

کارایی الگوهای ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی

متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

بهروز سبحانی- دانشیار دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

مهدی اصلاحی* - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی و کارشناس آمار و کنترل داده‌های مرکز تحقیقات هواشناسی

کاربردی تبریز

ایمان بابائیان- استادیار پژوهشکده اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۰۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۴/۰۲

چکیده

در این پژوهش، نتایج دو الگوی ریزمقیاس نمایی SDSM و مولد آب‌وهوایی LARS-WG با در نظر گرفتن تحلیل عدم قطعیت روی بارش روزانه، کمیته و بیشینه دمای روزانه مقایسه می‌شود. منطقه این پژوهش شامل ایستگاه‌های هواشناسی تبریز و ارومیه به‌مثابه نماینده حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که آمار بلندمدت آنها موجود است. دوره پایه در این الگوها، داده‌های دما و بارش روزانه ایستگاه‌های تبریز و ارومیه در دوره بلندمدت ۱۹۹۰-۱۹۶۱ است. پس از بررسی اولیه داده‌های روزانه، تحلیل عدم قطعیت روی دو الگوی یادشده در دوره پایه انجام گرفت. در این مقاله، از روش‌های نموداری و آماری برای مقایسه عملکرد دو روش ریزمقیاس نمایی استفاده شد. در روش نموداری قدرمطلق اختلاف داده‌های الگو شده و مشاهده شده به‌صورت ماهانه برای هریک از مؤلفه‌های بررسی شده، روی نمودار آورده و تحلیل شد. نتایج کلی نشان داد الگوی SDSM در دو ایستگاه بررسی شده، برای کمیته و بیشینه دمای روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد؛ درحالی‌که برای بارش روزانه نتایج عملکرد دو الگو تاحدودی در دو ایستگاه مشابه بود.

کلیدواژه‌ها: الگوی تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی، عدم قطعیت، LARS-WG، SDSM

مقدمه

ارتباط دادن تفکیک‌پذیری الگوهای اقلیمی جهانی با مقیاس محلی یک فرایند خرد اقلیم‌شناسی است که خود شایان توجه است. به‌تازگی تلاش‌های زیادی را مجامع اقلیم‌شناسی برای توسعه روش‌های ریزمقیاس نمایی دینامیکی و آماری برای بیان تغییر اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای انجام داده‌اند. دو روش کلی برای ریزمقیاس کردن خروجی الگوهای گردش عمومی جو (GCM) به کار می‌رود؛ نخستین، استفاده از روش‌های آماری است که در آن یک خروجی از الگوی آماری (MOS) و یک رویکرد برنامه‌ریزی شده برای پیش‌بینی عددی کوتاه‌مدت وضع هوا به‌دست داده می‌شود. دومین،

استفاده از الگوهای اقلیمی منطقه‌ای (RCM) است که همان الگوی GCM محدودشده در یک زیرشبکه از شبکه الگوی جهانی است و به روش دینامیکی از تغییرات زمانی شرایط جوی براساس الگوی GCM استفاده می‌کند. هر دو روش تأثیر بسزایی بر تعیین توان اثر تغییر اقلیم ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند. کارهای زیادی برای استفاده از این روش‌ها برای ریزمقیاس کردن خروجی الگوهای جهانی در مناطق مختلف انجام گرفته که در آنها عملکرد الگو بررسی شده و تحلیل‌های عدم قطعیت روی این روش‌ها صورت گرفته یا با روش‌های دیگر آماری مقایسه شده است.

ویلیبی و همکاران (۲۰۰۲: ۱۴۷) از نخستین کسانی بودند که روش SDSM را به صورت نرم‌افزاری با نسخه ۲/۱ برای ارزیابی تغییر اقلیم منطقه‌ای به کار بردند. آنان در مقاله خود، مزایای این روش ریزمقیاس نمایی و روش کار با آن را شرح دادند و در آخر، این روش را برای داده‌های بارش و دمای روزانه شهر تورنتوی کانادا به کار بردند.

سجادخان و همکاران (۲۰۰۴: ۳۵۷) سه روش ریزمقیاس نمایی که عبارت‌اند از الگوی ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM)، الگوی مولد آب‌وهوایی ایستگاه تحقیقاتی لانگ‌آشتن (LARS-WG) و الگوی شبکه عصبی مصنوعی (ANN) را از راه آزمون‌های عدم قطعیت برای سه مؤلفه بارش روزانه، کمینه و بیشینه دمای روزانه مقایسه کردند. در این پژوهش، از آزمون ناپارامتری آماری ویلکاکسون برای مقایسه داده‌های مشاهده‌شده و ریزمقیاس‌شده در ماه‌های مختلف برای دو ایستگاه در منطقه‌ای کوچک در کانادا استفاده شد. براساس نتایج آن، روش SDSM بیشترین کارایی و روش ANN کمترین کارایی را داشت و روش LARS-WG در حد وسط قرار گرفت.

باباییان و همکاران (۱۳۸۶) اقلیم ایران را در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی الگوی ECHO-G با به‌کارگیری الگوی LARS-WG الگوسازی کردند. با استفاده از الگوی ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG، خروجی الگوی گردش عمومی جو ECHO-G را با سناریوی A1 برای دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ بر روی ۴۳ ایستگاه همدیدی ایران ریزمقیاس کردند. نتایج حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و بسیارسنگین به ترتیب ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به مقدار ۰/۵ درجه سانتی‌گراد بود و پیش‌بینی می‌شد بیشترین افزایش دما در ماه‌های سرد سال رخ دهد.

کارآموز و همکاران (۲۰۰۹: ۱۶۵) روش ریزمقیاس نمایی SDSM و روش شبکه‌های عصبی ANN را برای پیش‌بینی بلندمدت بارش در پنج ماه از سال (دسامبر تا آوریل) در جنوب شرقی ایران به کار بردند. براساس نتایج این پژوهش، روش SDSM عملکرد بهتری نسبت به روش ANN دارد.

اشرف و همکاران (۱۳۹۰: ۹۴۵) در پژوهشی، داده‌های الگوی گردش عمومی جو HadCM3 را با به‌کارگیری الگوی LARS-WG طبق سه سناریوی A1B، A2 و B1 ریزمقیاس‌شده و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ بررسی کردند.

دهقانی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله خود، توانمندی الگوی ریزمقیاس نمایی آماری SDSM را در تولید داده‌های بارش، دما و تبخیر در ایستگاه هواشناسی همدیدی تبریز بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که الگوی SDSM توانایی مناسبی در کوچک‌مقیاس کردن داده‌های دما، تبخیر و بارش دارد.

گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰: ۳۱۵) به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های

آنی با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) پرداختند. در این ارزیابی، از روش SDSM برای ریزمقیاس نمایی خروجی الگوی جهانی HadCM3 تحت سناریوی A2 استفاده شده است. مقایسه نتایج حاکی از این است که حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ شاهد افزایش بارش و به تبع آن، کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. این کاهش شدت، برای مقیاس‌های زمانی شش و دوازده ماهه با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد. این درحالی است که برای خشکسالی‌های بیست و چهار ماهه با افزایش دوره بازگشت، شدت خشکسالی حوضه بیش از دوره پایه خواهد شد.

بابایان و کوهی (۱۳۹۱: ۹۵۳) در پژوهش خود، اثر گرمایش جهانی را بر متغیرهای بارش و دما و شاخص‌های اقلیمی کشاورزی، چون طول دوره خشکی، طول دوره رشد و تبخیر-تعرق بالقوه با استفاده از خروجی ریزمقیاس شده دو الگوی گردش عمومی جو NCAR-PCM و GFDL-CM2.1 تحت سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 ارزیابی کردند. برای ریزمقیاس نمایی نیز از روش آماری همبستگی چندمتغیره بر روی میانگین‌های ماهانه تا سالانه برای شاخص‌های اقلیمی کشاورزی و الگوی LARS-WG برای الگوسازی متغیرهای روزانه مورد نیاز در محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه استفاده کردند.

ژائوفو لی و همکاران (۲۰۱۱: ۲۰۰۶) دو الگوی ریزمقیاس نمایی آماری را که عبارت‌اند از الگوی مارکف پنهان ناهمگن (NHMM) و الگوی ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) روی داده‌های بارش روزانه دریاچه خشک شده تاریم در چین ارزیابی کردند. ابزار مقایسه در این پژوهش توابع باقیمانده، تحلیل‌های همبستگی و توابع چگالی و توزیع احتمالی بود. به طور کلی، نتایج نشان داد که هر دو روش با کمی اختلاف عملکرد در مرحله پردازش و اعتبارسنجی الگو، پایداری لازم را دارند. براساس نتایج این پژوهش، 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 کند. اما هر دو الگوی NHMM و SDSM به دلیل مؤلفه‌های تصادفی در الگوبندی مقادیر بارش، در ریزمقیاس کردن سری‌های سالانه بارش دقت کمتری دارند.

