

ریزمقیاس نمایی مدل گردش عمومی جو و کاربرد آن در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گیلان

ایمان فاتحی^۱، بهمن جباریان امیری^{۲*}، ناصر محمدزاده^۳

۱- دانشجوی دکترای مدیریت منابع آب، دانشگاه اشتوتنگارت، آلمان

۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، تهران، ایران

۳- دانشجوی ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۹/۳)

چکیده

یکی از چالش‌هایی که بشر با آن روبرو است، مسئله تغییر اقلیم و مشکلات ناشی از آن می‌باشد. تغییر اقلیم پدیده‌ای انکارناپذیر است. اقلیم عبارتند از شرایط متوسط جوی در یک محل که شامل عوامل تشکیل دهنده آن اعم از دما، بارندگی، رطوبت و غیره. به عبارت دیگر اقلیم، متوسط بلند مدت وضع هوای یک ناحیه است. لذا شبیه‌سازی شرایط جوی در یک مکان می‌تواند به پیش‌بینی وقایع حدی و رخداد های اقلیمی در آینده به طور قابل توجهی کمک بزرگی بکند. در این پژوهش نیز به بررسی و ارزیابی توان مدل ریزمقیاس‌نمایی لارس در داده‌سازی و پیش‌بینی اقلیم استان گیلان پرداخته شده‌است. براین اساس از داده‌های دیده‌بانی روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک این استان که دارای طول داده حداقل ۱۵ سال بوده‌اند، طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۹ میلادی استفاده شده‌است. متغیرهای مورد بررسی شامل؛ بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش بوده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده‌است که بیشترین خطای مطلق داده‌های تولیدشده بارش، ۱۴/۴۸ و مربوط به ایستگاه آستارا بوده، همچنین بیشترین اریبی بارش نیز مربوط به همین ایستگاه و به میزان ۴/۳۵- بوده‌است. اما عملکرد مدل در داده‌سازی دمای حداقل و حداکثر بسیار مطلوب بوده و بیشترین خطای مطلق دمای حداقل مربوط به ایستگاه انزلی و به مقدار ۰/۱۷ و با اریبی ۰/۰۶۵ بوده‌است. درمورد دمای حداکثر نیز ایستگاه رشت با خطای مطلق ۰/۲۶ و اریبی ۰/۲۳ بیشترین انحراف - را داشته‌است. درمورد عملکرد مدل در پارامتر تابش نیز، ایستگاه رشت با خطای مطلق ۰/۳۱ و اریبی ۰/۰۸ بیشترین انحراف را داشته‌است. براساس نتایج بدست آمده مدل لارس، از توان لازم جهت مدلسازی اقلیمی استان گیلان برخوردار بوده‌است.

واژگان کلیدی: تغییرات اقلیمی، پیش‌بینی اقلیم آتی، ریزمقیاس‌نمایی، مدل آماری، خطای مطلق، مدل لارس، استان گیلان

نگرفتن پویایی پارامترهای اقلیمی، سبب کاهش ضمانت پایدار ماندن توسعه در سالیان آتی سرزمین خواهد شد.

ارزیابی آسیب‌پذیری و سازگاری یافتن در مقابل تغییرات اقلیمی، تنها با بررسی آمار و اطلاعات وضعیت و تغییرات دوره‌های گذشته ممکن نیست و به آگاهی از شرایط اقلیمی سرزمین در آینده نیز وابسته است. متداول‌ترین روش ارزیابی اقلیم آینده، بهره‌گیری از مدل‌های گردش عمومی جو است. در کنار این مدل‌ها که به اصطلاح "سناریوهای اقلیمی" نیز نامیده می‌شوند، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز با توجه به رویکرد احتمالی بشر طی سالیان آتی در تولید آلاینده‌های گازی در جو، که بر وضعیت اقلیم جهانی نیز تاثیرگذارند، طرح می‌شود. به طوری که مدل‌های گردش عمومی جو، اطلاعات مفیدی درباره پاسخ جو به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای فراهم می‌کنند. اما مدل‌های گردش عمومی جو دارای دقت فضایی و زمانی لازم نیستند تا اقلیم دهه‌های آتی را در مقیاس محلی و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی، ارزیابی و پیش‌بینی قرار دهند. آنها می‌توانند وضع اقلیم آینده را در یک مقیاس نسبتاً وسیع، حدود 300×300 کیلومتر (سطحی در حدود مساحت کشور پرتغال) پیش‌بینی کنند که ممکن است در داخل این شبکه گسترده چندین ایستگاه هواشناسی واقع شده باشد. علت ضعف این مدل‌ها در عدم پیش‌بینی در مقیاس‌های مکانی و زمانی کوچک‌تر، به نبود سامانه‌های قدرتمند محاسبات عددی، غیر اقتصادی بودن و زمان‌بر بودن آنها برمی‌گردد. برای چیرگی بر این مشکل بایستی خروجی مدل‌های اقلیمی را به مقیاس‌های کوچک‌تر تبدیل کرده تا بتوان اقلیم محلی و ایستگاهی را مورد پیش‌بینی و ارزیابی قرارداد، که به این فرایند به

صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته باعث افزایش دمای کره زمین^۳ و تغییر در دیگر پارامترهای اقلیمی شده‌است که به آن پدیده تغییر اقلیم گفته می‌شود (IPCC^۴, 1995). افزایش گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی و در نتیجه تشدید تغییرات پارامترهای اقلیمی، می‌تواند تأثیرات منفی زیادی را بر سیستم‌های گوناگون از جمله منابع آب، محیط زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه سیستم‌هایی که در کنش با دستگاه اقلیم هستند، بگذارد (IPCC, 2001; IPCC, 2007). پیامدهای منفی این پدیده برای بشر تا آنجا می‌تواند مخرب باشد که در بین ده عامل تهدید آمیز بشر در قرن بیست و یکم، مانند فقر، سلاح‌های هسته‌ای، کمبود غذا، پدیده تغییر اقلیم مقام اول را به خود اختصاص داده‌است (IPCC, 2007).

مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم، تاثیرگذاری آن بر پدیده‌های حدی جوی و اقلیمی نظیر طوفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرماهای ناهنگام خواهد بود. اهمیت بررسی و مدلسازی هرچه دقیق‌تر اقلیم از نگاه دیگری نیز قابل طرح است و آن اهمیت پارامترهای اقلیمی در طرح‌های آمایش سرزمین است، که با این وجود داده‌های مورد استفاده اقلیمی در این پژوهش‌ها که نتایج آن زمینه‌ساز شکل‌گیری توسعه پایدار در حوضه مورد مطالعه خواهد بود شامل؛ نقشه‌ها و داده‌های مربوط به آمارهای ثبت شده دوره دیده‌بانی منطقه بوده، در صورتی که، اقلیم برخلاف پارامترهای اکولوژیکی پایداری چون؛ زمین‌شناسی و خاکشناسی سرزمین، دارای ماهیتی ناپایدار بوده و تحت تاثیر تغییرات جهانی ناگهانی و دوره‌ای اقلیم می‌باشد. در نظر

³ Global Warming

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change

لارس بوده‌است. همچنین Meshkvati و همکاران (2010) به بررسی توان مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان طی دوره آماری ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۷ پرداختند و نتیجه‌گیری نمودند که بطور کلی عملکرد مدل لارس در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی ایستگاه‌های تحت بررسی مناسب است و می‌توان از آن جهت بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها در دوره گذشته و یا تطویل این داده‌ها به دوره آینده بهره جست.

