM در شبیه‌سازی بارش ماهانه است به طوری که کاربر قادر خواهد بود بارش را به خوبی برای همه ماه‌ها شبیه‌سازی نماید. اما هر دو مدل NHMM و SDSM به دلیل مؤلفه‌های تصادفی در مدل‌بندی مقادیر بارش، در ریزمقیاس کردن سری‌های سالانه بارش دقت کمتری

روش انجام کار با مدل SDSM را شرح دادند. در آخر این روش را برای پیش‌بینی داده‌های بارش و دمای روزانه شهر تورنتوی کانادا در دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ به کار بردند. با مقایسه نتایج مدل CGCM1^۱ و خروجی ریزمقیاس‌شده آن به وسیله مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM، مشخص شد که تغییرات بارش دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نسبت به دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ برای مدل SDSM افزایش ۹ درصدی را در مقابل افزایش ۳ درصدی مدل CGCM1 نشان داد و برای دما نیز مدل CGCM1 افزایش بیشتری را نسبت به مدل SDSM نشان داده است (۳/۲) درجه برای CGCM1 و ۲/۹ درجه برای مدل SDSM). سجاد خان و همکاران (۲۰۰۶) سه روش ریزمقیاس‌نمایی که عبارتند از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM)، مدل مولد آب و هوایی ایستگاه تحقیقاتی لانگ آستن (LARS-WG) و مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۲ را از طریق طریق آزمون‌های عدم قطعیت برای سه پارامتر بارش روزانه، حداقل و حداکثر دمای روزانه مورد مقایسه قرار دادند. در این مطالعه از آزمون ناپارامتری آماری ویلکاکسون برای مقایسه داده‌های مشاهده شده و ریزمقیاس شده در ماه‌های مختلف برای دو ایستگاه در منطقه‌ای کوچک در کانادا استفاده شده است. نتایج نشان داد که با اطمینان ۹۵٪ روش SDSM بهترین کارایی و روش ANN کمترین کارایی را داشته و روش LARS-WG در حد وسط قرار دارد. بابائیان و همکاران (۱۳۸۶) ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G^۳ با به کارگیری مدل LARS-WG مدل‌سازی کردند. با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG خروجی مدل گردش عمومی جو ECHO-G را با سناریوی A1 برای دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ بر روی ۴۳ ایستگاه همدیدی ایران ریزمقیاس نمودند. نتایج حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد بود که بیشترین افزایش دما مربوط به ماه‌های سرد سال حاصل شد. کارآموز و همکاران (۲۰۰۹) دو روش ریزمقیاس‌نمایی

^۴ Zhaofei et al.

^۵ Nonhomogeneous hidden Markov model

^۱ Canadian Climate Center's Model

^۲ Artificial Neural Network

^۳ ECHAM4+HOPE (Hamburg Ocean Primitive Equation)

دارند. مینو و همکاران^۱ (۲۰۱۲) از یک مدل هیدرولوژیکی (HEC-HMS 3.4) برای مدل‌بندی هیدرولوژیک منطقه رودخانه تونگا- بهادرا در هندوستان و از روش ریزمقیاس نمایی SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 جهت پیش‌بینی دماهای حداقل و حداکثر و بارش روزانه برای دوره‌های آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ در منطقه مورد مطالعه استفاده کردند. نتایج مطالعه بیان آب، افزایش بارش و رواناب و کاهش تلفات تبخیر تعرق واقعی را روی منطقه مورد مطالعه نشان داد. رجی و شعبانلو (۲۰۱۲) از مدل SDSM برای ارزیابی تغییر اقلیم منطقه کرمانشاه در غرب ایران و اثر آن بر شاخص‌های اقلیمی همچون جانسن، کرنر و دومارتن استفاده کردند. در این مطالعه با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 و با در نظر گرفتن سناریوهای انتشار A2 و B2 در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۱، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۷ تغییرات شاخص‌های اقلیمی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اقلیم منطقه به خصوص در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۷ خشک‌تر خواهد شد و این تغییر برای سناریوی A2 محسوس‌تر است. چیمما و همکاران^۲ (۲۰۱۳) عملکرد مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM را روی روند داده‌های حداقل دمای ایستگاه‌های کشور پاکستان را در دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که طبق آزمون من کندال روند افزایشی حداقل دمای سالانه معنی‌دار است. علاوه بر آن تحلیل‌ها نشان داد که تطابق خوبی بین داده‌های دمای مدل شده و داده‌های واقعی وجود دارد علاوه بر آن ضریب همبستگی پیرسون برای اکثر نواحی بالای ۹۰ درصد بود. روش‌های آماری مختلف برای بررسی روند به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که تغییر معنی‌دار اقلیمی بیشتر در نواحی شمالی کشور پاکستان رخ داده است. کازمی و همکاران^۳ (۲۰۱۴) مدل SDSM را برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی دمای روزانه مدل جهانی ECHAM5^۴ به کار بردند. نتایج نشان داد که داده‌های ریزمقیاس‌شده خیلی دقیق‌تر از داده‌های مدل ECHAM5 است. ضریب همبستگی داده‌های ریزمقیاس‌شده با داده‌های مشاهده‌شده بین ۸۱

تا ۹۴ درصد است این درحالی است که همین همبستگی برای داده‌های مدل جهانی بین ۷۳ تا ۸۷ درصد است. نوری و آلام^۵ (۲۰۱۴) مدل SDSM را روی داده‌های مشاهداتی دما و بارش روزانه از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ با استفاده از مدل جهانی HadCM3 تحت سناریوی A2 به کار برد. در این مقاله از شاخص درصد اریبی (PBIAS)، شاخص کفایت نش- ساتکلیف (NSE) و شاخص اصلاح شده تطابقی برای ارزیابی داده‌های بارش و دمای ریزمقیاس‌شده استفاده شده است. مقدار شاخص PBIAS دمای ریزمقیاس‌شده حداقل بوده (۰/۳۰٪-)، شاخص NSE (۰/۸۰) و شاخص اصلاح شده تطابقی (۰/۸۳) بالاترین حد برای دمای حداکثر روزانه در ایستگاه سیلحت بنگلادش بوده است. در میان پنج ایستگاه باران‌سنجی شاخص PBIAS بارش ریزمقیاس‌شده دارای مقدار حداقل (۰/۳۱٪)، NSE (۰/۷۶) و شاخص اصلاح شده (۰/۷۹) بالاترین حد را در ایستگاه کانایرقات داشته است. داده‌های دما و بارش ریزمقیاس‌شده با داده‌های مشاهده‌شده تقریباً مطابقت داشته‌اند. ساروار و همکاران (۲۰۱۰) اثرات تغییر اقلیم را بر حوضه آبریز رود تایمز با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM، LARS-WG و KnnCAD^۶ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل SDSM برای دماهای حداقل و حداکثر عملکرد بهتری نسبت به دو مدل دیگر دارد ولی برای بارش مدل LARS-WG ترجیح داده می‌شود. ردی و همکاران^۷ (۲۰۱۴) اثرات تغییر اقلیم را با استفاده از مدل LARS-WG در منطقه آندرا پرادش هند مورد ارزیابی قرار دادند. در این بررسی که دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۸۰ به عنوان دوره پایه در نظر گرفته شده است، ضمن بررسی اعتبار مدل و تأیید شبیه‌سازی بارش و دماهای حداقل و حداکثر، به این نتیجه رسیدند که تا سال ۲۰۳۰ حداکثر افزایش متوسط بارش سالانه ۵/۱۶ درصد و تا سال ۲۰۶۰ این افزایش ۹/۵ درصد خواهد شد. حداکثر دما تا سال ۲۰۳۰ به میزان ۱/۵۳ درصد و تا سال ۲۰۶۰ به مقدار ۲/۵ درصد افزایش می‌یابد ولی برای حداقل دما کاهش ۴ تا ۱۰ درصدی تا سال ۲۰۳۰ و کاهش ۶ تا ۱۲ درصدی تا

