

بررسی و ارزیابی مدل Lars-WG در شبیه سازی داده های هواشناسی حوزه آبریز گرگانرود در دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۱ میلادی

ارائه دهنده مقاله: حمیده صاحبی^۱
بهرام بختیاری^۲، کوروش قادری^۲

hamidehsahebi@yahoo.com: ایمیل مسئول مقاله

چکیده

امروزه تغییر اقلیم یکی از بزرگترین و مهمترین چالش های پیش روی بشر است که اثرات نامطلوبی بر ابعاد مختلف حیات بشری دارد. پایش اقلیم درازمدت هر منطقه راهکاری مناسب جهت کنترل و رویارویی با عوارض ناشی از تغییرات پیش رو است. مناسبترین راه بررسی تغییرات اقلیم در آینده پیش بینی اقلیم است که این مهم جز با استفاده از مدل های اقلیمی چرخه عمومی جو امکان پذیر نمی باشد. برون داد مدل های گردش عمومی جو نمیتواند مستقیماً برای پیش بینی و ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقه ای و نقطه ای مورد استفاده قرار گیرد و نیازمند ریزمقیاس گردانی با لحاظ رفتار اقلیمی مشاهداتی منطقه یا ایستگاه مورد مطالعه است. از روش های متداول برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل های گردش عمومی جو، روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی و آماری می باشد. از جمله مدل هایی که از روش های آماری برای ریزمقیاس نمایی بهره می برند مدل Lars-WG است. در این مطالعه به بررسی عملکرد مدل Lars-WG در مدلسازی داده های هواشناسی حوزه آبریز گرگانرود پرداخته شده است. متغیر های مورد بررسی دمای حداقل، حداکثر، بارش و ساعت آفتابی ۹ ایستگاه تخییر سنجی دایر در حوزه با دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۱-۱۹۸۱ میلادی) می باشد. نتایج نشان داد مدل Lars-WG در شبیه سازی متغیر های ذکر شده بخوبی عمل کرده است. بطوری که بیشترین مقدار خطای شبیه سازی دمای حداقل ۰/۲۴ درجه سانتی گراد و مربوط به ایستگاه آق قلا است. دمای حداکثر شبیه سازی شده با مقدار خطای ماکزیمم ۰/۶ درجه سانتی گراد مربوط به ایستگاه مینودشت و در ادامه بیشترین خطای مطلق در شبیه سازی بارش ۳/۴۴ میلیمتر در ایستگاه مینودشت و ساعت آفتابی ۰/۶ ساعت در ایستگاه تمر می باشد.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، تخصیص آب، Lars-WG، WEAP

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان و کارشناس شرکت آب منطقه ای گلستان
^۲ استادیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