مینو و همکاران (۲۰۱۲) از یک الگوی هیدرولوژیکی (HEC-HMS 3.4) برای الگوبندی هیدرولوژیکی منطقه رودخانه تونگا-بهادرا در هندوستان و از روش ریزمقیاس نمایی SDSM برای ریزمقیاس نمایی دماهای کمینه و بیشینه و بارش روزانه در منطقه پژوهش استفاده کردند. نتایج بررسی بیلان آب، افزایش بارش و رواناب و کاهش تلفات تبخیر-تعرق واقعی را روی منطقه نشان داد.

رجبی و شعبانلو (۲۰۱۲) از الگوی SDSM برای ارزیابی تغییر اقلیم منطقه کرمانشاه در غرب ایران و اثر آن بر شاخص‌های اقلیمی همچون جانشن، کرنر و دومارتن استفاده کردند. در این پژوهش، با استفاده از الگوی گردش عمومی جو HadCM3 و با در نظر گرفتن سناریوهای انتشار A2 و B2 در دوره‌های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۱، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۷-۲۰۹۹ تغییرات شاخص‌های اقلیمی منطقه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که اقلیم منطقه به خصوص در دوره ۲۰۷۷-۲۰۹۹ خشک‌تر خواهد شد و این تغییر برای سناریوی A2 محسوس‌تر خواهد بود.

چیمبا و همکاران (۲۰۱۳) عملکرد روش ریزمقیاس نمایی SDSM را روی روند داده‌های کمینه دمای ایستگاه‌های

کشور پاکستان در دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱ ارزیابی کردند. براساس نتایج این پژوهش، طبق آزمون من‌کنندال روند افزایشی کمینه دمای سالانه معنادار است. علاوه بر آن، تحلیل‌ها نشان داد که تطابق خوبی بین داده‌های دمای الگو شده و داده‌های واقعی وجود دارد؛ ضمن آنکه ضریب همبستگی پیرسن برای بیشتر نواحی بیش از نود درصد بود. این پژوهشگران روش‌های آماری مختلفی برای بررسی روند به کار گرفتند. یافته‌های آنها نشان داد تغییر معنادار اقلیمی بیشتر در نواحی شمالی کشور پاکستان رخ داده است.

کاظمی و همکاران (۲۰۱۴: ۱۳۷) روش SDSM را برای خروجی دمای روزانه الگوی جهانی ECHAM5 به کار بردند. نتایج بررسی آنها نشان داد داده‌های ریزمقیاس شده بسیار دقیق‌تر از داده‌های الگوی ECHAM5 است. ضریب همبستگی داده‌های ریزمقیاس شده با داده‌های مشاهده شده بین ۸۱ تا ۹۴ درصد است؛ در حالی که همین همبستگی برای داده‌های الگوی جهانی بین ۷۳ تا ۸۷ درصد است.

نوری و علم (۲۰۱۴: ۸۷) الگوی SDSM را برای داده‌های مشاهداتی دما و بارش روزانه از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۶ با استفاده از الگوی جهانی HadCM3 به کار بردند. در این مقاله، از شاخص درصد اریبی (PBIAS)، شاخص کفایت ناش-سوتکلیف (NSE) و شاخص اصلاح شده تطابقی برای ارزیابی داده‌های بارش و دمای ریزمقیاس شده استفاده شده است. مقدار شاخص PBIAS دمای ریزمقیاس شده کمینه بوده (۳۰٪- درصد)، شاخص NSE (۸۰٪) و شاخص اصلاح شده تطابقی (۸۳٪) بیشترین حد برای دمای بیشینه روزانه در ایستگاه سیلحت بنگلادش بوده است. در میان پنج ایستگاه باران سنجی شاخص PBIAS بارش ریزمقیاس شده دارای مقدار کمینه (۳۱٪)، NSE (۷۶٪) و شاخص اصلاح شده (۷۹٪) بیشترین حد را در ایستگاه کانایرقات داشته است. داده‌های دما و بارش ریزمقیاس شده با داده‌های مشاهده شده تا حدودی مطابقت داشته‌اند.

مواد و روش‌ها

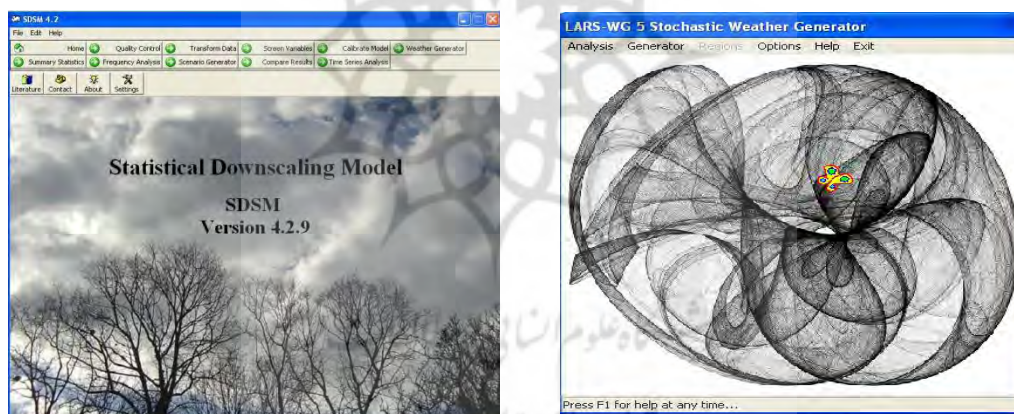
تاکنون دو رویکرد برای روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری عرضه شده است؛ رویکرد نخست استفاده از مولدهای تصادفی آب‌وهوایی است که براساس الگوهای سری زمانی و سری‌های فوریه عرضه می‌شود. یکی از روش‌هایی که براساس این رویکرد بنا شده، الگوی آماری LARS-WG است (رسکو و همکاران، ۱۹۹۱: ۲۷). در این الگو از توزیع‌های نیمه تجربی برای سری‌های روزانه خشک و تر بارش و تشعشع خورشیدی به‌نحو مطلوبی استفاده می‌شود. دماهای کمینه و بیشینه روزانه به‌مثابه فرایندهای تصادفی با میانگین‌های روزانه و انحراف معیارهای روزانه در نظر گرفته می‌شود. دوره‌های فصلی میانگین‌ها به‌وسیله سری‌های فوریه متناهی مرتبه ۳ الگوبندی می‌شود و باقیمانده‌های الگو (خطاهای الگو) به‌وسیله توزیع نرمالی به‌طور تقریبی محاسبه می‌شود.

برای ریزمقیاس نمایی با استفاده از این الگو، از نرم‌افزار مولد تصادفی LARS-WG5 استفاده شده است. این نرم‌افزار شامل سه بخش اصلی Site Analysis، Qtest و Generator است که منوی اصلی آن در شکل ۲ آورده شده است. ابتدا داده‌های روزانه کمینه دما، بیشینه دما، بارش و ساعت‌های آفتابی ایستگاه‌های بررسی شده، به‌مثابه ورودی، در این الگو درج می‌شود. سپس در قسمت Site Analysis داده‌های مشاهده شده ایستگاه، از حیث کیفی و آماری ارزیابی

می‌شود. برای نمونه، اگر دمای کمینه بیشتر از دمای بیشینه باشد، خطای مربوط نشان داده می‌شود و همچنین برآزش توزیع‌های نیمه‌تجربی سری‌های داده‌ها به‌صورت ماهانه و دوره‌های خشک و تر بررسی می‌شود. برای اعتبارسنجی الگو، داده‌های تولیدشده براساس داده‌های دوره پایه با مشاهده‌های این دوره از لحاظ آماری در قسمت Qtest نیز مقایسه و ارزیابی می‌شود.

رویکرد دوم که بیشتر استفاده می‌شود، بهره‌گیری از الگوهای رگرسیونی یا تابع انتقال است که در آن با استفاده از رابطه بین مؤلفه‌های مختلف جوی و سینوپتیکی (متغیرهای پیش‌بینی‌کننده) و مؤلفه اقلیمی که لازم است دورنمایی از آن در آینده داشته باشیم (متغیر پیش‌بینی‌شونده) یک تابع انتقال عرضه می‌شود.

یکی از نرم‌افزارهایی که براساس ترکیبی از دو رویکرد اخیر پایه‌ریزی شده، الگوی ریزمقیاس نمایی آماری SDSM است. این الگو داده‌های روزانه هواشناسی هر ایستگاه را ورودی در نظر گرفته، در هفت مرحله خروجی الگوی GCM را براساس داده‌های روزانه در منطقه مورد نظر ریزمقیاس می‌کند. این هفت مرحله عبارت‌اند از: ۱. کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها؛ ۲. بررسی و انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده؛ ۳. برآزش الگو؛ ۴. تولید داده‌های آب‌وهوایی؛ ۵. تحلیل داده‌ها؛ ۶. تحلیل نموداری؛ ۷. تولید سناریو.