۱-۱ پیشنهاد تحقیق

حستان و همکاران^{۱۰} در سال ۲۰۱۴ در پژوهشی تحت عنوان "استفاده از SDSM و LARS-WG برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس نمایی بارش و دما" به مطالعه مدل ریزمقیاس نمایی آماری برای تولید متغیرهای هواشناسی با ارزش استفاده کردند. به عنوان مثال برای بارش و دما در سایت‌های منتخب شده در پنینسولار مالزی از این دو مدل استفاده کردند که عبارتند از: (۱) مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM که برای مدل رگرسیون ژنراتور آب و هوای تصادفی استفاده می‌شود، (۲) ژنراتورهای آب و هوای ایستگاه تحقیقاتی لانگ اشتون LARS-WG که فقط برای تولید آب و هوای تصادفی استفاده می‌شود. این دو مدل به عنوان ابزارهایی برای اندازه‌گیری کمی ویژگی‌های محیطی در مقیاس محلی استفاده می‌شوند. نتایج نشان داد اگرچه هر دوی این دو مدل نتایج یکسانی ارائه نمی‌دهند ولی هر دوی این روش‌ها روند افزایش عمومی در میانگین درجه حرارت روزانه را نشان می‌دهد (Hassan et al., 2014).

ضرغامی و همکاران^{۱۱} در سال ۲۰۱۱ در پژوهشی تحت عنوان "اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب در

اصطلاح "ریزمقیاس نمایی" می‌گویند. از روش‌های ریزمقیاس نمایی می‌توان به ریزمقیاس نمایی دینامیکی و آماری اشاره کرد. با توجه به این‌که ریزمقیاس نمایی دینامیکی نیاز به سامانه‌های بسیار سریع داشته که اغلب کشورها فاقد آن هستند، لذا توجه عمومی به روش ریزمقیاس نمایی آماری معطوف شده‌است. از جمله این مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری جهت مدل‌سازی اقلیم طی دهه‌های آتی، مدل ریزمقیاس نمایی لارس^۵ می‌باشد.

نسخه اولیه مدل لارس توسط راسکو^۶ و همکاران در سال ۱۹۹۱ در بوداپست مجارستان ابداع گردید و سپس توسط سمونوف و بارو^۷ ارتقاء یافت. Semenov و همکاران (1998) کارایی دو مدل لارس و وژن^۸ را در ۱۸ ایستگاه سینوپتیک ایالات متحده آمریکا، اروپا و آسیا بررسی کرده و نتیجه‌گیری نمودند که مدل لارس کارکرد بهتری در انطباق داده‌های هواشناسی تولیدی با داده‌های ثبت شده در دوره دیده‌بانی داشته‌است. Babaeian و همکاران (2006) نیز به بررسی توانایی مدل لارس در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی استان خراسان رضوی طی دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳ پرداخته و نتیجه‌گیری نمودند که مدل لارس متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر را در سه ایستگاه مشهد، سبزوار و بیرجند کمتر از مقادیر واقعی شبیه‌سازی نموده ولی به‌طور کلی توانایی مدل مورد قبول بوده‌است. Bazrafshan و همکاران (2009) نیز طی پژوهشی عملکرد دو مدل لارس و کلیمژن^۹ را در تولید پارامترهای هواشناسی ایران بررسی کرده و نتیجه گرفتند که عملکرد مدل لارس در شبیه‌سازی بارش و تابش بهتر از کلیمژن می‌باشد اما در مورد دما کارکرد مدل کلیمژن بهتر از

⁵ LARS-WG

⁶ Rasco

⁷ Semenov & Barrow

⁸ WGEN

⁹ ClimGen

¹⁰ Hassan et al.

¹¹ Koukidis and Berg.

نمایی آماری استفاده شده به عنوان مثال 14 SSVM و 15 SDSM، سناریوهای انتشار A2 از CGCM3 و HadCM3 برای مدت مشابه که به عنوان ورودی به مدل ریزمقیاس نمایی آماری استفاده شده است و سناریوهای آب و هوا در مقیاس محلی پایین تر به شکل ورودی برای مدل های هیدرولوژیکی Xin-anjiang و HBV. نتایج نشان می دهد که: (۱) برای GCM مشابه، شبیه سازی رواناب ها تا حد زیادی متفاوت است وقتی که بارش باران توسط تکنیک های ریزمقیاس نمایی آماری مختلفی همانند ورودی برای مدل های هیدرولوژیکی استفاده شود، (۲) گرچه باید به طور گسترده از آمار در متن برای ارزیابی روش های ریزمقیاس نمایی استفاده شود، اما نشان داده شده که SDSM عملکرد بهتری نسبت به SSVM در ریزمقیاس نمایی بارش دارد البته بجز در حالت 15 NSC و 16 RSR، ولی باید توجه داشت که بهره وری شبیه سازی رواناب هدایت شده توسط بارش SDSM خیلی کمتر از حالت بارش SSVM است، (۳) با مقایسه آمارهای مختلف در شبیه سازی بارش و رواناب، می توان نتیجه گرفت NSC و RSR بین شبیه سازی و مشاهده بارش می تواند به عنوان آمار کلیدی برای ارزیابی بهره وری مدل های ریزمقیاس نمایی آماری وقتی که سناریوهای بارش پست تر به شکل ورودی برای مدل های هیدرولوژیکی به کار می روند استفاده می شوند (Chen et al., 2012).

آذربایجان شرقی" به این نتیجه رسیدند که در سال های اخیر، خشکسالی های مکرر آب و هوایی، تهدیداتی بر روی موجودی منابع آب در آذربایجان شرقی ایران داشته است. از آنجا که افزایش تقاضا برای آب بیشتر شده، پس مطالعه بر روی پتانسیل تغییرات آب و هوایی و اثرات آن بر روی منابع آب امری ضروری است. در این تحقیق برای پیش بینی تغییرات آب و هوایی بر اساس مدل گردش عمومی GCM از ابزار ریزمقیاس نمایی موفق LARS-WG استفاده شده است. این ژنراتور آب و هوای تصادفی تغییرات آب و هوایی را در ۶ ایستگاه سینوپتیک استان را با استفاده از مدل HADCM3 و ۳ سناریوی انتشار A1B، A2 و B1 در سال های ۲۰۲۰، ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰ ریزمقیاس نمایی کرده است. نتایج پژوهش بر اساس سناریوی A2 متوسط سالانه افزایش درجه حرارت را ۲/۳ درجه سانتی گراد و کاهش بارش سالانه را ۳٪ در میانه این قرن نشان می دهد. این تغییرات، تغییرات آب و هوای استان را از نیمه خشک به خشک در شاخص دومارتین نشان می دهد (Zarghami et al., 2011).

چن و همکاران^{۱۲} در سال ۲۰۱۲ در پژوهشی تحت عنوان "مقایسه و ارزیابی مدل های گردش عمومی GCMs متعدد، مدل های ریزمقیاس نمایی و مدل های هیدرولوژیکی در مطالعه اثرات تغییرات آب و هوا بر روی رواناب" به مقایسه و ارزیابی دقیقی بین تفاوت نتایج با استفاده از تکنیک های ریزمقیاس نمایی مختلف، مدل های گردش عمومی و مدل های هیدرولوژیکی در حوضه بالادست هانجیانگ^{۱۳} در چین می پردازند. این مطالعه شامل مراحل زیر می باشد: تحلیل مجدد NCEM/NCAR در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ برای کالیبراسیون و تأیید اعتبار ریزمقیاس

¹⁴ Smooth Support Vector Machine

¹⁵ Nash-Sutcliffe efficiency

¹⁶ root mean square error-observation standard deviation ratio

¹² Chen et al.