^۵ Nury and Alam^۶ Percent Bias^۷ Nash-Sutcliffe efficiency^۸ K nearest neighbours CAD^۹ Reddy et al.^۱ Meenu et al.^۲ Cheema et al.^۳ Kazmi et al.^۴ European Centre Hamburg for Atmosphere Model

که برای پارامتر بارش مدل SDSM عملکرد بهتری نسبت به مدل LARS-WG داشته است در حالی که نتایج مطالعات ساروار و همکاران (۲۰۱۰) در منطقه رود تایمز حاکی از عملکرد بهتر مدل LARS-WG برای بارش است. همچنین ژائوفی و همکاران (۲۰۱۱) در ارزیابی تغییر اقلیم در منطقه‌ای در چین به این نتیجه رسیدند که مدل مارکف پنهان عملکرد بهتری نسبت به مدل SDSM داشته است. بنابراین این فرضیه را می‌توان در نظر گرفت که عملکرد روش ریزمقیاس‌نمایی با ناهمواری‌ها و اقلیم منطقه مورد نظر ارتباط معنی‌داری دارد؛ همان طور که رسولی و همکاران (۱۳۹۳) برای مدل LARS-WG برای منطقه شمال غرب به چنین نتیجه‌ای رسیدند. لذا استفاده از فقط یک روش ریزمقیاس‌نمایی، مناسب به نظر نمی‌آید و دارای عدم قطعیت‌های زیادی است. به همین دلیل در اکثر مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم، از چند روش ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود و عملکرد آن‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرد تا به کمترین عدم قطعیت برسند. در این میان مدل LARS-WG به عنوان یک مدل مولد تصادفی هواشناسی، مدل SDSM به عنوان مدلی با رویکرد رگرسیونی از روش‌های پرکاربردی است که در اکثر مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به حساسیت شمال غرب کشور به پدیده تغییر اقلیم، در این پژوهش توانایی دو مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی بارش روزانه، کمینه و بیشینه دمای روزانه منطقه شمال غرب ایران مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نتایج این پژوهش می‌تواند به برآورد صحیح چشم‌انداز تغییر اقلیم آبی این منطقه کمک نماید.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش منطقه شمال غرب ایران، شامل استان‌های آذربایجان‌های شرقی و غربی، اردبیل، زنجان و قسمتی از کردستان مورد مطالعه قرار گرفته است که بین مختصات جغرافیائی ۴۴ تا ۴۹ درجه طول شرقی و ۳۶ تا ۳۹ درجه عرض شمالی، واقع شده است. جهت بررسی اثر تغییر اقلیم در منطقه با استفاده از مدل‌های آماری ذکر شده نیاز به حداقل دوره آماری پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ است. دلیل انتخاب این دوره این است که در گزارشات تحلیلی هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم این دوره به عنوان دوره پایه انتخاب شده است و آنومالی‌ها براساس این دوره محاسبه

سال ۲۰۶۰ را نشان می‌دهد. رسولی و همکاران (۱۳۹۳) اثر عوامل مرفو- اقلیمی را بر دقت ریزمقیاس‌نمایی مدل LARS-WG را در منطقه شمال غرب ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دقت مدل در هفت ایستگاه انتخابی با هم متفاوت بوده ولی شبیه‌سازی دما با دقت مناسب‌تری انجام گردید. منتهی در برآورد بارش از دقت کمتری برخوردار بوده و در بین ایستگاه‌ها نیز متفاوت است. رابطه دمای حداقل و حداکثر با ارتفاع ایستگاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار و با بقیه عوامل رابطه معنی‌داری نتیجه نداده است. خطای بارش برآورد شده با فاصله از مرکز سلول HadCM3 معنی‌دار و با بقیه عوامل مدل همبستگی نداشته است. گودرزی و همکاران (۲۰۱۵) از دو روش عامل تغییر (CF)^۱ و LARS-WG برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آبی در حوضه آبخیز رودخانه اعظم هرات یزد استفاده کرد. به این منظور از مدل CGCM3-AR4^۲ و سناریوی انتشار A2 تحت دو روش ریزمقیاس‌نمایی عامل تغییر و LARS-WG استفاده شده است. نتایج نشان از افزایش دما در حوضه آبخیز مورد مطالعه تحت هر دو روش ریزمقیاس‌نمایی دارد. متوسط دمای به دست آمده از هر دو روش در دوره آبی اختلاف ۳ تا ۴ درصد را نشان داد. از طرف دیگر بارندگی در کل حوزه بسته به شرایط جوی افزایش و کاهش قابل ملاحظه‌ای از خود نشان داده به طوری که در دوره آبی اختلاف بارش ناشی از دو روش ریزمقیاس‌نمایی حدود ۳۳ درصد بوده است. هاشمی و همکاران (۲۰۰۹) مدل LARS-WG را جهت ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل تغییر اقلیم HadCM3 در دوره آینده ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بر اساس سناریوی A2 در منطقه اکلند کشور نیوزلند به کار بردند. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG ابزار قابل قبول برای شبیه‌سازی رخداد‌های حدی بارش بوده و می‌تواند به عنوان یک ابزار مهم برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم استفاده شود. با توجه به مطالعات مورد بررسی مشخص می‌شود که مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG بیشترین کاربرد را در مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم داشته‌اند و عملکرد و نتایج متفاوتی در مناطق مورد مطالعه خود داشته‌اند. برای مثال سجاد خان و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه خود در کانادا به این نتیجه رسیدند

^۱ Change Factor

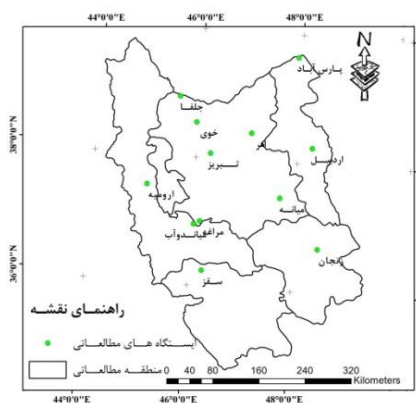
^۲ Assessment Report

منطقه دارای چند سال خلاء آماری هستند. با این حال در صورت نبود داده، آن‌ها به عنوان داده‌های گمشده تعریف شده و وارد مدل می‌شوند. مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۱) و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