شکل ۱. منوی اصلی نرم‌افزارهای LARS-WG5 و SDSM

در این بررسی، برای اعتبارسنجی دقیق‌تر دو روش، برای داده‌های ورودی دما و بارش روزانه، تحلیل عدم قطعیت انجام می‌گیرد. در تحلیل عدم قطعیت داده‌های دمای روزانه، به‌دلیل نزدیکی توزیع آماری داده‌ها به توزیع نرمال، میانگین ماهانه داده‌های ریزمقیاس‌شده با داده‌های مشاهداتی از لحاظ آماری مقایسه می‌شود. در این حالت، می‌توان از آزمون‌های پارامتری یا ناپارامتری برای مقایسه میانگین‌ها استفاده کرد. اما در تحلیل عدم قطعیت داده‌های بارش روزانه، به‌دلیل نرمال نبودن داده‌ها، مقایسه میانگین‌های داده‌های ریزمقیاس‌شده و مشاهده‌شده کافی نیست و باید داده‌های دوره‌های خشک و تر مقایسه شود. در این روش، توزیع آماری طول دوره‌های خشک و تر ریزمقیاس‌شده با مشاهده‌شده مقایسه می‌شود.

پیش از انجام دادن تحلیل عدم قطعیت، داده‌ها از لحاظ اکتشافی تحلیل می‌شوند تا وضعیت آماری داده‌ها و رویکرد

تحلیل آنها مشخص شود. این تحلیل براساس بررسی فرضیه‌های آماری الگو پایه‌ریزی می‌شود. در صورت برقرار نبودن این فرضیه‌ها روش‌های پارامتری تحلیل آماری و آزمون‌های مربوط اعتبار خود را از دست می‌دهند و باید از روش‌های ناپارامتری استفاده کرد. این فرضیه‌ها عبارت‌اند از:

۱. داده‌ها دارای توزیع نرمال یا نزدیک به نرمال باشند (نرمالیتی)؛

۲. میانگین استاندارد داده‌ها نزدیک به صفر باشد یا داده‌های پرت وجود نداشته باشد (ناریبی)؛

۳. داده‌ها دارای همبستگی زمانی کمی باشند (استقلال).

در فرض نرمال بودن متغیر بارش روزانه به دلیل ماهیت چولگی این متغیر به سمت راست (فراوانی بارش روزانه به سمت مقادیر صفر است)، تردید وجود دارد؛ بنابراین در تحلیل‌های آماری و الگوسازی، برای نرمال کردن داده‌های بارش از تبدیل توانی استفاده می‌شود. در طرف دیگر، ماهیت داده‌های دمای روزانه نرمال است و داده‌های پرت در آنها وجود ندارد؛ اما به دلیل همبستگی زمانی دمای روزانه، فرض سوم در آنها برقرار نیست. بنابراین، برای تحلیل‌های آماری و آزمون‌های مقایسه‌ای از روش‌های ناپارامتری استفاده می‌شود.

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها می‌توان از نمودارهای جعبه‌ای^۱، بافت‌نگار فراوانی^۲ یا نمودار نرمال^۳ استفاده کرد. با این نمودارها داده‌های پرت را نیز می‌توان تشخیص داد. برای بررسی همبستگی داده‌ها در طول زمان می‌توان از نمودار تابع خودهمبستگی (ACF) استفاده کرد. ضریب خودهمبستگی مرتبه K همبستگی داده مربوط را در زمان حال با داده Kام مشخص می‌کند که با رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$AFC(k) = \frac{Cov(X_t, X_{t+k})}{Var(X_t)} = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \quad (1)$$

برای مقایسه داده‌های تولیدشده الگو و مشاهدات می‌توان از آزمون ناپارامتری مقایسه میانگین‌های دو جامعه استفاده کرد که آن را آزمون رتبه‌ای ویلکاکسن می‌نامند. این آزمون که برای بررسی فرض مساوی بودن میانگین‌های دو جامعه ($\mu_1 - \mu_2 = 0$) پایه‌ریزی شده است، ابتدا دو نمونه از دو جامعه را با هم ترکیب کرده، سپس آنها را از کوچک‌ترین تا بزرگ‌ترین عدد مرتب می‌کند و سپس به این مقادیر، بدون در نظر گرفتن اینکه به کدام جامعه تعلق دارد، رتبه داده می‌شود. آماره آزمون مجموع رتبه‌های مقادیر یکی از جوامع است. اگر این مجموع بسیار کوچک یا بسیار بزرگ باشد، نشان‌دهنده این است که جامعه مورد نظر از جامعه دیگر بسی کوچک‌تر یا بزرگ‌تر است. از این رو، در این حالت فرض صفر اختلاف نداشتن دو جامعه رد می‌شود.

برای مقایسه توزیع آماری دو جامعه می‌توان از آزمون ناپارامتری کولموگروف-اسمیرنوف استفاده کرد که بر پایه مقایسه تابع توزیع تجمعی داده‌های دو جامعه پایه‌ریزی شده است. اگر $F_1(x)$ و $F_2(x)$ دو تابع توزیع تجمعی دو

نمونه با یک متغیر x باشد، فرض صفر و فرض جانشین به صورت رابطه زیر است:

$$H_0: F_1(x) = F_2(x) \quad \text{برای همه } x \text{ ها} \quad (2)$$

$$H_1: F_1(x) \neq F_2(x) \quad \text{برای دست کم یک } x \quad (3)$$

و آماره آزمون T با رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$T = \sup_x |F_1(x) - F_2(x)| \quad (4)$$

که همان بیشترین فاصله بین توزیع‌های تجمعی نمونه اول و دوم است. اگر آماره آزمون بزرگ‌تر از یک مقدار بحرانی باشد، فرض صفر رد می‌شود.

منطقه پژوهش حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که بین مختصات جغرافیایی $34^{\circ}07'$ طول $53^{\circ}47'$ طول شرقی و $35^{\circ}30'$ عرض شمالی، در شمال غرب ایران قرار گرفته و با بخش شمالی کوه‌های زاگرس و دامنه جنوبی کوه سبلان و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. مساحت این حوضه 51786 کیلومتر مربع است که حدود $64/6\%$ آن را مناطق کوهستانی و $24/3\%$ آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها و $11/1\%$ درصد باقیمانده را دریاچه ارومیه تشکیل می‌دهد. همه رودخانه‌های واقع در حوضه، به سمت دریاچه ارومیه جریان دارند. برای بررسی اثر تغییر اقلیم در منطقه با استفاده از الگوهای آماری یادشده، دست کم به دوره آماری پایه $1961-1990$ نیاز است. در حوضه آبریز دریاچه ارومیه فقط دو ایستگاه تبریز و ارومیه دارای آمار بلندمدت‌اند؛ به همین دلیل نماینده حوضه دریاچه ارومیه در نظر گرفته شده، بررسی می‌شود. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱. مشخصات دو ایستگاه بررسی شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری
۱	تبریز	$46^{\circ}17'$	$38^{\circ}05'$	۱۳۶۴	۱۹۵۱-۲۰۱۲
۲	ارومیه	$45^{\circ}05'$	$37^{\circ}32'$	۱۳۱۶	۱۹۵۱-۲۰۱۲

یافته‌های پژوهش

در این بررسی، تحلیل‌ها در دو بخش انجام گرفته است. تحلیل اولیه داده‌ها برای مشخص کردن رویکرد الگوبندی و تحلیل عدم قطعیت نتایج الگوبندی دو روش ریزمقیاس نمایی LARS-WG و SDSM و بررسی عملکرد این روش‌هاست.

تحلیل اولیه داده‌ها

همان‌گونه که در بخش پیشین اشاره شد، بررسی سه فرض اساسی نرمال بودن، وجود داده‌های پرت و مقدار همبستگی داده‌ها در طول زمان برای تحلیل آماری داده لازم است. برای بررسی نرمال بودن داده‌های روزانه بارش، کمینه و بیشینه

دما از نمودارهای جعبه‌ای و نمودار نرمال استفاده شده است. شکل ۲ نمودار جعبه‌ای داده‌های روزانه بارش، کمینه و بیشینه دمای تبریز و شکل ۳ همان نمودارها را برای ارومیه برای ماه ژانویه نشان می‌دهد. بارش روزانه، براساس نمودار جعبه‌ای داده‌های بارش، به‌طور کامل از توزیع نرمال دور است و داده‌ها چوله به راست است؛ به‌طوری‌که حجم بیشتر داده‌ها روی مقدار صفر تجمع دارند. این نکته در نمودار نرمال بارش نیز به‌طور کامل مشخص است. داده‌ها از خط نیمساز کاملاً منحرف شده‌اند. با این وضع نمی‌توان به روش‌های پارامتری آزمون‌های آماری اعتماد کرد و باید از روش‌های ناپارامتری استفاده شود.

براساس نمودار جعبه‌ای، دماهای روزانه حول میانگین تجمع دارند و داده پرت کمی وجود دارد و این امر نشان‌دهنده نزدیک بودن توزیع داده به توزیع نرمال است. از سویی، تجمع داده‌ها در اطراف خط نیمساز نمودارهای نرمال، همین موضوع را تأیید می‌کند.