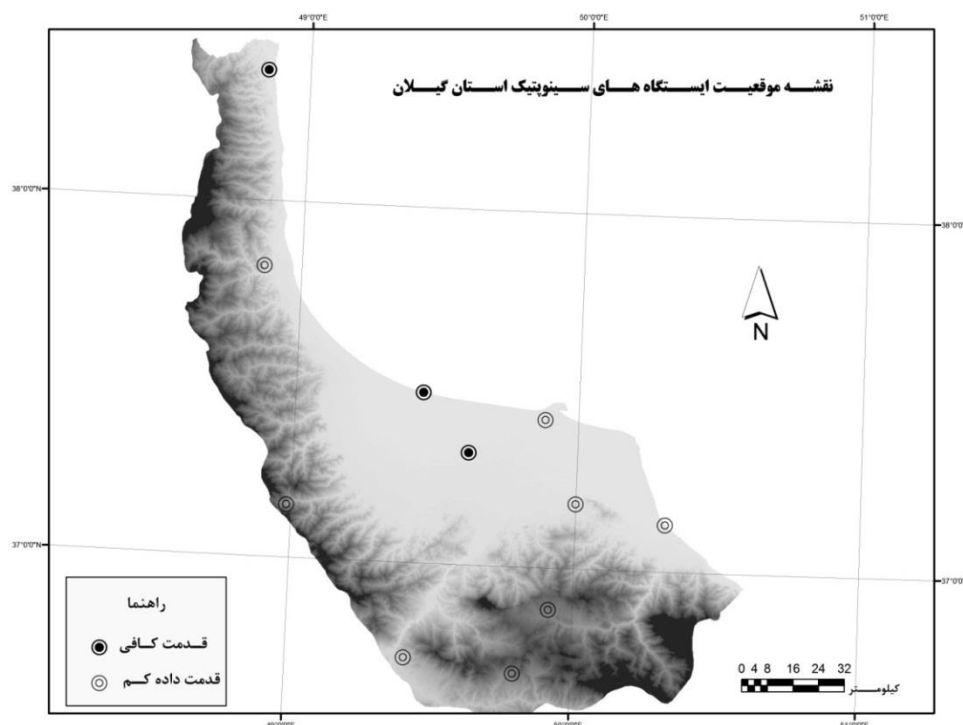
¹³ Hanjiang

۴۸ تا ۳۳' ۵۰° شرقی و ۳۳' ۳۶° تا ۲۹' ۳۸° شمالی واقع شده است. ۱۱ ایستگاه سینوپتیک در استان گیلان قرار دارند، که به دلیل نیاز این پژوهش به قدمت حداقل ۱۵ ساله داده‌ها تنها داده‌های ۳ ایستگاه آستارا، انزلی و رشت در این پژوهش قابل استفاده بوده است، شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک استان گیلان را نشان می‌دهد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان گیلان با مساحت ۱۴۰۴۲ کیلومترمربع یکی از استان‌های شمالی ایران است که در کرانه جنوب غربی دریای خزر و دامنه‌های شمالی البرز غربی و دامنه‌های شرقی تالش در محدوده‌ی ۳۲°



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک استان گیلان

۲-۲ مدل لارس

تا ۲۰۰۹ به عنوان دوره پایه دیده‌بانی برگزیده شده و اطلاعات روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک انزلی، آستارا و رشت در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌است. داده‌های مورد استفاده شامل؛ بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش بوده‌است.

استان گیلان با مساحت ۱۴۰۴۲ کیلومترمربع در پژوهش کنونی جهت ارزیابی توان مدل ریزمقیاس نمایی اقلیمی لارس در تولید داده‌های هواشناسی استان گیلان، از داده‌های سه ایستگاه سینوپتیک این استان که دارای حداقل ۱۵ سال داده روزانه پشت سرهم بوده‌اند، استفاده شده‌است. دوره آماری ۱۹۹۵

و B1^{۱۹} استفاده شده است. پس از ارزیابی توانمندی مدل در هر ایستگاه، جهت تولید داده برای دوره های آینده، فایل سناریوی تغییر اقلیم، با توجه به خروجی مدل های گردش عمومی جو برای محل مورد مطالعه تدوین و برای مدل تعریف گردیده است (Semenov & Barrow, 2002). در پایان مدل با دریافت فایل محتوی رفتار اقلیم گذشته ایستگاه و فایل سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش روزانه را در دوره زمانی مورد نظر محاسبه کرده است. مکانیسم عمل مدل به این صورت بوده که در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که در برگیرنده رفتار اقلیم پایه می باشد، تمامی داده های ماهانه را مطابق رابطه-۱:

رابطه ۱-

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base})$$

پیشیده^{۲۰} کرده که در آن F_{fut} ، F_{obs} به ترتیب نشان دهنده پارامترهای هواشناسی پیش بینی شده بر روی ایستگاه هواشناسی، پارامتر هواشناسی دیدبانی شده در همان ایستگاه، F_{GCM}^{fut} پارامتر هواشناسی پیش بینی شده بر روی شبکه مدل در دوره آینده و F_{GCM}^{base} پارامتر هواشناسی مدل شده بر روی شبکه مدل در دوره گذشته بوده است. سپس با حفظ میانگین انحراف معیار آن ها را مطابق رابطه-۲:

رابطه ۲-

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{OBS}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM}$$

تغییر داده است (Babaeian et al., 2004). که در آن STD انحراف معیار پارامتر هواشناسی تحت بررسی است. که در این پژوهش تمرکز بر روی مرحله صحت سنجی و ارزیابی توان مدل بوده است. جهت ارزیابی و بررسی توان مدل در داده سازی

LARS-WG یکی از مشهورترین مدل های مولد داده های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، دماهای حداقل و حداکثر و تابش روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می رود (Babaeian et al., 2008). مدل لارس برای مدلسازی متغیرهای هواشناسی توزیع های آماری پیچیده ای را به کار می برد. مبنای این مدل برای مدلسازی بارش روزانه و احتمال وقوع آن، روش توزیع نیمه تجربی و زنجیره مارکف بوده، و مدلسازی تابش براساس توزیع نیمه تجربی و همچنین مدل سازی دما با استفاده از سری فوریه انجام می پذیرد (Semenov & Barrow, 2002). پارامترهای اقلیمی در مدل لارس طی دو مرحله شبیه سازی می شوند، نخست پارامتر بارش و شدت آن و در گام بعد، سایر پارامترهای باقی مانده شامل؛ دمای حداقل و حداکثر، تابش، رطوبت و سرعت باد را شبیه سازی می کنند (Johnson et al., 1996).