می‌شوند (هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳). جهت تکمیل دوره آماری علاوه بر استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی از ایستگاه‌های اقلیم شناسی قدیم که داده‌های آن مورد تأیید سازمان هواشناسی کشور است کمک گرفته شده است؛ هر چند بعضی از ایستگاه‌های

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه واقع در منطقه شمال غرب ایران

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری	تعداد سال‌های دارای خلاء آماری
۱	تبریز	۴۶° ۱۷' E	۳۸° ۰۵' N	۱۳۶۴	۱۹۵۱-۲۰۱۲	۰
۲	اهر	۴۷° ۰۴' E	۳۸° ۲۶' N	۱۳۹۱	۱۹۶۴-۲۰۱۲	۳
۳	جلفا	۴۵° ۲۶' E	۳۸° ۵۶' N	۷۳۶	۱۹۶۶-۲۰۱۲	۵
۴	میانه	۴۷° ۴۲' E	۳۷° ۲۷' N	۱۱۱۰	۱۹۶۳-۲۰۱۲	۲
۵	مراغه	۴۶° ۱۰' E	۳۷° ۱' N	۱۳۴۴	۱۹۶۲-۲۰۱۲	۱
۶	ارومیه	۴۵° ۰۵' E	۳۷° ۳۲' N	۱۳۱۶	۱۹۵۱-۲۰۱۲	۰
۷	خوی	۴۵° ۵۸' E	۳۸° ۳۳' N	۱۱۰۳	۱۹۶۱-۲۰۱۲	۰
۸	زنجان	۴۸° ۲۹' E	۳۶° ۴۱' N	۱۶۶۳	۱۹۵۴-۲۰۱۲	۰
۹	اردبیل	۴۸° ۱۷' E	۳۸° ۱۵' N	۱۳۳۲	۱۹۶۱-۲۰۱۲	۰
۱۰	پارس آباد	۴۷° ۵۵' E	۳۹° ۳۹' N	۳۲	۱۹۶۲-۲۰۱۲	۶
۱۱	میاندوآب	۴۶° ۰۳' E	۳۶° ۵۸' N	۱۳۰۰	۱۹۶۱-۲۰۱۲	۰
۱۲	سقز	۴۶° ۱۶' E	۳۶° ۱۵' N	۱۵۲۳	۱۹۶۱-۲۰۱۲	۰



شکل ۱- موقعیت منطقه شمال غرب ایران و ایستگاه‌های مورد مطالعه

۱۹۹۰-۱۹۶۱ با هم مقایسه شده‌اند. تاکنون دو رویکرد برای روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری ارائه شده است. رویکرد اول استفاده از مولدهای تصادفی آب و هوایی است که بر اساس مدل‌های سری زمانی و سری‌های فوریه ارائه می‌شود. یکی از روش‌هایی که بر اساس این رویکرد بنا شده است، مدل آماری LARS-WG است (رسکو و همکاران^۲، ۱۹۹۱). در این مدل از توزیع‌های نیمه تجربی برای سری‌های روزانه خشک و تر بارش و تشعشع خورشیدی استفاده مطلوب شده است. دماهای حداقل و حداکثر روزانه به عنوان فرآیندهای تصادفی با میانگین‌های روزانه و انحراف معیارهای روزانه در نظر گرفته می‌شوند. دوره‌های فصلی

متغیرهای بزرگ‌مقیاس پیش‌بینی کننده که در برآزش مدل SDSM استفاده می‌شود، از سایت مرکز ملی پیش‌بینی محیطی آمریکا (NCEP)^۱ برای دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۱ دریافت شدند. این متغیرهای بزرگ‌مقیاس هواشناسی شامل ۲۶ متغیر مشتقات فشار، رطوبت، دما، جهت و سرعت باد در سطوح مختلف است. برای مدل SDSM دوره ۱۹۸۰-۱۹۶۱ به عنوان دوره کالیبراسیون و دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۱ به عنوان دوره اعتبارسنجی مدل انتخاب شده است. برای مدل مولد تصادفی LARS-WG نیز از دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به عنوان ورودی مدل استفاده شده است. در نهایت خروجی داده‌های دو مدل در دوره مشترک

² Resko et al.

¹ National Centre Environment Prediction

ثابت می‌شود که $W_{XY} = W_S - \frac{n(n+1)}{2}$ و $W_{YX} = W_S - \frac{n(n+1)}{2}$ که در آن‌ها شرایط معادله ۳ برقرار است.

$$W_S = \sum_{i=1}^n S_i \quad (3)$$

$$W_R = \sum_{j=1}^n R_j$$

S_i ها و R_j به ترتیب رتبه‌های داده‌های X و Y هستند. برای تحلیل همبستگی داده‌های مشاهده شده و تولید شده مدل می‌توان از آزمون همبستگی پیرسون استفاده کرد. پایه کار تحلیل همبستگی براساس ضریب همبستگی خطی دو متغیر مربوطه است. بر اساس معادله ۴، اگر X و Y دو متغیر تصادفی باشند، و n نمونه از هر کدام از این متغیرها مشاهده شوند آنگاه ضریب همبستگی خطی پیرسون (r) برای دو متغیر X و Y بر اساس معادله ۵ به دست می‌آید (شهرآشوب و میکائیلی، ۱۳۶۷).

$$X: X_1, X_2, \dots, X_n \quad (4)$$

$$Y: Y_1, Y_2, \dots, Y_n$$

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

مقدار r بین ۱ و -۱ است. به طوری که مقادیر نزدیک به ۱ و -۱ به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی زیاد مثبت و منفی است ولی اگر نزدیک صفر باشد، نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن همبستگی یا استقلال دو متغیر مربوطه است. اما از کدام مقدار به بعد همبستگی معنی‌دار است؟ برای پاسخ به این سؤال، آزمون معنی‌داری همبستگی انجام می‌دهند. بر اساس این آزمون اگر احتمال مقدار $|t|$ (مقدار P_Value) کوچکتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ یا ۰/۰۱ باشد، نشان‌دهنده معنی‌داری همبستگی دو متغیر است که در آن مقدار t به صورت معادله ۶ است.

$$t = \frac{\sqrt{n-2}r}{\sqrt{1-r^2}} \quad (6)$$

یکی از شاخص‌های مهم که برای ارزیابی کارایی مدل استفاده می‌شود، شاخص ریشه میانگین مربعات خطای مدل (RMSE)^۱ است که به صورت معادله ۷ تعریف می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{N}} \quad (7)$$

در معادله ۷ مقادیر O_i و E_i به ترتیب مربوط به داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده مدل هستند.