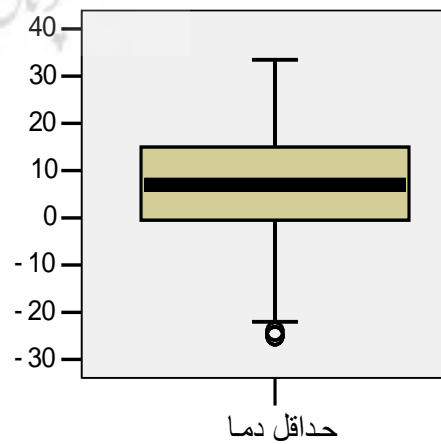
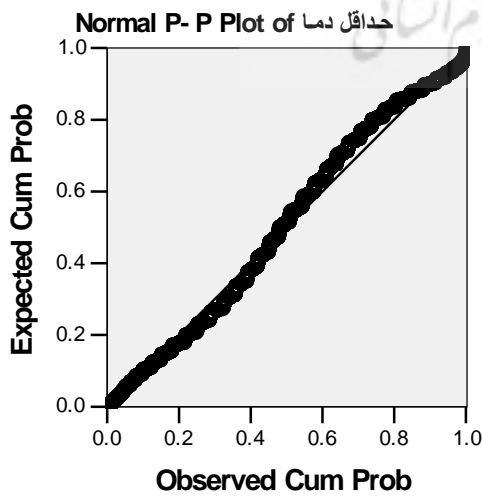
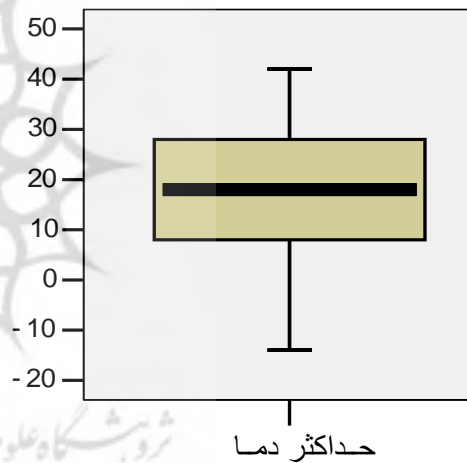
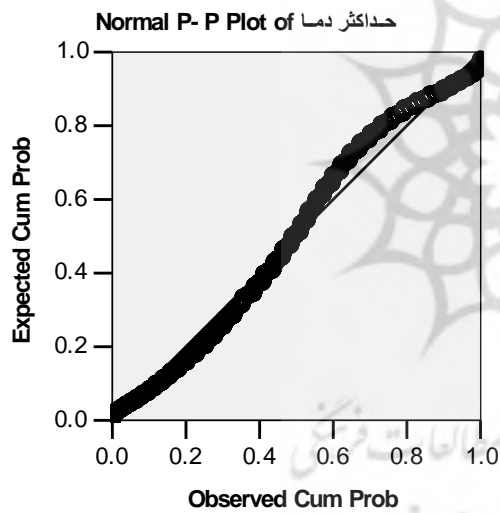
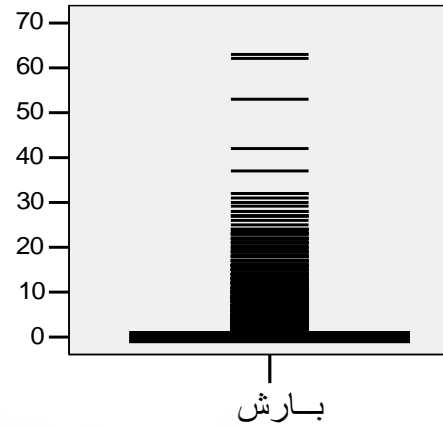
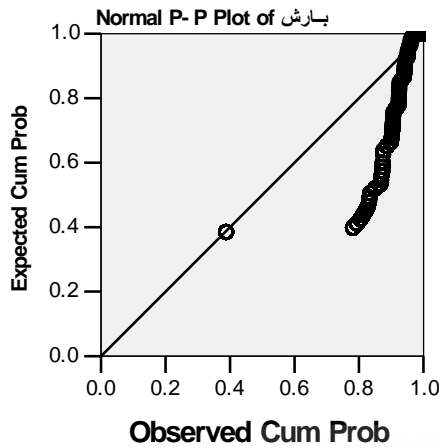
برای بررسی همبستگی داده‌های روزانه بارش و دما در طول زمان، مشاهدات ماه ژانویه به‌همراه ضرایب خودهمبستگی (ACF) در قدم‌های مختلف در شکل‌های ۴ تا ۶ برای تبریز رسم شده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، داده‌های بارش روزانه روند خاصی ندارند و این موضوع در نمودار تابع خودهمبستگی داده‌های بارش کاملاً مشهود است؛ زیرا خودهمبستگی در تمام قدم‌ها نزدیک به صفر است و معنادار نیست. این نکته برای داده‌های دمای کمینه و بیشینه روزانه در شکل‌های ۵ و ۶ وضعیت عکس دارد؛ به‌طوری‌که براساس نمودار سری زمانی مشاهدات دما، داده‌ها دارای روند خاصی‌اند؛ البته این موضوع در نمودار تابع خودهمبستگی بهتر مشخص است. براساس این نمودارها، داده‌ها در قدم اول دارای همبستگی معنادار در حدود $0/8$ هستند و در قدم‌های بعدی، این همبستگی به‌تدریج کاهش می‌یابد. همبستگی داشتن داده‌های دما در طول زمان نشان‌دهنده برقرار نبودن فرض سوم است. به‌همین دلیل، استفاده از روش‌های تحلیل پارامتری برای داده‌های دما کارایی ندارد و باید از روش ناپارامتری استفاده کرد.

کارایی الگوها و تحلیل عدم قطعیت نتایج

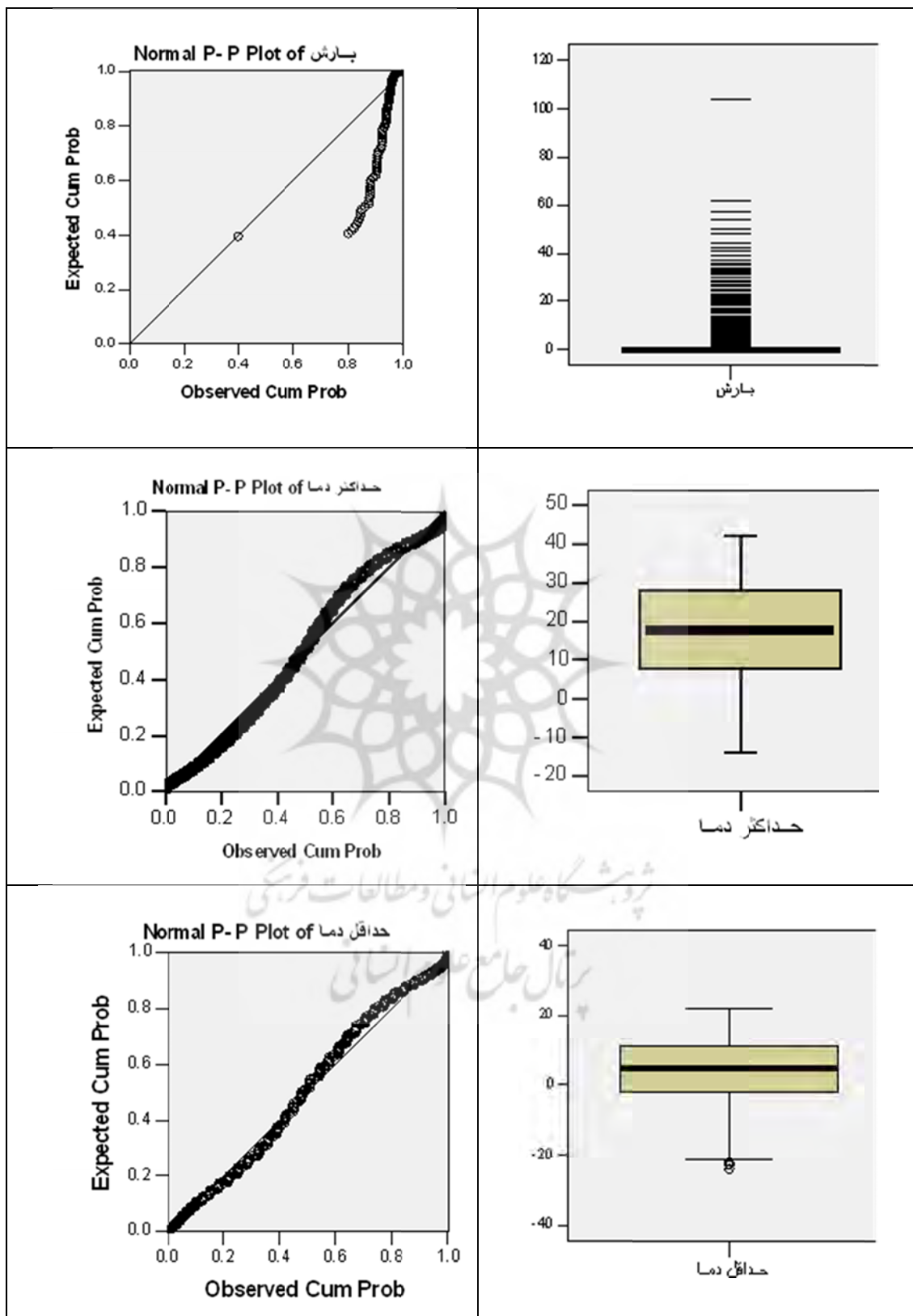
در روش SDSM ابتدا داده‌های روزانه دو ایستگاه از نظر کیفی کنترل می‌شوند و در صورت لزوم، تبدیل داده‌ها انجام می‌گیرد. در این پژوهش، به دلیل نرمال نبودن توزیع داده‌های بارش روزانه و نیز به دلیل برآزش بهتر الگو از تبدیل توان یک‌دوم برای ایستگاه تبریز و از توان یک‌چهارم برای ایستگاه ارومیه استفاده شد. پس از کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها، بررسی و انتخاب بهترین پیش‌بینی‌کننده مؤلفه‌های سینوپتیکی برای مؤلفه پیش‌بینی‌شونده انجام گرفت. نتایج مربوط به این مرحله برای سه مؤلفه محلی بارش، کمینه و بیشینه دما برای دو ایستگاه تبریز و ارومیه در جدول ۲ آمده که در آن، بررسی ماهانه الگو انجام گرفته است.