پس از آماده سازی داده های روزانه دوره دیده بانی در قالب قابل قبول برای مدل لارس، این داده ها را به مدل معرفی شده و مدل پس از بررسی روند تغییرات این متغیرها، فایل رفتار اقلیم بومی منطقه را در دوره گذشته براساس آن تولید کرده است. جهت ارزیابی توان مدل در تولید داده های آب و هوایی منطقه مورد مطالعه ۲ شیوه قابل استفاده بوده است، نخست استفاده از گزینه آزمون آماری مدل لارس و دوم تولید داده های هواشناسی در دوره یکسان با دوره دیده بانی براساس یکی از مدل های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار مربوطه، که در این پژوهش از هردو روش استفاده شده است. بدین منظور در روش دوم از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوهای انتشار سه گانه آن، شامل؛ A1B^{۱۷}، A2^{۱۸}

^{۱۹} با فرض توسعه پایدار محیط زیستی جامعه در دوره آتی

²⁰ Perturbation

^{۱۷} با فرض رشد اقتصادی سریع جامعه در دوره آتی

^{۱۸} با فرض توسعه اقتصادی منطقه محور جامعه در دوره آتی

پس از طی فرایند مدل‌سازی و بررسی داده‌های تولید شده توسط مدل، از آزمون آماری تی استیودنت جهت ارزیابی و بررسی توان مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گیلان استفاده گردیده و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در ادامه به دلیل حجم زیاد نمودارها در این گزارش تنها به نمایش نمودارهای ایستگاه سینوپتیک رشت اکتفا شده است.

نمودار بارش ماهانه مشاهداتی و مدل‌سازی شده و انحراف معیار آن‌ها در ایستگاه سینوپتیک رشت طی دوره دیده‌بانی ۲۰۰۹-۱۹۹۵ در شکل ۲ آورده شده است. براساس شکل ۲ بارش در ماه‌های فوریه، اپریل و اکتبر بیش از داده‌های دیده بانی برآورد شده‌اند و انحراف معیار مدل‌سازی شده نیز در ماه اکتبر با اختلاف بیشتری بیش از داده‌های دیده‌بانی مدل‌سازی شده است و در ماه‌های فوریه، مارچ، جولای و دسامبر کمتر از داده‌های واقعی مدل‌سازی شده‌اند. ولی براساس نتایج آزمون تی استیودنت در سطح ۹۵٪ بطور کلی داده‌های مدل‌سازی و مشاهداتی در تطابق قابل قبولی با یکدیگر بوده‌اند.

پارامترهای هواشناسی در دوره دیده‌بانی (۱۹۹۵ تا ۲۰۰۹ میلادی)، اریبی و خطای مطلق (MAE^{21}) بین داده‌های دیده‌بانی برداشت شده از هر ایستگاه سینوپتیک و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل برای این دوره، محاسبه شده است، بدین منظور از روابط ۳ و ۴ استفاده گردیده است.

$$\text{رابطه ۳-} \quad Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)$$

$$\text{رابطه ۴-} \quad MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i - O_i|$$

که در این روابط S_i و O_i به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر واقعی و مدل‌سازی شده می‌باشند و i بیانگر ماه‌های سال است (Meshkvati et al., 2010).

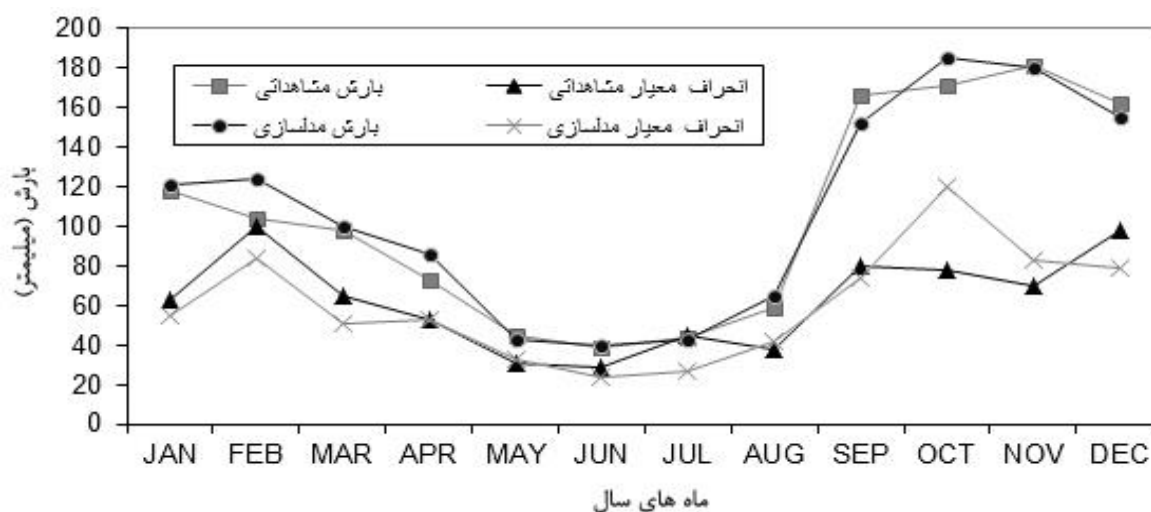
۳- نتایج

مدل‌های تولید کننده پارامترهای اقلیمی جهت جایگزینی داده‌های گمشده یا ثبت نشده ایستگاه‌ها و همچنین تطویل آن‌ها برای دوره‌های طولانی برای مطالعه دوره بازگشت پدیده‌های حدی هواشناسی مانند بارش‌های سیل‌آسا و خشکسالی، به خوبی قابل استفاده‌اند. اما توانمندی این مدل‌ها در شبیه‌سازی و تولید پارامترهای اقلیمی، تاثیر مستقیم بر روی نتایج کار خواهد داشت. در این پژوهش از داده‌های سه ایستگاه سینوپتیک استان گیلان که دارای حداقل ۱۵ سال داده برداشت شده مورد نیاز جهت استفاده در مدل‌سازی بوده‌اند، استفاده شده است. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ قابل مشاهده است.

²¹ Mean Absolute Error

جدول ۱: موقعیت و طول دوره آماری ایستگاههای مورد مطالعه

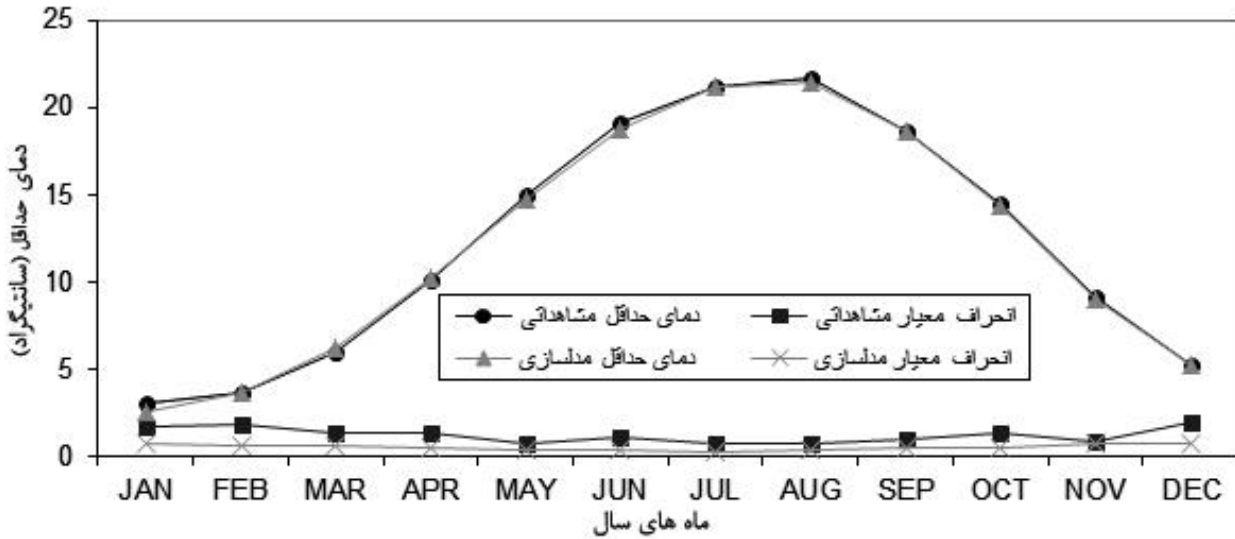
ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	طول دوره آماری
۱	انزلی	۴۹/۲۷	۳۷/۲۹	-۲۳/۶	۱۹۹۵-۲۰۰۹
۲	آستارا	۴۸/۵۱	۳۸/۲۲	-۲۱/۱	۱۹۹۵-۲۰۰۹
۳	رشت	۴۹/۳۷	۳۷/۱۹	-۸/۵	۱۹۹۵-۲۰۰۹