میانگین‌ها به وسیله سری‌های فوریه متناهی مرتبه ۳ مدل‌بندی می‌شوند و باقی‌مانده‌های مدل (خطاهای مدل) به وسیله یک توزیع نرمال تقریب زده می‌شود. رویکرد دوم که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده از مدل‌های رگرسیونی یا تابع انتقال است که در آن با استفاده از رابطه بین پارامترهای مختلف جوی و سینوپتیک (متغیرهای پیش‌بینی‌کننده) و پارامتر اقلیمی که لازم است دورنمایی از آن در آینده داشته باشیم (متغیر پیش‌بینی شونده) یک تابع انتقال ارائه می‌شود. یکی از مدل‌هایی که براساس ترکیبی از دو رویکرد اخیر پایه‌ریزی شده مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) است. این مدل داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه مورد نظر را به عنوان ورودی گرفته و در هفت مرحله خروجی مدل GCM را بر اساس داده‌های روزانه در منطقه مورد نظر ریزمقیاس می‌نماید. هفت مرحله مذکور شامل کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها، بررسی و انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، برازش مدل، تولید داده‌های آب و هوایی، تحلیل داده‌ها، تحلیل نموداری و تولید سناریو می‌باشند. جهت مقایسه داده‌های تولید شده مدل و مشاهدات می‌توان از آزمون ناپارامتری مقایسه میانگین‌های دو جامعه که آزمون رتبه‌ای ویلکاکسن یا من-ویتی نام دارد استفاده کرد. این آزمون که برای بررسی فرض مساوی بودن میانگین‌های دو جامعه ($\mu_1 - \mu_2 = 0$) پایه‌ریزی شده است، این‌گونه تعریف می‌شود که دو نمونه تصادفی X_1, X_2, \dots, X_n و Y_1, Y_2, \dots, Y_n در نظر گرفته می‌شود. تمام دوتایی‌های (X_i, Y_j) را که تعداد آن‌ها mn عدد می‌باشد، تشکیل داده می‌شود که در هر جفت $(X_i < Y_j)$ یا $(X_i > Y_j)$ می‌باشد (شهر آشوب و میکائیلی). سپس آماره‌های W_{YX} و W_{XY} به صورت معادله ۱ تعریف می‌شوند.

$$W_{XY} = \text{تعداد } (X_i, Y_j) \text{ ها با فرض } X_i < Y_j \quad (1)$$

$$W_{YX} = \text{تعداد } (X_i, Y_j) \text{ ها با فرض } X_i > Y_j$$

دو آماره شمارشی W_{YX} و W_{XY} را که مجموع آن‌ها برابر با mn است، آماره‌های من ویتی می‌نامند. واضح است که در آزمون (۲)

$$H_0: \text{مقادیر داده‌های } Y \text{ برابر با داده‌های } X \text{ است} \quad (2)$$

$$H_1: \text{مقادیر داده‌های } Y \text{ بزرگتر از داده‌های } X \text{ است}$$

فرض H_0 زمانی رد می‌شود که W_{XY} خیلی بزرگ شود، یعنی تعداد زیادی از Y_i ها بزرگتر از X_i ها شوند.

¹ Root Mean Square Error (RMSE)

روش LARS-WG خروجی مدل شامل ۵۰ بار تولید داده‌های روزانه دما و بارش در ۳۶۵ روز سال برای دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ میلادی است. از آنجا که ارزیابی‌های تغییر اقلیم به صورت ماهانه است، خروجی داده‌های دو مدل برای ۱۲ ایستگاه به طور ماهانه تنظیم شده و با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. قبل از مقایسه دقیق، برای مثال، داده‌های مشاهداتی و داده‌های برآورد شده دو مدل برای ماه ژانویه ایستگاه تبریز برای پارامترهای پیش‌بینی شونده حداقل و حداکثر دما و بارش در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. برای داده‌های تولید شده مدل LARS-WG لازم به ذکر است که واریانس داده‌های تولید شده متورم شده‌اند. نتیجه کلی که می‌توان از شکل‌های ۳ تا ۵ گرفت این است که داده‌های تولید شده مدل SDSM همبستگی بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد به خصوص این موضوع برای داده‌های دما محسوس‌تر است. بنابراین انتظار می‌رود که مجموع خطای این مدل کمتر باشد. جهت بررسی دقیق‌تر عملکرد و خطای دو مدل ریزمقیاس‌نمایی از دو آزمون ناپارامتری من-ویتنی و همبستگی استفاده شده است. این دو آزمون برای هر ماه برای ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه انجام شده است. آزمون من-ویتنی برای بررسی معنی‌داری اختلاف داده‌های مشاهداتی و تولید شده مدل انجام می‌شود و آزمون همبستگی برای بررسی میزان معنی‌دار بودن همبستگی این داده‌ها با یکدیگر ارائه می‌شود. علاوه بر انجام این دو آزمون شاخص مجذور میانگین مربع خطاهای ماهانه دو مدل محاسبه شده است. نتایج کلی دو آزمون مذکور و شاخص محاسبه شده برای پارامترهای پیش‌بینی شونده حداقل و حداکثر دما و بارش به ترتیب برای ۱۲ ایستگاه در جداول ۳ تا ۵ آورده شده است. آزمون‌ها برای ۱۲ ماه به طور جداگانه برای هر ایستگاه انجام شده است و خلاصه آن در جداول ۳ تا ۵ داده شده است. همان‌طور که از جداول ۳ تا ۵ مشخص است، تعداد ماه‌هایی که بر اساس آزمون من-ویتنی اختلاف داده‌های مشاهداتی و تولید شده مدل در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ معنی‌دار (احتمال معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵) هستند و همچنین تعداد ماه‌هایی که بر اساس آزمون همبستگی، داده‌ها دارای همبستگی معنی‌دار هستند، ارائه شده است.

هرچه مقدار RSME به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده عملکرد بالای مدل ریزمقیاس‌نمایی است.