در مرحله بعد، الگوی رگرسیونی براساس متغیرهای انتخابی جدول ۲ برای هر مؤلفه محلی و برای هر ماه واسنجی شد. میانگین ماهانه ضریب همبستگی چندگانه الگو برای هر مؤلفه در سطر آخر جدول آمده است. در برخی ماه‌ها الگو دارای همبستگی زیادی است و در برخی ماه‌ها مثل بارش در ماه‌های کم‌بارش دارای همبستگی کمی است. دلیل این امر را می‌توان در تصادفی بودن متغیر بارش جست‌وجو کرد.

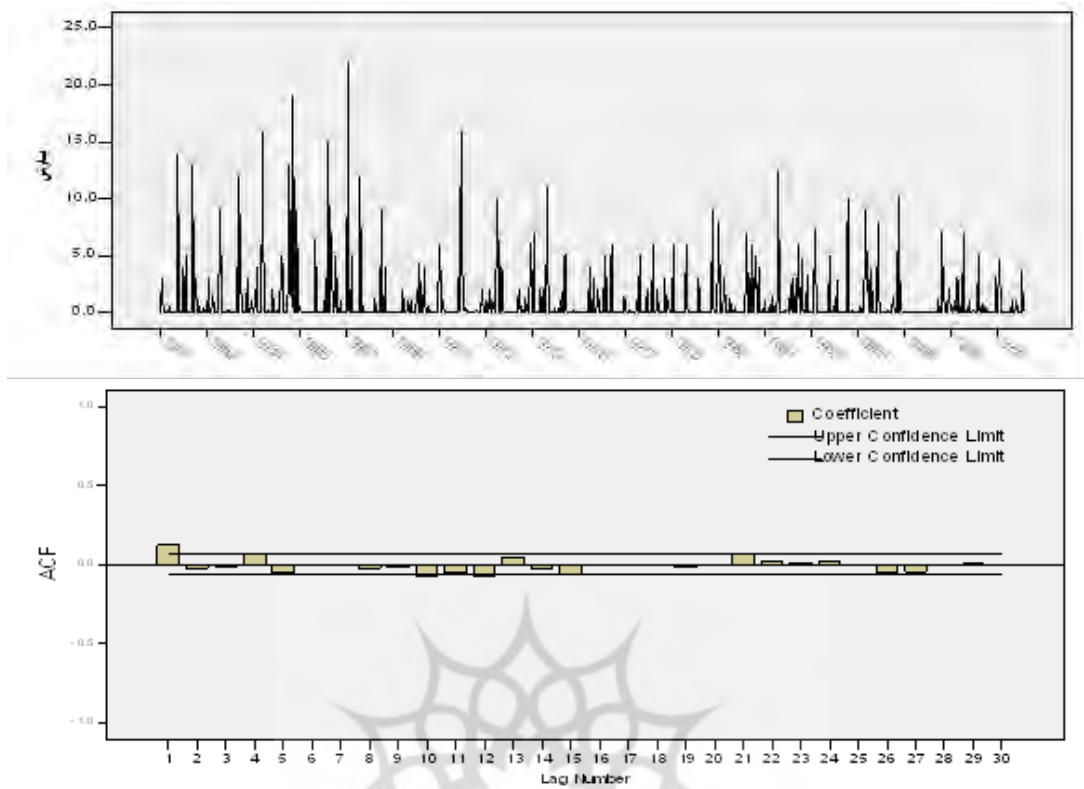
در روش LARS-WG خروجی الگو شامل پنجاه بار تولید داده‌های روزانه دما، بارش، ساعت‌های آفتابی و تشعشع خورشیدی در ۳۶۵ روز سال برای دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ است.



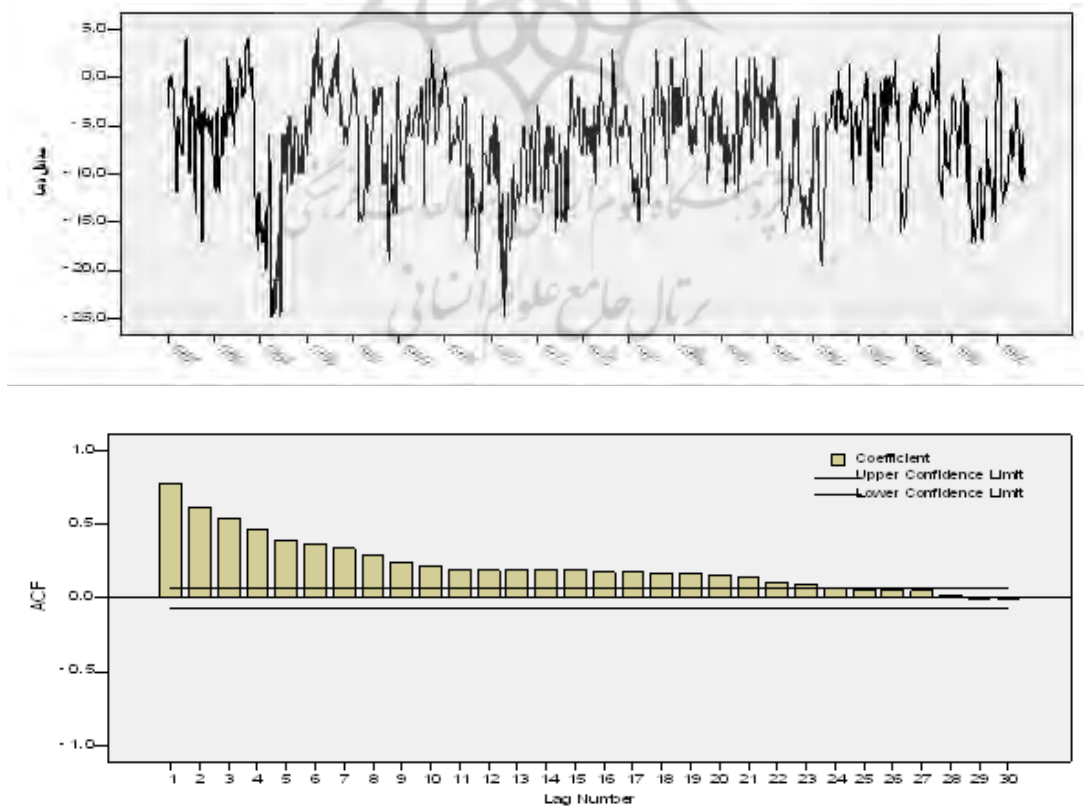
شکل ۲. نمودارهای جعبه‌ای و نرمال برای بررسی نرمال بودن داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه تبریز