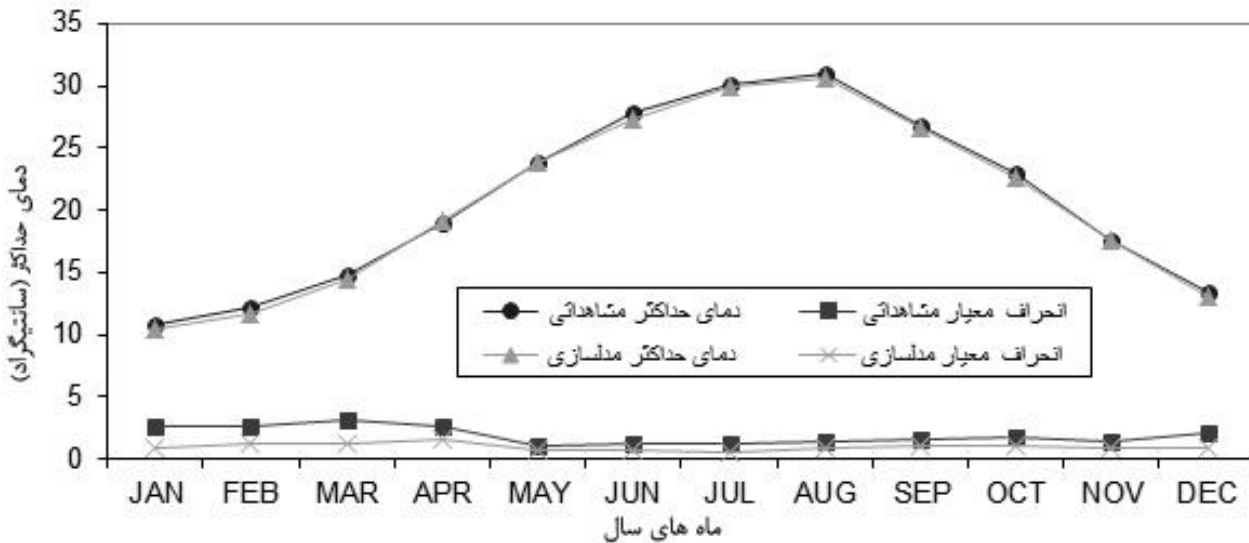
شکل ۲: نمودار میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش و همچنین انحراف معیار آن‌ها در ایستگاه سینوپتیک رشت (۱۹۹۵-۲۰۰۹)

دوره دیده‌بانی داشته است به طوری که در سطح ۹۹٪ این تطابق در آزمون آماری تی استیودنت تأیید شده است. تنها تفاوت اندکی در انحراف معیارهای ماهیانه وجود داشته به طوری که انحراف معیار داده‌های مدل‌سازی شده در اغلب ماه‌های سال کمتر از داده‌های مشاهداتی بوده است.

شکل‌های ۳ و ۴ نیز به ترتیب نمودار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداقل و حداکثر و همچنین انحراف معیار آن‌ها در ایستگاه سینوپتیک رشت طی دوره ۱۹۹۵-۲۰۰۹ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، داده‌های مدل‌سازی شده دمای حداقل تطابق بسیار زیادی با داده‌های مشاهداتی



شکل ۳: نمودار میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداقل و همچنین انحراف معیار آن در ایستگاه سینوپتیک رشت (۱۹۹۵-۲۰۰۹)



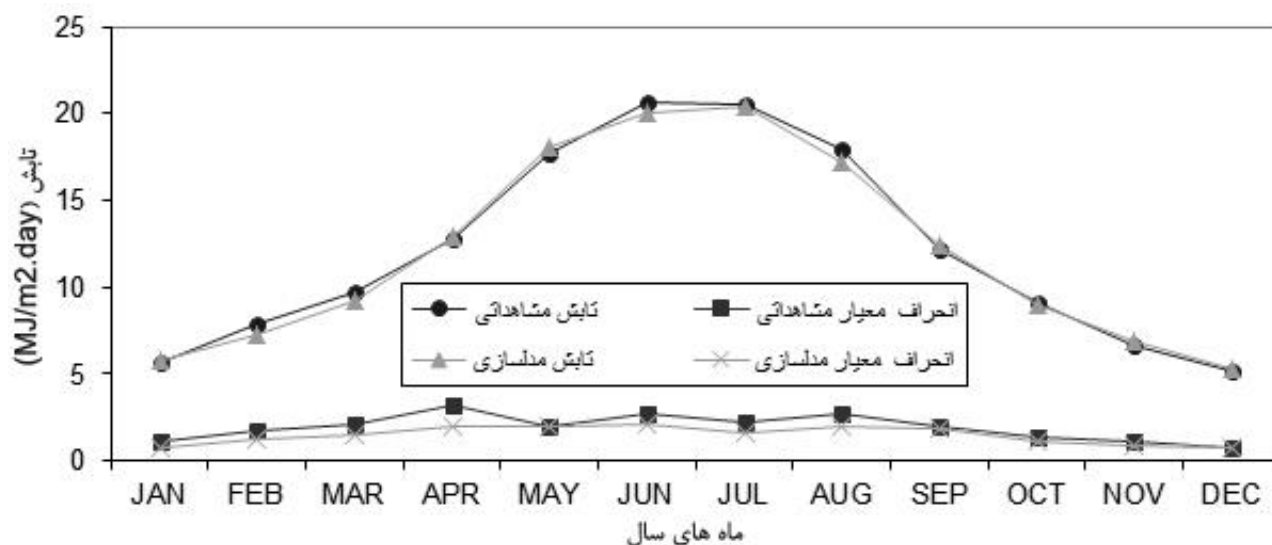
شکل ۴: نمودار میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداکثر و همچنین انحراف معیار آن در ایستگاه سینوپتیک رشت (۱۹۹۵-۲۰۰۹)

اندکی تفاوت در انحراف معیارهای دو گروه داده وجود دارد، به طوری در سه ماهه اول سال و ماه دسامبر انحراف معیار داده‌های تولیدی توسط مدل با اختلاف بیشتری از داده‌های مشاهداتی کمتر بوده و در سایر ماه‌های سال، اختلاف میان این مقادیر بسیار اندک می‌باشد.

همچنین، همان‌طور که در شکل ۴ نیز مشخص شده است، مدل لارس توان بسیار بالایی در مدل‌سازی میانگین ماهانه دمای حداکثر در ایستگاه گیلان داشته است، به طوری که براساس آزمون آماری تی استیودنت در سطح ۹۹٪ تطابق میان داده‌های تولیدی مدل در این پارامتر نیز با داده‌های مشاهداتی دوره دیده‌بانی تأیید شده است. در این پارامتر نیز تنها

وجود نداشته‌است و براساس آزمون آماری تی استیودنت در سطح ۹۹٪ تطابق میان داده‌های تولیدی مدل در پارامتر تابش با داده‌های مشاهداتی دوره دیده‌بانی تأیید شده است. در مورد انحراف معیار داده‌های تابش ثبت شده و مدل‌سازی شده، بیشترین اختلاف در ماه اپریل ثبت شده است که در آن داده‌های ثبت شده انحراف معیار بیشتری داشته‌اند، اما به طور کلی در پارامتر تابش نیز انحراف معیار داده‌های مدل‌سازی شده از داده‌های ثبت شده کمتر بوده است.