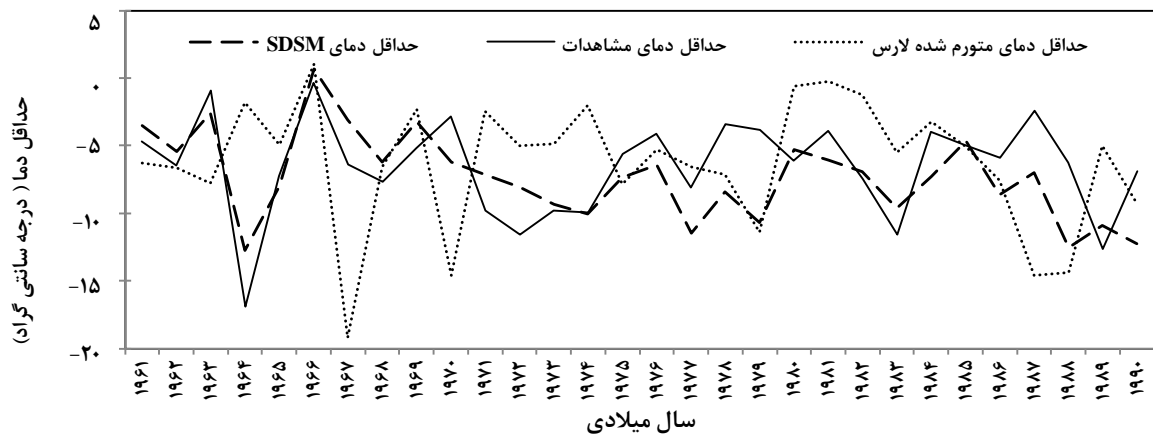
نتایج و بحث

کارایی مدل‌ها و تحلیل عدم قطعیت نتایج

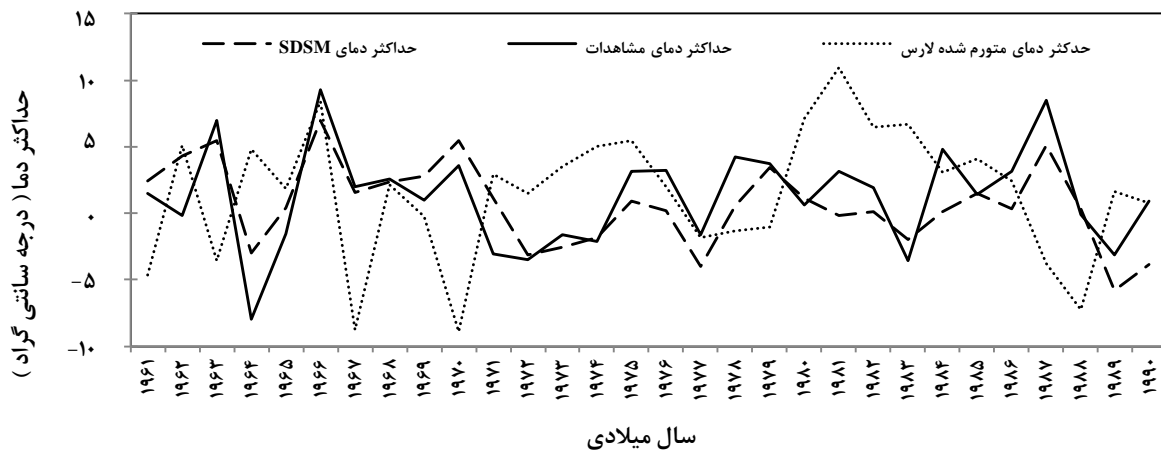
در مدل SDSM ابتدا داده‌های روزانه ایستگاه‌ها مورد کنترل کیفی قرار می‌گیرد و در صورت لزوم تبدیل داده‌ها انجام می‌شود. در این مطالعه داده‌های بارش روزانه به دلیل داشتن مقادیر بسیار زیاد صفر، توزیع آماری داده‌ها دارای چوله بوده و در نتیجه توزیع آن‌ها خارج از نرمال است (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین برای برآزش بهتر مدل از تبدیل توان یک چهارم برای ایستگاه‌ها استفاده شده است تا توزیع داده‌ها به نرمال نزدیک شود. پس از کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها، بررسی و انتخاب بهترین پیش‌بینی‌کننده متغیرهای سینوپتیکی برای متغیر پیش‌بینی شونده انجام می‌شود. تحلیل‌ها نشان داد که برای پارامتر بارش در اکثر ایستگاه‌ها پیش‌بینی‌کننده‌های غالب، متغیرهای بزرگ‌مقیاس میانگین فشار سطح دریا (MSlp)، سرعت مداری سطح زمین (p_u)، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ (p500) و مؤلفه‌های رطوبتی ارتفاع ۵۰۰ و ۸۵۰ (r_{850} ، r_{500}) بیشترین همبستگی را داشته‌اند. برای پارامتر حداقل و حداکثر دما نیز بیشترین همبستگی مربوط به متغیرهای بزرگ‌مقیاس میانگین فشار سطح دریا (MSlp)، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ (p500) و میانگین دمای دو متری (p_{temp}) بوده است. برای مثال نتایج تدوین مدل برای سه پارامتر محلی بارش، حداقل و حداکثر دما برای دو ایستگاه مورد بررسی تبریز و زنجان در جدول (۲) آمده است که در آن مدل به طور ماهانه بررسی شده است. در مرحله بعد مدل رگرسیونی براساس متغیرهای انتخابی جدول (۲) برای هر پارامتر محلی و برای هر ماه واسنجی شد. میانگین ماهانه ضریب همبستگی چندمتغیره مدل برای هر پارامتر در سطر آخر جدول آمده است. در بعضی از ماه‌ها مدل دارای همبستگی بالا بوده و در بعضی ماه‌ها مثل بارش در ماه‌های کم بارش دارای همبستگی کمی هستند. دلیل این امر را می‌توان در تصادفی بودن متغیر بارش جستجو کرد. دلیل دوم این است که داده‌های NCEP برای منطقه مورد مطالعه ممکن است خوب درون‌یابی نشده باشد. در

جدول ۲- خروجی واسنجی مدل SDSM برای پیش‌بینی شونده‌های دما و بارش روزانه برای ایستگاه‌های تبریز و زنجان

ایستگاه زنجان		ایستگاه تبریز		توضیح	متغیر پیش‌بینی کننده برگرفته از داده‌های NCEP	
حدافل دما	حداکثر دما	حدافل دما	حداکثر دما			
×	×	×	×	میانگین فشار سطح دریا	Mslp	
				سرعت مداری نزدیک سطح	P_u	
		×		تاوایی نزدیک سطح	p_z	
		×		تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	P5_z	
×	×	×	×	ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	P500	
			×	رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	Pr500	
			×	ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال	P850	
	×	×	×	رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال	Pr850	
×	×	×	×	میانگین دمای دومتري	P_temp	
۰/۵۸۱	۰/۷۳۰	۰/۱۶۱	۰/۶۳۴	۰/۷۶۷	۰/۱۶۲	میانگین ضریب همبستگی ماهانه مدل



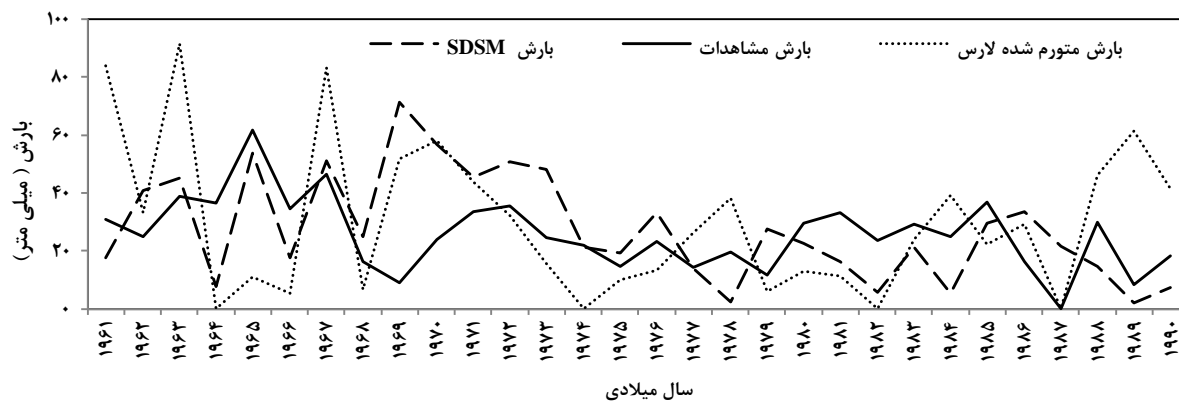
شکل ۳- میانگین حدافل دمای ماه ژانویه ایستگاه تبریز برای داده‌های مشاهده‌ای، داده‌های تولید شده مدل SDSM و مدل LARS-WG طی دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰



شکل ۴- میانگین حداکثر دمای ماه ژانویه ایستگاه تبریز برای داده‌های مشاهده‌ای، داده‌های تولید شده مدل‌های SDSM و LARS-WG طی دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰

مشاهده شده و تولید شده دو مدل در اکثر ماه‌ها در ۱۲ ایستگاه وجود ندارد به جز اینکه برای مدل SDSM برای بعضی از ایستگاه‌ها یک یا دو ماه اختلاف معنی‌دار است البته دقت مدل را می‌توان با انتخاب بهتر پیش‌بینی کننده‌ها بالا برد.