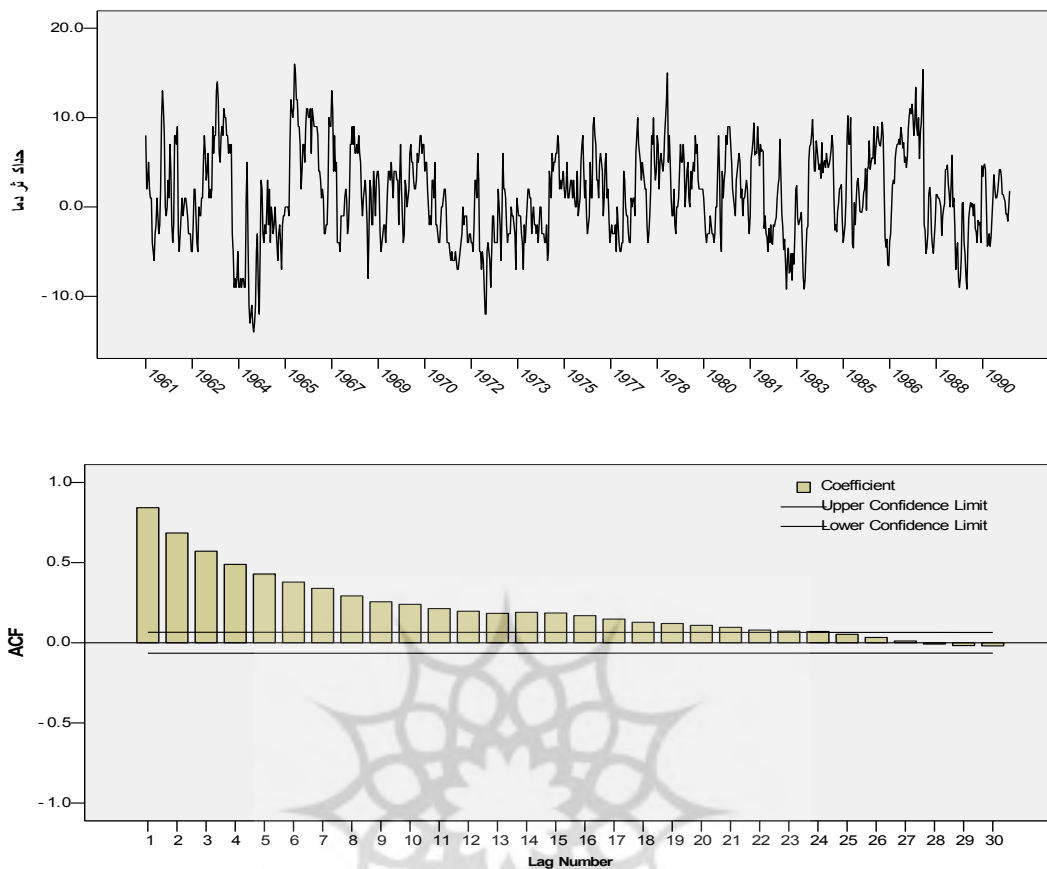
شکل ۳. نمودارهای جعبه‌ای و نرمال برای بررسی نرمال بودن داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه ارومیه



شکل ۴. نمودار سری زمانی و تابع خودهمبستگی داده‌های بارش روزانه ماه ژانویه ایستگاه تبریز



شکل ۵. نمودار سری زمانی و تابع خودهمبستگی داده‌های کمینه دمای روزانه ماه ژانویه ایستگاه تبریز

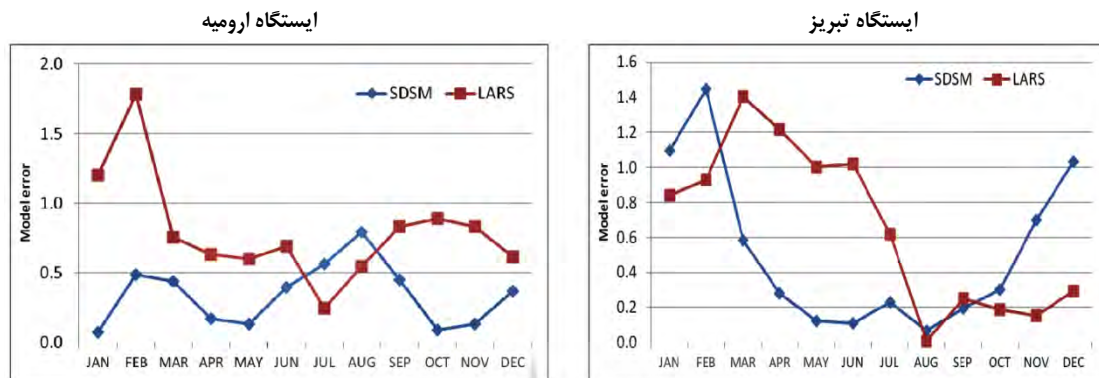


شکل ۶. نمودار سری زمانی و تابع خودهمبستگی داده‌های بیشینه دمای روزانه ماه ژانویه ایستگاه تبریز

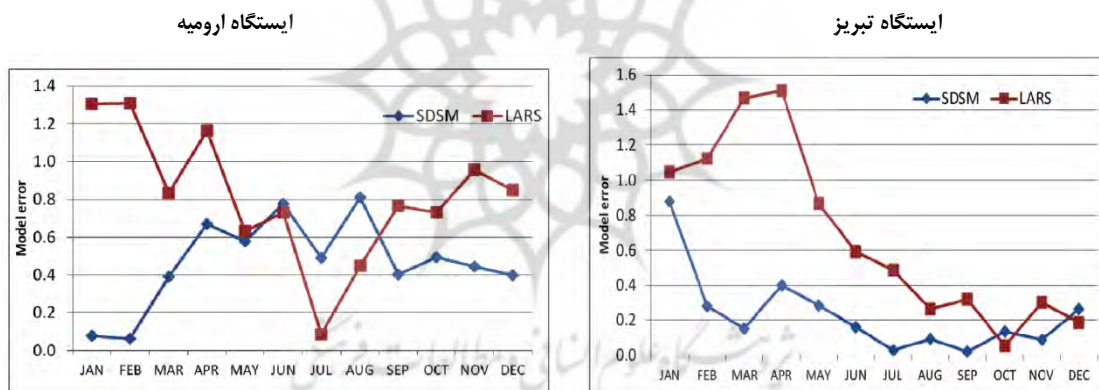
جدول ۲. انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ‌مقیاس برای پیش‌بینی مؤلفه‌های محلی بارش، کمینه و بیشینه دما در ایستگاه‌های تبریز و ارومیه

ایستگاه ارومیه		ایستگاه تبریز		توضیح		متغیر پیش‌بینی‌کننده برگرفته از داده‌های NCEP
کمینه دما	بیشینه دما	بارش	کمینه دما	بیشینه دما	بارش	
×	×	×	×	×	×	Mslp میانگین فشار سطح دریا
	×	×		×		p_z تاوایی نزدیک سطح
	×	×		×	×	P5_z تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
			×			P5_v مؤلفه سرعت نصف‌النهاری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
×	×	×	×	×	×	P500 ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال
		×				Pr500 رطوبت نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
×	×		×		×	P850 ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال
		×	×			Pr850 رطوبت نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
					×	Prhum رطوبت نسبی در سطح
۰/۴۳۰	۰/۶۲۶	۰/۲۷۷	۰/۵۴۱	۰/۶۹۳	۰/۱۸۹	میانگین ضریب همبستگی ماهانه الگو

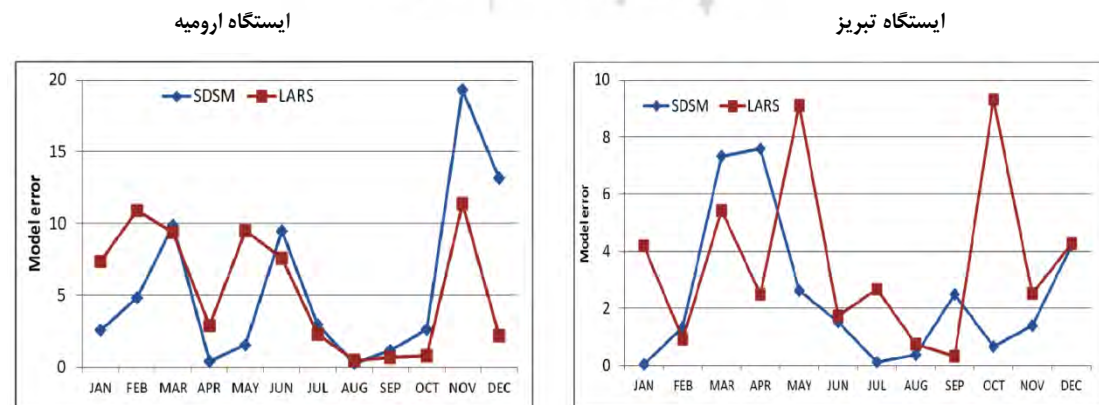
برای مقایسه داده‌های الگوشده و مشاهده‌شده، ابتدا اختلاف میانگین ماهانه این داده‌ها برای هر کدام از مؤلفه‌ها روی نمودار آورده شده، به صورت بصری ارزیابی می‌شود. شکل ۷ اختلاف داده‌های الگوشده و مشاهده‌شده را برای دوازده ماه سال در دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۹۰ برای دو روش SDSM و LARS-WG در دو ایستگاه تبریز و ارومیه برای هر کدام از مؤلفه‌های کمینه و بیشینه دمای روزانه و بارش نشان می‌دهد.