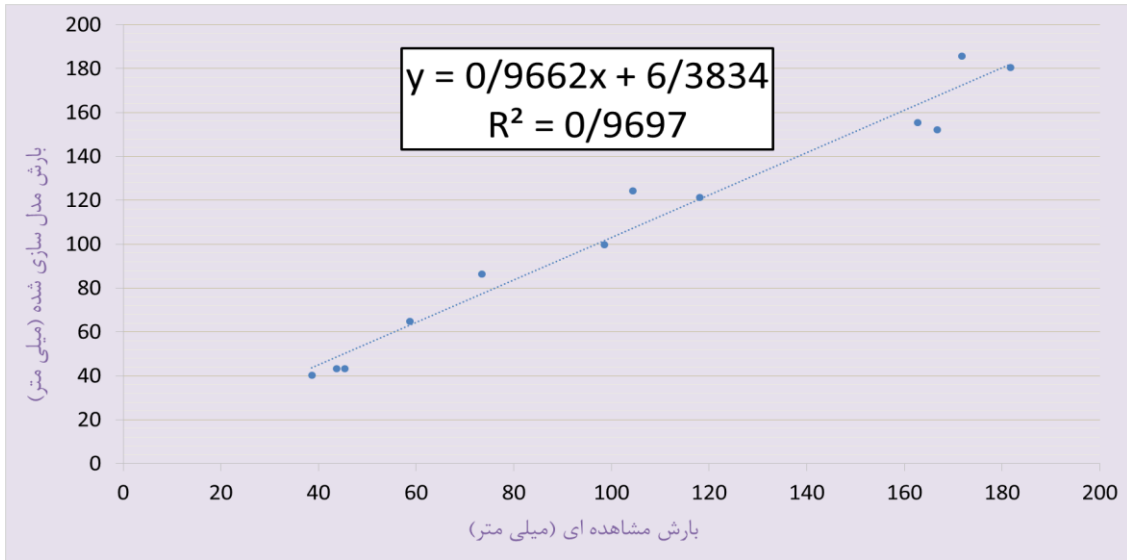
نمودار تابش ماهیانه ثبت شده و مدل‌سازی شده و انحراف معیار آن‌ها در ایستگاه سینوپتیک رشت طی دوره دیده‌بانی ۱۹۹۵-۲۰۰۹ نیز در شکل ۵ آورده شده‌است. بر این اساس، قابل مشاهده است که، مدل‌سازی پارامتر تابش نیز با کیفیت بسیار قابل قبولی صورت پذیرفته است، به طوری که در ماه ژانویه و ۴ ماهه آخر سال کمترین تفاوت میان داده‌های ثبت شده و تولید شده توسط مدل قابل مشاهده است، در باقی ماه‌های سال نیز، مدل اندکی تابش را کمتر از میزان ثبت شده برآورد کرده‌است ولی روی هم رفته اختلاف معنی داری میان این دو سری داده



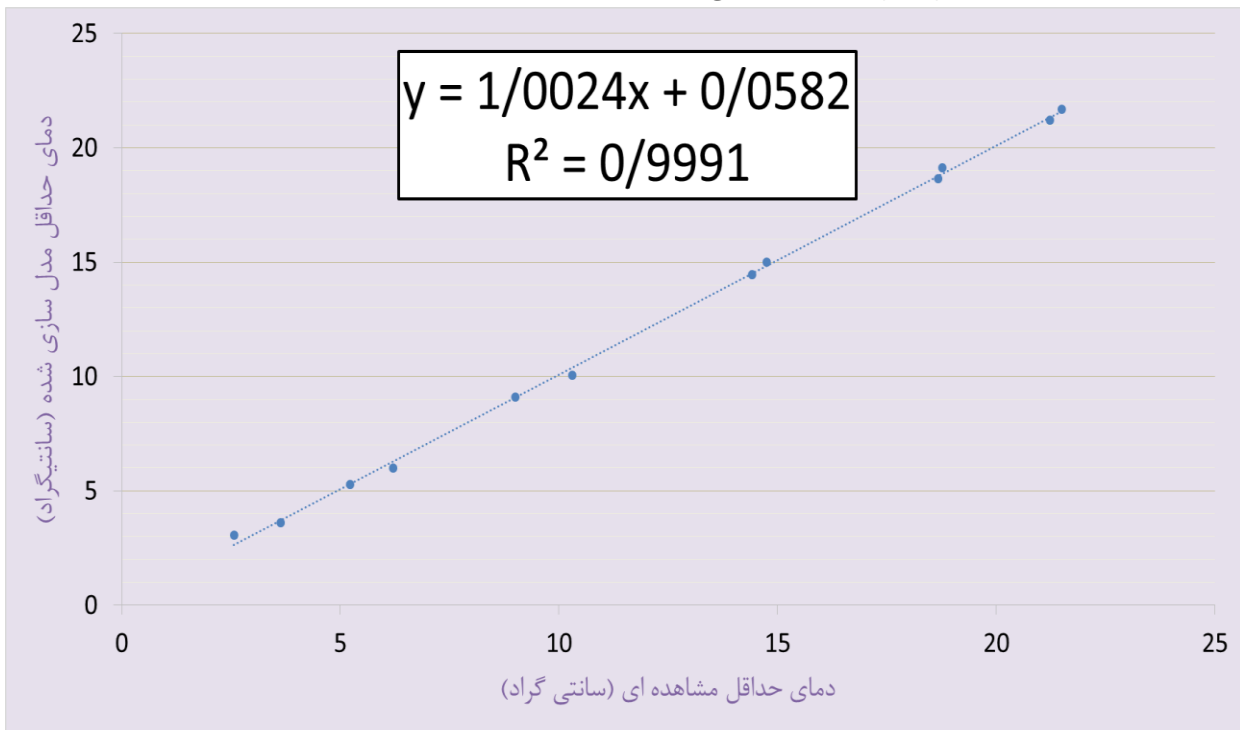
شکل ۵: نمودار تابش ماهانه ثبت شده و شبیه‌سازی شده و همچنین انحراف معیار آن در ایستگاه سینوپتیک رشت (۱۹۹۵-۲۰۰۹)

به‌طور کلی، مدل لارس علی‌رغم توان بالایی که در مدل‌سازی و تولید داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک رشت داشته‌است، اما در اکثر موارد انحراف معیار داده‌های تولیدی توسط این مدل از داده‌های ثبت شده مشاهداتی مخصوصاً در پارامترهای دما و تابش کمتر بوده‌است، که این مورد رو می‌توان جزو ضعف‌های این مدل به حساب آمده و در مطالعات مدل‌سازی اقلیمی براساس داده‌های