در ستون آخر نیز شاخص RMSE ماهانه برای هر مدل محاسبه شده است. در سطر آخر نیز میانگین وضعیت آزمون‌ها و شاخص ۱۲ ایستگاه آورده شده است. با توجه به جدول ۳ مشخص می‌شود که طبق آزمون مقایسه‌ای من-ویتی اختلاف معنی‌دار داده‌های میانگین حدافل دمای



شکل ۵- بارش ماه ژانویه ایستگاه تبریز برای داده‌های مشاهده‌ای، داده‌های تولید شده مدل SDSM و LARS-WG طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱

سال است. البته بعضی از ایستگاه‌ها مثل تبریز ۶ ماه از سال نیز همبستگی معنی‌دار دارد.

جدول ۳- نتایج آزمون‌های مقایسه‌ای، همبستگی و شاخص خطای ماهانه میانگین حداقل دمای مدل‌های SDSM و LARS-WG برای ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱

RMSE	تعداد ماه‌های		ایستگاه
	تعداد ماه‌های با همبستگی معنی‌دار	با اختلاف معنی‌دار در آزمون من ویتنی	
۲/۰۲۴	۲	۰	LARS-WG
۱/۸۴۲	۱۲	۱	SDSM
۲/۸۶۲	۰	۱	LARS-WG
۳/۰۰۷	۴	۲	SDSM
۲/۶۴۴	۰	۰	LARS-WG
۲/۴۱۹	۹	۲	SDSM
۲/۴۹	۰	۰	LARS-WG
۲/۲۱۷	۸	۰	SDSM
۲/۳۶۷	۰	۱	LARS-WG
۲/۵۱۳	۴	۰	SDSM
۲/۲۲	۰	۰	LARS-WG
۲/۴۹۹	۸	۰	SDSM
۱/۹۲۳	۱	۰	LARS-WG
۱/۸۷۱	۹	۱	SDSM
۲/۳۰۳	۱	۰	LARS-WG
۲/۱۵۶	۷	۰	SDSM
۲/۵۸	۰	۰	LARS-WG
۲/۷۴۵	۵	۱	SDSM
۲/۷۰۴	۰	۰	LARS-WG
۳/۲۶۶	۴	۰	SDSM
۲/۲۳۲	۰	۰	LARS-WG
۲/۲۳۳	۹	۰	SDSM
۲/۹۴۷	۰	۰	LARS-WG
۲/۸۵۸	۶	۲	SDSM
۲/۴۴۱	۰/۳	۰/۲	LARS-WG
۲/۴۶۹	۷/۱	۰/۸	SDSM

طبق جدول میانگین تعداد ماه‌هایی که اختلاف معنی‌دار است، در مدل LARS-WG تقریباً صفر است و برای مدل SDSM این معنی‌داری اختلاف به طور متوسط یک ماه در بین ۱۲ ماه سال است. طبق جدول ۴ و ۵ همین نتایج مشابه برای میانگین حداکثر دمای ماهانه و بارش ماهانه برقرار است. در جدول ۴ میانگین تعداد ماه‌های با اختلاف معنی‌داری داده‌های مشاهده شده و تولید شده دو مدل تقریباً صفر است و برای بارش ماهانه نیز میانگین تعداد ماه‌های معنی‌دار در دو مدل ناچیز است. طبق نتایج آزمون همبستگی در جدول ۳، همبستگی ماهانه داده‌های مشاهده شده و تولید شده برای مدل LARS-WG در اکثر ماه‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه معنی‌دار نیست و این امر نشان‌دهنده عملکرد پایین مدل مذکور از لحاظ همبستگی است. البته این امر به دلیل تصادفی بوده داده‌های تولیدی این مدل است. از طرف دیگر داده‌های تولید شده ماهانه مدل SDSM در اکثر ماه‌ها معنی‌دار است برای مثال برای ایستگاه تبریز همه ماه‌ها دارای همبستگی معنی‌دار هستند. طبق جدول ۳ میانگین تعداد ماه‌های با همبستگی معنی‌دار ۷ ماه در سال است که نشان‌دهنده عملکرد خوب مدل SDSM از این لحاظ است. همین نتیجه کلی برای میانگین حداکثر دمای ماهانه در جدول ۴ برقرار است. به طوری که میانگین ماه‌های با همبستگی معنی‌دار برای مدل LARS-WG فقط یک ماه و برای مدل SDSM نه ماه در سال است. اما معنی‌داری همبستگی داده‌های بارش ماهانه در دو مدل کمتر از دما است. طبق جدول ۵ میانگین تعداد ماه‌های با همبستگی معنی‌دار در مدل LARS-WG یک ماه و برای مدل SDSM سه ماه در

جدول ۵- نتایج آزمون‌های مقایسه‌ای، همبستگی و شاخص خطای ماهانه ی بارش مدل‌های SDSM و LARS-WG برای ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه در دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱

RMSE	تعداد ماه‌های		ایستگاه	
	تعداد ماه‌های با همبستگی معنی دار	با اختلاف معنی دار در آزمون من ویتنی		
۲۷/۸۴	۰	۰	LARS-WG	تبریز
۲۳/۰۸۷	۶	۰	SDSM	
۳۲/۲۳۲	۰	۰	LARS-WG	اردبیل
۲۸/۶۹	۴	۰	SDSM	
۲۸/۴۴	۰	۰	LARS-WG	خوی
۲۶/۹۳۸	۴	۰	SDSM	
۳۱/۱۷۵	۱	۱	LARS-WG	اهر
۲۳/۸۴۴	۴	۰	SDSM	
۳۰/۶۳۷	۱	۰	LARS-WG	پارس آباد
۲۵/۰۹۷	۲	۰	SDSM	
۲۲/۵۹۴	۰	۲	LARS-WG	جلفا
۱۷/۵۸۳	۴	۲	SDSM	
۳۲/۹۱۷	۰	۰	LARS-WG	ارومیه
۲۶/۳۵۹	۴	۰	SDSM	
۲۹/۵۰۲	۲	۰	LARS-WG	زنجان
۲۱/۲۵۹	۴	۱	SDSM	
۳۵/۵۰۲	۲	۰	LARS-WG	مراغه
۲۷/۵۲۷	۳	۱	SDSM	
۳۲/۰۳۷	۱	۱	LARS-WG	میانه
۲۴/۱۹۹	۱	۰	SDSM	
۳۷/۲۷۶	۰	۰	LARS-WG	میاندواب
۳۳/۶۸۸	۰	۴	SDSM	
۴۳/۴۰۵	۲	۰	LARS-WG	سقز
۴۰/۲۹۲	۳	۰	SDSM	
۳۱/۹۶۳	۰/۸	۰/۳	LARS-WG	میانگین
۲۶/۵۴۷	۳/۳	۰/۷	SDSM	