الف) خطای الگو (قدرمطلق اختلاف دمای کمینه ریزمقیاس شده و مشاهده شده)



ب) خطای الگو (قدرمطلق اختلاف بیشینه دمای ریزمقیاس شده و مشاهده شده)



ج) خطای الگو (قدرمطلق اختلاف بارش ریزمقیاس شده و مشاهده شده)

شکل ۷. خطای الگو (قدرمطلق اختلاف داده‌های الگوشده و مشاهده شده) برای مؤلفه‌های الف) کمینه دمای روزانه؛ ب) بیشینه دمای روزانه؛ ج) بارش روزانه

برای بررسی دقیق‌تر عملکرد و خطای دو الگوی ریزمقیاس‌نمایی از آزمون ناپارامتری من-ویتنی نیز استفاده شد. در این آزمون، معناداری اختلاف مقادیر ریزمقیاس‌شده و مشاهده‌شده برای دو الگو از لحاظ آماری بررسی شد. این آزمون برای هر ماه به‌طور جداگانه انجام گرفت و نتایج آن در قالب مقادیر P-value در جدول‌های ۳ تا ۵ آورده شده است.

در شکل ۷ الف مشخص می‌شود که الگوی SDSM برای مؤلفه کمینه دمای روزانه نتیجه بهتری می‌دهد، به‌خصوص در ایستگاه ارومیه این نتیجه ملموس‌تر است؛ به‌طوری‌که مقادیر قدرمطلق خطای الگو در SDSM در بیشتر ماه‌ها کمتر از الگوی LARS-WG است. نتایج آزمون من-ویتنی برای کمینه دمای روزانه نیز در جدول ۳ این نتیجه را تأیید می‌کند. براساس جدول ۳ برای ایستگاه تبریز اختلاف مقادیر ریزمقیاس‌شده و مشاهدات در پنج ماه از سال برای الگوی SDSM و شش ماه از سال برای الگوی LARS-WG در سطح خطای ۰/۰۵ معنادار است (مقدار P-value کمتر از ۰/۰۵). برای ایستگاه ارومیه برای الگوی SDSM، پنج ماه از سال و برای الگوی LARS-WG، هفت ماه از سال اختلاف معنادار است و این امر نشان‌دهنده عملکرد اندک الگو در این ماه‌هاست. ولی در مقام مقایسه می‌توان نتیجه گرفت که الگوی SDSM برای مؤلفه کمینه دمای روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد.

شکل ۷ ب نیز زیاد بودن عملکرد الگوی SDSM را نسبت به الگوی LARS-WG برای ریزمقیاس کردن مؤلفه بیشینه دمای روزانه در دو ایستگاه نشان می‌دهد. همان‌طور که از این نمودار مشخص است، در ایستگاه تبریز مقادیر قدرمطلق خطای الگو در SDSM برای بیشتر ماه‌ها به جز سه ماه آخر سال که مقادیر خطای دو الگو نزدیک به هم است، کمتر از الگوی LARS-WG است. در ایستگاه ارومیه نیز به جز ماه‌های گرم سال (مه تا اوت) که مقادیر قدرمطلق خطا نزدیک به هم است، در دیگر ماه‌ها مقادیر خطای الگوی SDSM کمتر از الگوی LARS-WG است. براساس جدول ۴، نتایج آزمون من-ویتنی برای مؤلفه بیشینه دمای روزانه دو ایستگاه نشان می‌دهد که اختلاف مقادیر ریزمقیاس‌شده از مشاهدات برای الگوی SDSM در ماه‌های کمتری معنادار است (مقدار P-value کمتر از ۰/۰۵)؛ به‌عبارت‌دیگر الگوی SDSM عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در ایستگاه تبریز فقط در ماه ژانویه خطای الگوی SDSM معنادار است؛ در حالی که در الگوی LARS-WG چهار ماه از سال خطای الگو معنادار است. برای ایستگاه ارومیه نیز تعداد ماه‌های با خطای معنادار در الگوی SDSM چهار ماه و در الگوی LARS-WG شش ماه است. این امر نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوی SDSM نسبت به الگوی LARS-WG است.

شکل ۷ ج نشان می‌دهد که برای مؤلفه بارش روزانه برای دو ایستگاه تبریز و ارومیه، دو الگو دارای عملکرد تقریباً مشابهی‌اند. برای ایستگاه تبریز، به جز ماه‌های مه و اکتبر، در دیگر ماه‌ها قدرمطلق اختلاف مقادیر ریزمقیاس‌شده بارش و مشاهدات در دو الگو نزدیک به هم است. در ایستگاه ارومیه نیز مقادیر اختلاف در دو الگو دارای روند یکسان و نزدیک به هم است؛ هرچند مقادیر قدرمطلق ماه‌های نوامبر و دسامبر برای الگوی SDSM زیاد است. جدول ۵ نتایج آزمون من-ویتنی را برای بررسی اختلاف مقادیر الگو شده و مشاهداتی برای بارش روزانه دو ایستگاه نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، در ایستگاه تبریز در هیچ‌کدام از ماه‌ها خطای دو الگو معنادار نیست و این امر نشان‌دهنده عملکرد خوب دو الگو است. خطای الگو برای ایستگاه ارومیه نیز سه ماه از سال (مارس، نوامبر و دسامبر) در الگوی SDSM معنادار است؛ ولی در دیگر ماه‌ها در دو الگو این معناداری وجود ندارد.

جدول ۳. نتایج آزمون ناپارامتری من- وینتی (P_value) برای اختلاف کمینه دمای روزانه ریزمقیاس شده و مشاهده‌شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد

ماه میلادی	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ایستگاه تبریز	SDSM	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۶۱	۰/۱۷۴	۰/۸۳۸	۰/۵۱۲	۰/۸۷۰	۰/۰۲۳	۰/۱۶۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱
	LARS-WG	۰/۸۷۰	۰/۸۰۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۳۳۳	۰/۴۱۲	۰/۰۰۰	۰/۳۶۷	۰/۰۶۱	۰/۰۲۳
ایستگاه ارومیه	SDSM	۰/۰۹۸	۰/۰۷۷	۰/۱۷۴	۰/۳۳۳	۰/۰۳۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۷۱۳	۰/۳۶۷	۰/۰۴۵
	LARS-WG	۰/۶۵۳	۰/۱۰۲	۰/۰۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴۱	۰/۳۶۷	۰/۰۱۰	۰/۰۹۸	۰/۱۴۸	۰/۰۳۷

جدول ۴. نتایج آزمون ناپارامتری من- وینتی (P_value) برای اختلاف بیشینه دمای روزانه ریزمقیاس شده و مشاهده‌شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد

ماه میلادی	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ایستگاه تبریز	SDSM	۰/۰۴۱	۰/۴۸۶	۰/۶۸۳	۰/۱۶۱	۰/۵۶۷	۰/۷۷۵	۰/۵۹۵	۰/۹۰۲	۰/۸۳۸	۰/۳۴۵	۰/۲۶۷
	LARS-WG	۰/۶۵۳	۰/۳۴۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۱۲۶	۰/۷۷۵	۰/۰۱۱	۰/۵۹۵	۰/۰۹۸	۰/۱۴۸
ایستگاه ارومیه	SDSM	۰/۲۱۷	۰/۳۷۷	۰/۳۶۷	۰/۰۲۹	۰/۰۴۱	۰/۰۶۷	۰/۰۰۰	۰/۱۶۱	۰/۰۵۰	۰/۴۸۶	۰/۹۶۷
	LARS-WG	۰/۹۳۵	۰/۱۸۶	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۰/۶۸۳	۱/۰۰۰	۰/۰۲۹	۰/۱۲۶	۰/۰۶۷	۰/۰۲۹

جدول ۵. نتایج آزمون ناپارامتری من- وینتی (P_value) برای اختلاف بارش روزانه ریزمقیاس شده و مشاهده‌شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد

ماه میلادی	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ایستگاه تبریز	SDSM	۰/۸۷۵	۰/۵۹۵	۰/۱۶۱	۰/۵۱۲	۰/۹۰۲	۰/۲۳۳	۰/۱۰۶	۰/۲۱۷	۰/۵۶۷	۰/۳۸۹	۰/۶۲۴
	LARS-WG	۰/۸۴۴	۰/۴۸۶	۰/۱۰۶	۰/۰۷۴	۰/۷۱۳	۰/۳۸۹	۰/۷۷۵	۰/۹۰۲	۰/۹۶۷	۰/۸۷۵	۰/۷۷۵
ایستگاه ارومیه	SDSM	۰/۱۰۶	۰/۱۸۷	۰/۰۱۶	۰/۴۶۱	۰/۶۰۲	۰/۷۱۳	۰/۹۰۲	۰/۵۹۵	۰/۸۴۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
	LARS-WG	۱/۰۰۰	۰/۱۸۷	۰/۳۰۵	۰/۱۷۴	۰/۳۸۹	۰/۷۱۳	۰/۶۲۴	۰/۱۸۷	۰/۵۱۲	۰/۵۳۹	۰/۸۰۶

نتیجه‌گیری

براساس بررسی سه فرض اساسی الگو (نرمال بودن، نارایی و استقلال)، داده‌های بارش روزانه از توزیع نرمال دورند و نقاط پرت زیادی دارند و با دوره زمانی همبستگی معناداری ندارند. برعکس، توزیع داده‌های دمای کمینه و بیشینه روزانه نزدیک به نرمال بوده، داده پرت زیادی ندارند؛ ولی داده‌ها نسبت به زمان دارای همبستگی معناداری‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هیچ‌کدام از داده‌های دما و بارش دارای سه فرض اساسی به‌طور کامل نیستند. از این رو، در تحلیل آماری و الگوبندی باید از روش‌های ناپارامتری یا از مؤلفه جایگزین مانند تعداد روزهای خشک و تر استفاده کرد.