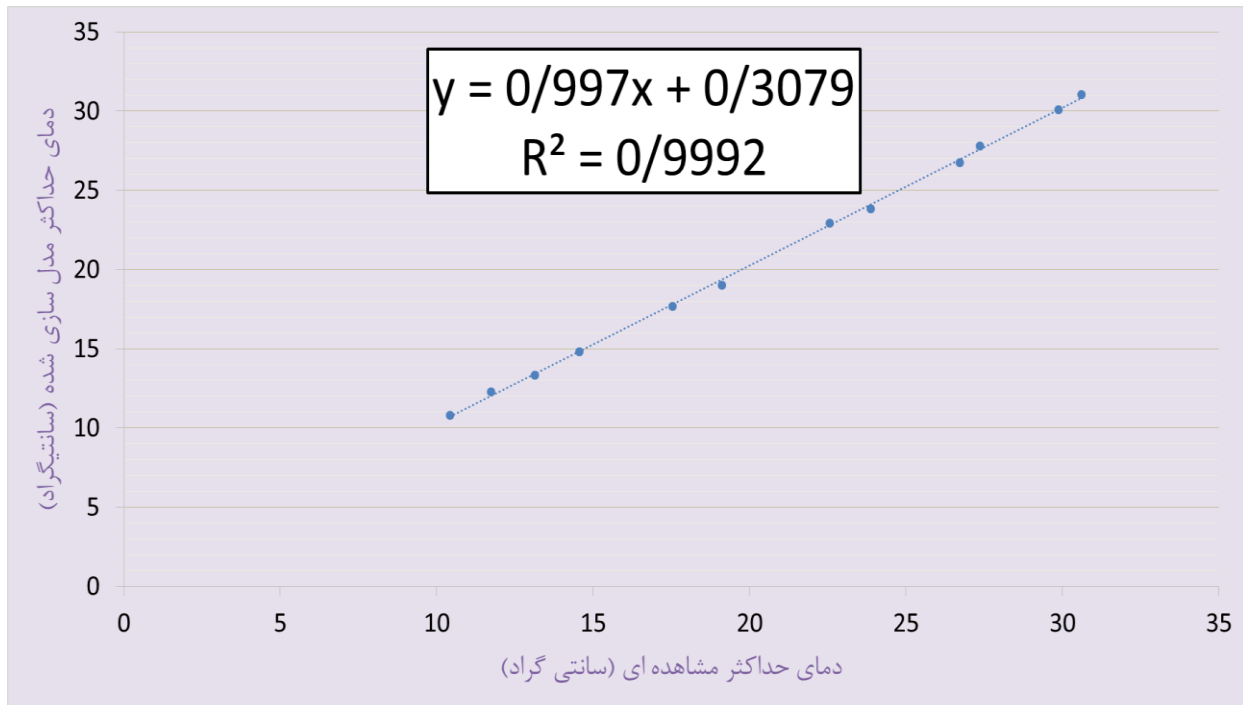
تولیدی توسط این مدل، انحراف معیار داده‌های تولیدی، با روش‌های آماری اصلاح گردد. در ادامه، جهت بررسی همبستگی میان میانگین‌های ماهیانه داده‌های تولیدی توسط مدل و داده‌های مشاهداتی، نمودارهای پراکنش و ضریب همبستگی هرکدام از پارامترهای اقلیمی در شکل‌های ۶ تا ۹ آورده شده‌است.



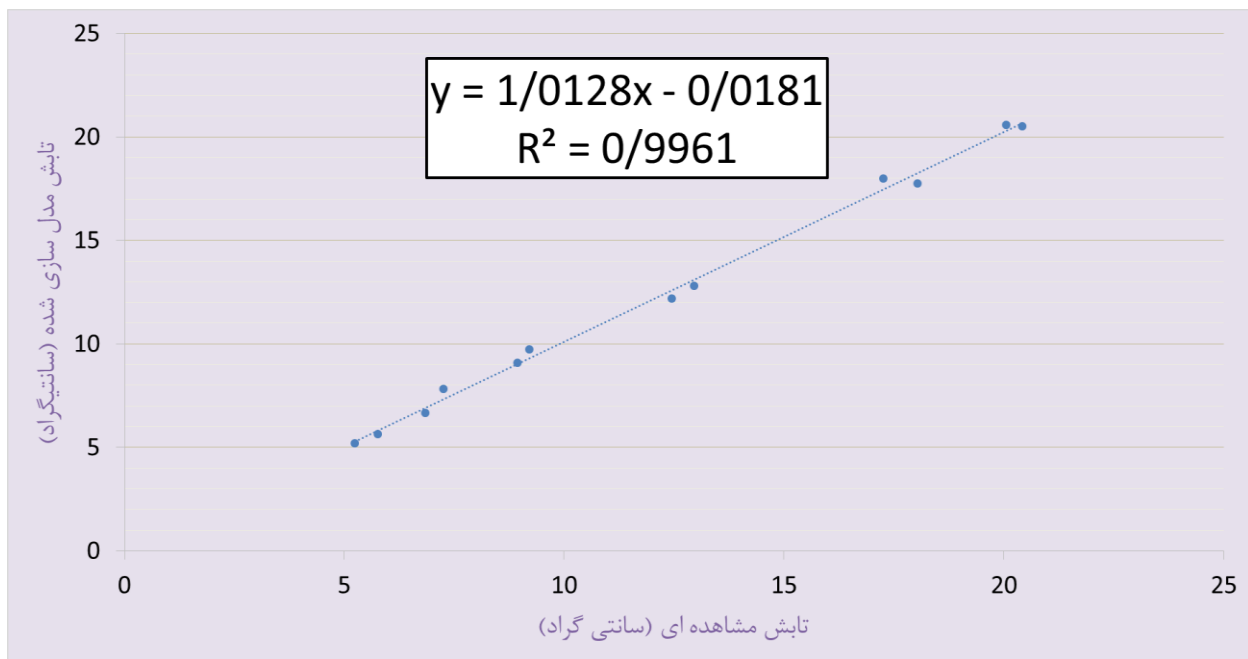
شکل ۶: نمودار پراکنش بارش ماهیانه مشاهداتی و مدل سازی شده در ایستگاه سینوپتیک رشت (۱۹۹۵-۲۰۰۹)



شکل ۷: نمودار پراکنش میانگین دمای حداقل ماهیانه مشاهداتی و مدل سازی شده در ایستگاه سینوپتیک رشت (۱۹۹۵-۲۰۰۹)



شکل ۸: نمودار پراکنش میانگین دمای حداکثر ماهیانه مشاهداتی و مدل سازی شده در ایستگاه سینوپتیک رشت (۱۹۹۵-۲۰۰۹)



شکل ۹: نمودار پراکنش تابش ماهیانه مشاهداتی و مدل سازی شده در ایستگاه سینوپتیک رشت (۱۹۹۵-۲۰۰۹)

همبستگی در سطح اطمینان ۱ درصد معنی دار بوده است.

براساس شکل های ۶ تا ۹، ضرایب همبستگی میان مقادیر مشاهداتی و مدل سازی در مورد هرچهار پارامتر هواشناسی، بالاتر از ۰/۹۹ بوده، و این

جهت نتیجه‌گیری بهتر، بر اساس روابط ۳ و ۴، اریبی و خطای مطلق ماهیانه را برای هرکدام از پارامترهای اقلیمی بین داده‌های مشاهداتی و مدلسازی شده، محاسبه گردیده که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده‌است.