جدول ۴- نتایج آزمون‌های مقایسه‌ای، همبستگی و شاخص خطای ماهانه میانگین حداکثر دمای مدل‌های SDSM و LARS-WG برای ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه در دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱

RMSE	تعداد ماه‌های		ایستگاه	
	تعداد ماه‌های با همبستگی معنی دار	با اختلاف معنی دار در آزمون من ویتنی		
۲/۴۲۸	۱	۱	LARS-WG	تبریز
۱/۶۲۵	۱۲	۰	SDSM	
۳/۷۵۹	۲	۰	LARS-WG	اردبیل
۳/۳۴۷	۶	۱	SDSM	
۲/۸۰۷	۱	۰	LARS-WG	خوی
۱/۸۴۲	۱۲	۰	SDSM	
۲/۷۰۳	۰	۰	LARS-WG	اهر
۲/۰۷۳	۸	۰	SDSM	
۲/۵۳۷	۱	۰	LARS-WG	پارس آباد
۲/۹۹۵	۴	۰	SDSM	
۲/۸۰۶	۰	۰	LARS-WG	جلفا
۳/۰۸۱	۷	۰	SDSM	
۲/۲۹۴	۱	۰	LARS-WG	ارومیه
۱/۶۱۹	۱۲	۰	SDSM	
۲/۵۲۹	۱	۰	LARS-WG	زنجان
۱/۶۳۶	۱۲	۰	SDSM	
۳/۰۷۳	۰	۰	LARS-WG	مراغه
۳/۳۱۶	۷	۰	SDSM	
۲/۹۷۲	۰	۰	LARS-WG	میانه
۲/۹۲	۶	۰	SDSM	
۲/۷۹۴	۰	۰	LARS-WG	میاندواب
۲/۲۳۸	۱۲	۰	SDSM	
۲/۹۶۸	۱	۰	LARS-WG	سقز
۱/۹۹۳	۱۲	۰	SDSM	
۲/۸۰۶	۰/۶	۰/۱	LARS-WG	میانگین
۲/۳۸۲	۹/۲	۰/۳	SDSM	

دلیل این نتایج را می‌توان در ساختار رگرسیونی مدل SDSM جستجو کرد که در آن وضعیت بارش با توجه به تغییرات داده‌های بزرگ‌مقیاس سیکلونی که تأثیر زیادی در رخداد بارش منطقه دارند، برآورد می‌شود.

نتیجه گیری

مطالعات قبلی نشان داده است که مدل‌های مختلفی برای ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل‌های GCM ارائه شده است. مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و مدل مولد آب و هوایی LARS-WG دو مدلی هستند که بیشترین کاربرد را در مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم داشته‌اند و عملکرد و نتایج متفاوتی در مناطق مورد مطالعه خود ارائه داده‌اند. لذا ضروری به نظر می‌آید که این مدل‌ها در مناطق مورد مطالعه مورد بررسی و بازبینی قرار گیرند و

البته در بعضی از ایستگاه‌ها مقدار این شاخص در مدل SDSM کمتر از مدل LARS-WG است و در بعضی از ایستگاه‌های دیگر این رابطه برعکس است و در کل می‌توان نتیجه گرفت که میانگین شاخص RMSE در بین ایستگاه‌ها نزدیک به هم است. می‌توان دلیل این امر را هم‌اقلیم بودن و در نتیجه توزیع یکسان دمای این ایستگاه‌ها دانست. ریشه میانگین مربعات خطای دو مدل طبق جداول ۳ و ۴ برای میانگین ماهانه حداقل و حداکثر دما تا حدودی نزدیک به هم هستند. طبق جدول ۵ مقدار شاخص RMSE برای مدل SDSM در کل ایستگاه‌ها کمتر از مدل LARS-WG است و این امر نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل SDSM است.

روزانه و تشعشع (ساعات آفتابی) روزانه ایستگاه مورد بررسی را به عنوان ورودی گرفته و با استفاده از مدل‌های جهانی تغییر اقلیم (GCM) سناریوی آینده را به عنوان خروجی ارائه می‌دهد. مدل LARS-WG یک مدل خودکار است و نقش کاربر در نتایج مدل کم است. نتیجه کلی که می‌توان از این بررسی گرفت این است که طبق نتایج دو مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و LARS-WG روی ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه شمال غرب، خروجی داده‌های حداقل و حداکثر دمای روزانه و بارش دو مدل اختلاف‌شان از داده‌های مشاهداتی دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ از لحاظ آماری در اکثر ماه‌ها معنی‌دار نبوده و عملکرد دو مدل از این لحاظ یکسان است. اما به همبستگی داده‌های دمای ماهانه مدل SDSM معنی‌دار بوده و بیشتر از مدل LARS-WG است. البته با توجه به اینکه توزیع آماری داده‌های بارش روزانه نرمال نیست، نمی‌توان به نتایج گرفته شده از مدل‌ها اطمینان کرد و پیشنهاد می‌شود به جای استفاده از خود بارش در تحلیل‌ها از تعداد روزهای خشک و تر استفاده شود.

منابع

اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ.، داوری، ک. ۱۳۹۰. پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل (HadCM3) مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. نشریه آب و خاک، ۲۵(۴): ۹۴۵-۹۵۷.

بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، حبیبی نوخندان، م.، زابل عباسی، ف.، ادب، ح.، ملبوسی، ش. ۱۳۸۶. مدل‌سازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO. کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، ۲۴ بهمن ماه، تهران.

دهقانی پور، ا. ح.، حسن‌زاده، م. ج.، عطاری، ج.، عراقی نژاد، ش. ۱۳۹۰. ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی ایستگاه سینوپتیک تبریز). یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۲۰-۱۸ بهمن‌ماه ۱۳۹۰.