براساس نتایج این پژوهش، در الگوی SDSM انتخاب مناسب پیش‌بینی‌کننده یا متغیرهای وابسته در الگوی رگرسیون چندمتغیره، تأثیر بسزایی بر افزایش عملکرد نتایج الگو می‌گذارد. بدیهی است کارایی متخصص هواشناسی در اجرای الگو تأثیر زیادی بر این امر می‌گذارد. در طرف دیگر، الگوی LARS-WG الگوی مولد تصادفی است که داده‌های کمینه و بیشینه دمای روزانه، بارش روزانه و تشعشع (ساعت‌های آفتابی) روزانه ایستگاه بررسی شده را ورودی در نظر گرفته و با استفاده از الگوهای جهانی تغییر اقلیم (GCM) سناریوی آینده را خروجی در نظر می‌گیرد. الگوی LARS-WG الگوی خودکاری است و تأثیر کاربر بر نتایج الگو کم است.

برای مقایسه عملکرد دو الگوی ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG از روش‌های نموداری و آماری کمک گرفته شد. در این بررسی، مقادیر قدرمطلق اختلاف مقادیر ریزمقیاس شده و مشاهدات در دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به‌مثابه شاخص در تحلیل نموداری استفاده شد. نتایج تحلیل نموداری (شکل ۶) نشان می‌دهد در مجموع مقادیر قدرمطلق اختلافات در ماه‌های مختلف در الگوی SDSM برای مؤلفه‌های کمینه و بیشینه دمای روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد. برای بارش روزانه مقادیر قدرمطلق اختلاف در ماه‌های مختلف برای دو الگو تقریباً نزدیک به هم است. البته نتایج در دو ایستگاه تبریز و ارومیه کمی با هم اختلاف دارند؛ ولی معنادار نیست.

برای بررسی معناداری اختلاف مقادیر ریزمقیاس شده از مشاهدات در دو الگوی یادشده، از آزمون ناپارامتری من-ویتنی کمک گرفته شد. براساس نتایج، برای مؤلفه کمینه دمای روزانه در هر دو الگوی SDSM و LARS-WG تقریباً در نیمی از ماه‌ها خطای الگو معنادار است؛ هرچند عملکرد الگوی SDSM بهتر است. البته با بررسی بیشتر این الگو و انتخاب مناسب‌تر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ‌مقیاس که از داده‌های NCEP-NCAR اخذ شده است و منطقه جغرافیایی مناسب، می‌توان به عملکرد بهتری رسید. برای مؤلفه بیشینه دمای روزانه نیز الگوی SDSM عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد که این امر تأیید نتایج نموداری است. نتایج ریزمقیاس نمایی برای مؤلفه بیشینه دمای روزانه دارای خطای کمتری نسبت به کمینه دمای روزانه است؛ به‌خصوص در الگوی SDSM در ایستگاه تبریز فقط ماه ژانویه دارای خطای معنادار الگو است. برای بارش روزانه نیز دو الگو عملکرد خوبی دارند؛ به‌خصوص در ایستگاه تبریز، مقادیر خطای دو الگو در هیچ ماهی معنادار نیست و براساس نتایج مشابهی که از نمودار گرفته شده، عملکرد دو الگو برای بارش روزانه تاحدودی مشابه است.

به‌طور کلی، می‌توان گفت براساس نتایج دو الگوی ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG روی ایستگاه‌های تبریز و ارومیه، برای مؤلفه‌های کمینه و بیشینه دمای روزانه الگوی SDSM نسبت به الگوی LARS-WG

عملکرد بهتری دارد. برای مؤلفه بارش روزانه عملکرد دو الگو در دو ایستگاه تاحدودی مشابه است. البته باتوجه‌به اینکه توزیع آماری داده‌های بارش روزانه نرمال نیست، نمی‌توان به نتایج الگوها اطمینان کرد و پیشنهاد می‌شود به‌جای استفاده از بارش در تحلیل‌ها از تعداد روزهای خشک و تر استفاده شود.

منابع

- اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ. و داوری، ک. (۱۳۹۰). «پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در بیست سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)». نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ج ۲۵، ش ۴. مهر- آبان: ۹۴۵-۹۵۷.
- باباییان، ا.، نجفی نیک، ز.، حبیبی نوخندان، م.، زابل عباسی، ف.، ادب، ح. و ملبوسی، ش. (۱۳۸۶). «مدل‌سازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G». کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب. ۲۴ بهمن ۱۳۸۶.
- باباییان، ا. و کوهی، م. (۱۳۹۱). «ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی». نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ج ۲۶، ش ۴. مهر- آبان: ۹۵۳-۹۶۷.
- دهقانی‌پور، ا.ح.، حسن‌زاده، م.ج.، عطاری، ج. و عراقی‌نژاد، ش. (۱۳۹۰). «ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز)». یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. ۲۰-۱۸ بهمن ۱۳۹۰.
- گل‌محمدی، م. و مساح بوانی، ع.ر. (۱۳۹۰). «بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم». نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ج ۲۵، ش ۲. خرداد- تیر: ۳۱۵-۳۲۶.
- Ashraf, B., Mousavibaygi, M., Kamali, G. and Davari, K. (2011). "Predict seasonal changes of climatology parameters in next 20 years by using statistical downscaling of HADCM3 model output(case study: Korasan Razavi Province)". Journal of Water and Soil (Science and Industrial Agriculture). Vol. 25. No. 4. Nov 2011: 945-957. (In Persian).
- Babaeian, A., Najafinik, Z., Habibinokhandan, M., Zabolabbasi, F., Adab, H. and Malbousi, S. (2007). "The modeling of Iran climate in the period 2010-2039, by using statistical downscaling of ECHO-G model output". Technical workshop on climate change impacts on water resources management. 13 Feb 2007. (In Persian).
- Babaeian, A. and Kouhi, M. (2012). "Indexes evaluation of agriculture climate under climate change scenarios at selected stations in Khorasan Razavi". Journal of Water and Soil (Science and Industrial Agriculture). Vol. 26. No. 4. Nov 2012: 953-967. (In Persian).
- Dehghanipoor, A., Hassanzadeh, M., Attari, J. and Eraghinejad, S. (2011) "Evaluation of empowerment of SDSM model in downscaling of precipitation, temperature and evaporation (Case study: Tabriz station)". Eleventh Seminar irrigation and evaporation. 18-20 February 2011. (In Persian).
- Golmohammadi, M. and Masahboani, A. (2011). "Evaluation of drought severity and recurrence in future periods affected by climate change in the basin Gharehsou". Journal of Water and Soil (Science and Industrial Agriculture). Vol. 25. No. 2. Jun 2011: 315-326. (In Persian).
- Cheema, S.B., Rasul, G., Ali, G., Kazmi, D.H. (2013). "A Comparison of Minimum Temperature Trends with Model Projections". Pakistan Journal of Meteorology. Vol. 8. Issue 15.
- Karamouz, M., Fallahi, M., Nazif, S. and Rahimi Farahan, M. (2009). "Long Lead Rainfall Prediction Using Statistical Downscaling and Artificial Neural Network Modeling". Transaction A: Civil Engineering. Vol. 16. No. 2: 165-172.
- Kazmi, D.H., Rasul, G., Li, J. and Cheema, S.B. (2014). "Comparative Study for ECHAM5 and SDSM in Downscaling Temperature for a Geo-Climatically Diversified Region, Pakistan". Applied Mathematics. Vol. 5: 137-143.

- Meenu, R., Rehana, S. and 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. and Alam, M.J.B. (2014) "Performance Study of Global Circulation Model HADCM3 Using SDSM for Temperature and Rainfall in North-Eastern Bangladesh". Journal Of Scientific Research. 6 (1): 87-96.
- Rajabi, A. and Shabanlou, S. (2012) "Climate Index Changes In Future By Using SDSM In Kermanshah, Iran". Journal of Environmental Research And Development. Vol. 7. No. 1. July-September 2012.
- Resko, P., Szeidl, L. and Semenov, M.A. (1991) "A serial approach to local stochastic models". J. Ecological Modeling. 57: 27-41.
- Sajjad Khan, M., Coulibaly, P. and Dibike, Y. (2006) "Uncertainty analysis of statistical downscaling methods". Journal of Hydrology. 319: 357° 382.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow, E.M. (2002). "A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts". Environmental Modelling & Software. 17: 147° 159.
- Zhaofei, Liu, Zongxue, Xu, Charles, S.P., Guobin, Fu and Liu, L. (2011). "Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China". Int. J. Climatol. 31: 2006° 2020.