جدول ۲: مقدار اریبی و خطای مطلق پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه استان گیلان (۱۹۹۵-۲۰۰۹)

ایستگاه	بارش (میلیمتر)		دمای حداقل (سانتیگراد)		دمای حداکثر (سانتیگراد)		تابش	
	اریبی	خطای مطلق	اریبی	خطای مطلق	اریبی	خطای مطلق	اریبی	خطای مطلق
انزلی	-۲/۶۴	۱۱/۶	۰/۰۶۵	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	-۰/۰۹	۰/۲۵
آستارا	-۴/۳۵	۱۴/۴۸	۰/۰۱۹	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۵	۰/۲۵
رشت	۱/۷۲	۷/۰۲	۰/۰۵۱	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۳۱

۱۸ ایستگاه سینوپتیک ایالات متحده آمریکا، آسیا و اروپا انجام دادند، و همچنین بابائیان و همکاران در سال ۲۰۰۶ در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی خراسان رضوی به انجام رساندند و همچنین مطالعه که بذرفشان و همکاران در سال ۲۰۰۹ انجام دادند برای پارامترهای هواشناسی، به این نتیجه رسیدند که مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی توانایی خوبی را از خود نشان می‌دهد. لذا در این پژوهش عملکرد و توان مدل ریزمقیاس نمایی آماری لارس در تولید و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش در استان گیلان مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین صورت که داده‌های مشاهداتی دوره دیده‌بانی ۱۵ ساله بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۹ میلادی ایستگاه‌های سینوپتیک این استان با داده‌های روزانه تولید شده توسط مدل لارس برای همین دوره مورد مقایسه آماری قرار گرفت و نتایج نشان از توان بسیار بالای مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش

براساس جدول ۲، بیشترین خطای مطلق و اریبی بارش در ایستگاه آستارا بوده، که آن هم به خاطر عدم مدل‌سازی خیلی دقیق بارش به‌خصوص در ماه‌های فوریه، مارس، سپتامبر و اکتبر در این ایستگاه بوده‌است. بعد از آستارا بیشترین خطا و اریبی منفی مربوط به ایستگاه انزلی بوده که ناشی از مدل‌سازی نامناسب بارش در ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر بوده‌است. همانطور که مشخص‌است، توانمندی مدل لارس در مدل‌سازی دمای حداقل، حداکثر و تابش دوره آماری در مقایسه با بارش بسیار خوب و قابل قبول بوده‌است و همانطور که مشخص‌است خطای مطلق و اریبی‌های محاسبه شده برای این پارامترها بسیار کم و در نتیجه عملکرد مدل لارس در مدلسازی این پارامترهای اقلیمی بسیار مطلوب بوده‌است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به پژوهشی که Semenov و همکاران در سال ۱۹۹۸ در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در

جز در چندماه محدود و در ۲ ایستگاه، در سایر ماهها و به طور کلی معنی دار نبوده است. بنابراین می توان از این مدل در تولید داده های آب و هوایی و مدل سازی اقلیمی دوره آتی استان گیلان براساس رفتار اقلیمی بومی منطقه طی دوره دیده بانی و سناریوهای اقلیمی مورد نظر، استفاده نموده و خروجی های این مدل در مطالعات منطقه ای و استانی گیلان مورد بهره برداری و استفاده قرار گیرد.

این استان داشته است به طوری که براساس آزمون آماری تی استیودنت در سطح $\alpha = 0/01$ اختلاف های میان داده های مشاهداتی و مدلسازی شده این پارامترها معنی دار نبوده است. همچنین مدل لارس توان قابل قبولی در تولید داده های بارش استان گیلان داشته است، به طوری که براساس آزمون آماری تی استیودنت در سطح $\alpha = 0/05$ اختلاف های میان داده های مشاهداتی و مدلسازی شده این پارامترها به

REFERENCES

- Babaeian, I., W. T. Kwon and E. S. Im. 2004. Application of weather generator technique for Climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, climate research lab, 98pp.
- Babaeian, I.; Z. Najafinik; F. Z. Abbasi; M. H. Nokhandan; H. Adab and S. Malbousi. 2008. Iran Climate change Evaluation using ECHO-G Global Circulation Model data (2010-2039). Geography and Development, 16, 2008, p135-152.
- Babaeian, I.; Z. Najafinik; S. Malbousi, Z. Ebrahimzadeh and L. Sabet. 2006. Final report of the Khorasan Razavi synoptic stations climate change evaluation (2010-2039). Meteorological Institute of Meteorological weather Center of Khorasan Razavi province.
- Bazrafshan, J.; A. Khalili, A. Horfer and S. Hejam. 2009. LARS-WG and ClimGen models analysing and comparing in weather data generating for various climate types of Iran. Iran Water Resource Research. 5 (1), p44-57.
- Chen, C., Xu, C., Guo, S. (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, 36-45.
- Hassan, A., Shamsudin, S., Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. Theor Appl Climatol, 116, 243-257.
- IPCC²². 1995. In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. Eds., Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Cambridge University Press, UK p. 878.
- IPCC. 2001. In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., Dokken, D.J., Eds., Special Report on The Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability. Cambridge University Press, UK.
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers, in: Climate Change 2007. S. Solomon, , D.

²² Intergovernmental Panel on Climate Change

Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller eds. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental.

Johnson, G.L., C. L. Hanson, S. P. Hardegree and E. B. Ballard. 1996. Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. J. Applied Meteorology 35, 1878-1896.

Meshkvati, A.; M. Kordjazi and I. Babaeian. 2010. LARS-WG Model analysing and evaluating in Golestan province weather parameters data generating (1993-2007). Geographical

Practical Science Research. 16 (19), 2010, p81-96.

Semenov M. A., R. J. Brooks, E. M. Barrow and C. W. Richardson. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates. Climate Research 10, 95-107.

Semenov, M.A., and E. M. Barrow. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.

Zarghami, Mahdi., Abdi, Amin., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., Kanani, R. (2011). Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. Global and Planetary Change, 78, 137-146.

Downscaling the atmospheric general circulation model's data and its application in simulating the climatic parameters (Case study: Guilan province)

Iman Fatehi¹, Bahman Jabbarian Amiri^{2*}, Naser Mohammadzadeh³

1-Ph.D. Student in Water Resources Management, University of Stuttgart, Germany

2- Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3- M.Sc. Student, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 28-May-2013

Accepted: 24-Nov.-2015

Abstract

One of the challenges that humanity is facing, climate change and the problems arising from it. Climate change is undeniable. Climate average weather conditions are in place, including its components, including temperature, precipitation, humidity and so on. In other words, the climate, the long-term average weather of a region. The simulation can predict the weather in a place of occurrence of extreme events and climate significantly helpful in the future to do. This study has evaluated the ability and precision of LARS-WG model in climatic data generating and future climate forecasting for Guilan province, north Iran. Accordingly, daily data of Guilan synoptic stations has been used for a 15 years period between 1995 and 2009. Studied parameters are: rainfall, minimum temperature, maximum temperature and solar radiation. Results show that, the highest Mean Absolute Error (MAE) and the highest bias for calculated rainfall data were 14.48 and -4.35 respectively, both for Astara station. The minimum and maximum temperature data were desirably modeled. The highest MAE and bias values for minimum temperature were 0.17 and 0.065 respectively both for Anzali station. Also, the highest MAE and bias values of maximum temperature were 0.26 and 0.23 respectively, both for Rasht station. Also, for the solar radiation parameter, the Rasht station had the highest MAE (0.31) and bias values (0.08). The results show that the LARS-WG model, has good ability and precision for climate modeling and data generating in Guilan province, Iran.

Keywords: Climate change, Future climate forecasting, Downscaling, Statistical model, MAE, LARS-WG, Guilan.

*Corresponding Author: Email: Jabbarian@ut.ac.ir,

Phone: +98 9123366125