عملکردشان مورد مقایسه قرار گیرد. در این بررسی، دو مدل مزبور در منطقه شمال غرب ایران مورد بررسی و توسط آزمون‌های آماری و شاخص RMSE مورد مقایسه قرار گرفتند. جهت بررسی معنی‌داری اختلاف مقادیر ریزمقیاس شده از مشاهدات در دو مدل مورد بررسی، از آزمون ناپارامتری من-ویتنی استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد در کل به لحاظ میزان اختلاف ماهانه داده‌های مشاهداتی و تولید شده پارامترها عملکرد دو مدل نزدیک به هم هستند و در اکثر ۱۲ ماه سال این اختلاف معنی‌دار نیست. اما همبستگی بین داده‌های ماهانه دمای مشاهده شده و تولید شده در مدل SDSM همبستگی بالایی وجود دارد به طوری که برای حداقل دما به طور میانگین ۷ ماه و برای حداکثر دما، ۹ ماه از سال دارای همبستگی معنی‌دار است. در حالی که چنین همبستگی بالایی در مدل LARS-WG وجود ندارد. برای پارامتر بارش ماهانه همبستگی داده‌های مشاهداتی و تولید شده دو مدل کم است هرچند در اینجا نیز همبستگی در مدل SDSM بیشتر از مدل دیگر است (میانگین ۳ ماه در سال). بنابراین در کل می‌توان گفت از لحاظ همبستگی داده‌های مشاهداتی و تولید شده، مدل SDSM عملکرد بهتری دارد. محاسبه شاخص RMSE در دو مدل نشان می‌دهد که برای دمای ماهانه، مقادیر این شاخص برای دو مدل اختلاف چندانی ندارد هرچند بسته به نوع موقعیت ایستگاه این اختلاف‌ها کم و زیاد می‌شود و به طور میانگین برای مدل SDSM، ۲/۵ و برای مدل LARS-WG، مقدار ۲/۶ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به لحاظ شاخص RMSE عملکرد دو مدل برای پارامتر دما یکسان است. اما برای پارامتر بارش ماهانه، مقادیر RMSE در کلیه ایستگاه‌ها برای مدل SDSM کمتر از مدل LARS-WG است به طوری که میانگین شاخص برای مدل SDSM، ۲۶/۵ و برای مدل LARS-WG، ۳۲/۰ است که این امر نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل SDSM از این لحاظ است. نتایج نشان داد که در مدل SDSM انتخاب مناسب پیش‌بینی‌کننده یا متغیرهای وابسته در مدل رگرسیون چند متغیره، نقش مهمی در بالا بردن عملکرد نتایج مدل دارد. بدیهی است که کارایی متخصص هواشناسی در اجرای مدل تأثیر زیادی در این امر دارد. در طرف دیگر مدل LARS-WG یک مدل مولد تصادفی است که داده‌های حداقل و حداکثر دمای روزانه، بارش

- Diversified Region, Pakistan. *Appl. Math.*, 5: 137-143.
- Meenu, R., Rehana, S., Mujumdar, P. P. 2012. Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga-Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM, *Hydrological Processes*, Published online in Wiley Online Library, DOI: 10.1002/hyp.9220.
- Nury, A. H., Alam, M. J. B. 2014. Performance Study of Global Circulation Model HADCM3 Using SDSM for Temperature and Rainfall in North-Eastern Bangladesh. *J. Scientific Res.*, 6 (1), 87-96.
- Rajabi, A., Shabanlou, S. 2012. Climate Index Changes In Future By Using SDSM In Kermanshah, Iran. *J. Environ. Res. Development*, 7(1).
- Reddy, K. S., Kumar, M., Maruthi, V., Umesha, B., Vijayalaxmi, A., Nageswar Rao, C. V. K. 2014. Climate change analysis in southern Telangana region, Andhra Pradesh using LARS-WG model. *Research Articles, Current Sci.*, 107(1): 54-62.
- Resko, P., Szeidl, L., Semenov, M. A. 1991. A serial approach to local stochastic models. *J. Ecol. Modell.*, 57: 27-41.
- Sajjad Khan, M., Coulibaly, P., Dibike Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *J. Hydrol.*, 319: 357-382.
- Sarwar, R., Irwin, S. E., King, L. M., Simonovic, S. P. 2010. Assessment of climatic vulnerability in the Upper Thames River basin: Downscaling with SDSM, *Water Resources Research Report*, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M. 2002. A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environ. Modell. Softw.*, 17: 147-159.
- Zhaofei, L., Zongxue, X., Charles, S. P., Guobin, F., Liu, L. 2011. Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China. *Int. J. Climatol*, 31: 2006-2020.
- رسولی، ع. ا.، رضایی بنفشه، م.، مساح یوانی، ع.، خورشید دوست، ع.، قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۳. بررسی اثر عوامل مرفو- اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل LARS-WG. *نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*، ۸(۲۴): ۹-۱۸.
- سبحانی، ب.، اصلاحی، م.، بابائیان، ا. ۱۳۹۴. کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴(۴۷): ۴۹۹-۵۱۸.
- شهرآشوب، م.، میکائیلی، ف. ۱۳۶۷. مفاهیم و روش‌های آماری. مرکز نشر دانشگاهی.
- Cheema, S. B., Rasul, G., Ali, G., Kazmi, D. H. 2013. A comparison of minimum temperature trends with model projections, Pakistan. *J. Meteorol.*, 8(15).
- Goodarzi, E., Dastorani, M. T., Massah Bavani, A., Talebi, A. 2015. Evaluation of the Change-Factor and LARS-WG Methods of Downscaling for Simulation of Climatic Variables in the Future (Case study: Herat Azam Watershed, Yazd - Iran). *ECOPERSIA*, 3(1).
- Hashmi, M. Z., Shamseldin, A.Y., Melville, B.W. 2009. Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach. 18th World IMACS/ MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009.
- IPCC. 2013. <http://www.climatechange2013.org/spm>
- Karamouz, M., Fallahi, M., Nazif, S., Rahimi Farahan, M. 2009. Long Lead Rainfall Prediction Using Statistical Downscaling and Artificial Neural Network Modeling. *Transaction A: Civil Eng.*, 16(2): 165-172.
- Kazmi, D. H., Rasul G., Li, J., Cheema, S. B. 2014. Comparative Study for ECHAM5 and SDSM in Downscaling Temperature for a Geo-Climatically



Comparison of SDSM and LARS-WG models for simulation of meteorological variables in northwest of Iran

B. Sobhani^{*1}, M. Eslahi², Y. Akbar Zadeh³

Received: 17/01/2016

Accepted: 09/01/2017

Abstract

In this study, the performance of two statistical weather generators the Statistical Downscaling Model (SDSM) and LARS-WG in simulating daily values of rainfall, maximum and minimum temperatures in northwest of Iran is compared. The study network was consisting 12 weather stations with minimum 40 years of daily temperature and precipitation data. The 1961-1990 period was used the baseline for models evaluation. In this study, two non-parametric tests of correlation and Mann-Whitney were used in monthly basis for comparisons. Root mean square error (RMSE) was used to compare the accuracy of two models. The results showed that the skill of both model in simulating minimum and maximum temperature data is similar, but the number of month with higher correlation was more in case of using SDSM. For precipitation data, the mean RMSE values of SDSM and LARS-WG models simulations were 26.5 and 0.32 mm, respectively which indicates higher accuracy SDSM. No significant differences between the observed and simulated data were found using the Mann-Whitney nonparametric test. The number of month with significance correlation with slightly more in SDSM comparing the other model.

Keywords: Mann-Whitney test, Rainfall, Temperature, Weather generator, Iran



¹ Associate professor, Geography Dept., Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
(*Corresponding author's email address: sobhaniardabil@gmail.com)

² Ph. D. Candidate in Climatology, Geography Dept., Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

³ Ph. D. Candidate in Climatology, Geography Dept., Faculty of Humanities, University of Zanjan, Iran