مقدمه

افزایش متوسط دمای جهان و وقوع تغییرات اقلیمی حاصل از آن نخست تغییرات مشهودی بر چرخه هیدرولوژیک و سیستم‌های منابع آب خواهد داشت. با وقوع تغییرات اقلیمی و کاهش آبدی رودخانه‌ها، منابع آب در دسترس با کاهش قابل توجهی روبرو خواهد بود. بنابراین چنانچه مصارف نیز با توجه به تغییرات اقلیمی و کاهش آبدی رودخانه‌ها تغییر نکند مشکلات عدیده‌ای در خصوص تامین تخصیص‌ها بوجود خواهد آمد. تدوین و استقرار یک نظام منسجم تخصیص آب با ایجاد تعادل منطقی بین عرضه و تقاضا و بهره‌برداری از منابع، متناسب با توان و پتانسیل آنها یکی از الزامات مدیریت صحیح بر منابع آب می‌باشد. مروری بر سازوکارهای گذشته در نحوه تخصیص آب حاکی از فقدان یک نظام تخصیص آب بهم پیوسته و عدم وجود معیارهای مشخصی بود که تعیین کننده حد و اندازه مجاز برداشت آب از منابع آب باشد [۱]. در این زمینه کایتو همکاران^۳ (۲۰۰۱) میزان بازدهی آب در سطح حوزه آبریز، شبکه‌ی آبیاری و مزرعه را برای حوزه آبریز گدیز واقع در کشور ترکیه محاسبه نمودند و سپس تأثیر سناریوهای مختلف تأمین آب، استراتژی‌های مدیریتی و تغییر اقلیم بر روی این بازدهی‌ها بررسی شد [۲]. ویلی و همکاران^۴ (۲۰۰۶) مدل‌سازی جامع اثر تغییر اقلیم بر منابع آب و کیفیت آن برای رودخانه Kennet انگلستان را ارائه نمودند. در این تحقیق ارتباط مدل‌های اقلیم منطقه‌ای، منابع آب و کیفیت آب چهارچوب کلی این مدل‌سازی را تشکیل می‌دهد. جهت بررسی کارایی این مدل‌سازی عدم قطعیت‌های آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عدم قطعیت وسیع در سناریو تغییر اقلیم و منابع آب به علت انتخاب GCM می‌باشد و این عدم قطعیت در فصل تابستان بسیار بیشتر است [۳]. محمدی و همکاران (۱۳۸۹) اثر تغییر اقلیم را بر پارامترهای هواشناسی و آب‌شناختی حوضه آبریز قزل اوزن در استان زنجان بررسی نمودند. آنها رژیم ماهانه بارش و دما حاصل از مدل HADCM3 تحت دو سناریوی اقلیمی A2 و B1 را با داده‌های مشاهداتی مقایسه کردند. نتایج پیش‌بینی تقریبی پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیک تا سال ۲۰۵۷ میلادی را به صورت کاهش میانگین بارش سالانه به میزان حدود ۲۱ میلی‌متر و افزایش میانگین دمای سالانه حدود ۲/۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش میانگین سالانه رواناب حدود ۱۰ متر مکعب در ثانیه نسبت به میانگین دوره مشاهداتی (۱۹۹۹-۱۹۷۲) نشان داد [۴]. آشفته و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قزنقو در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی را با لحاظ نمودن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM5 بررسی نمودند. مقادیر دما و بارش ماهانه هفت مدل AOGCM تحت سناریو A2 برای دو دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ حوضه تهیه شد. نتایج نشان داد در دوره آتی دمای حوضه بین ۰/۲ تا سه درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. همچنین حوضه در دوره آتی شاهد افزایش بارندگی برای فصل پاییز و کاهش آن برای فصل تابستان بوده و رواناب سالانه درازمدت در دوره آتی برای سناریو A2 به میزان ۱/۷۳ نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد [۵]. در یک جمع‌بندی کلی مشخص گردید در سال‌های آتی تغییر اقلیم امری اجتناب ناپذیر است بنابراین کمبود آب و عدم تامین تخصیص‌های حوضه پیش‌بینی می‌شود. برای پیشگیری از تنش‌های اجتماعی ناشی از عدم تامین حقایق‌ها بنظر می‌رسد بررسی و ارزیابی تغییرات اقلیمی پیش‌روی حوزه امری ضروری خواهد بود. در این مطالعه کارایی و توانمندی مدل Lars-WG در تولید داده‌های اقلیمی در ۹ ایستگاه حوزه آبریز گرگانرود مورد بررسی قرار می‌گیرد و میزان خطای شبیه‌سازی ۴ متغیر اقلیمی دمای حداکثر و حداقل، بارش و ساعت آفتابی محاسبه می‌شود.

3- Kite et al.

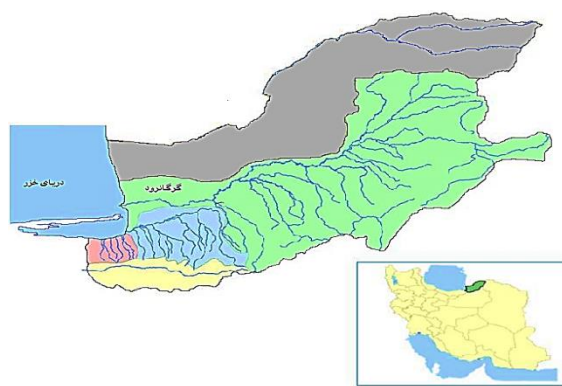
4- Wilby et al.

5- Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM's)

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده های مورد استفاده

حوزه آبریز گرگانرود از شریان‌های اصلی شمال کشور و استان گلستان است که در شرق از کوه‌های واقع در استان خراسان شمالی آغاز شده و در غرب در مجاورت حوزه آبریز رودخانه قره سو به دریای خزر ختم می‌شود. طول این حوزه از ابتدای تشکیل تا محل اتصال به دریا ۳۵۹/۴ کیلومتر برآورد شده است و پهنه‌ی حوزه از طول جغرافیایی ۵۴ درجه تا ۵۶ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و از عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی گسترده شده است. مساحت حوزه آبریز گرگانرود حدود ۱۱۳۳۹ کیلومتر مربع است و حداقل ارتفاع این حوزه در منطقه سواحل دریای خزر ۲۲- متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۶۰۰ متر در ارتفاعات سرمو می‌باشد. شیب حوزه گرگانرود بطور متوسط ۱/۲۷ درصد است و شیب رودخانه اصلی گرگانرود ۰/۱ درصد می‌باشد. در شکل ۱ نمایی از موقعیت نسبی حوزه آبریز گرگانرود بر گستره ایران نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت نسبی حوزه آبریز گرگانرود

همچنین در این مطالعه از آمار روزانه دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش و ساعت آفتابی ۳۰ ساله مشاهداتی در دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۱ میلادی برای ۹ ایستگاه تبخیر سنجی دایر در حوزه آبریز گرگانرود استفاده شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مطالعاتی

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (شرقی)		ارتفاع از سطح دریا (M)	دمای ماکزیمم (درجه سانتی گراد)	دمای مینیمم (درجه سانتی گراد)	بارندگی متوسط (mm)	ساعت آفتابی (hr)
		درجه	دقیقه					
۱	نمر	۳۰	۳۷	۱۳۲	۲۴٫۹۰	۹٫۱۴	۵۱۰٫۳۷	۶٫۵۰
۲	مینودشت	۲۴	۳۷	۱۵۵	۲۴٫۱۶	۱۱٫۴۴	۸۱۱٫۳	۶٫۵۱
۳	اراز کوسه	۹	۳۷	۳۴٫۵	۲۵٫۵۴	۱۰٫۶	۴۵۸٫۱۸	۶٫۵۱
۴	رامیان	۸	۳۷	۲۰۰	۲۴٫۸۱	۱۰٫۵۲	۹۰۶٫۰۷	۶٫۵۱
۵	سدگرگان	۴۴	۳۷	۱۲	۲۵٫۰۳	۱۰٫۰۵	۳۵۴٫۲	۶٫۲۶
۶	پهلکه دانشی	۴۷	۳۷	۲۴	۲۴٫۲۸	۱۰٫۶۴	۴۲۱٫۹	۶٫۵۳
۷	فاصل آباد	۴۴	۳۶	۲۱۰	۲۳٫۹۱	۱۱٫۳۳	۶۵۳٫۱۳	۶٫۰۱
۸	آق فلا	۳۰	۳۷	-۱۲	۲۷٫۵۵	۱۰٫۵۸	۴۰۸٫۰۱	۶٫۱۸
۹	غفار حاجی	۸	۳۶	-۲۲	۲۲٫۸	۹٫۶۸	۴۳۷٫۵۸	۶٫۰۵

ریز مقیاس کننده آماری Lars-WG

مدل Lars-WG یکی از مشهورترین مدل های مولد داده های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می رود [۶]. نسخه اولیه Lars-WG توسط راسکو و همکاران در سال ۱۹۹۰ بعنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک کشاورزی در بوداپست مجارستان ابداع شد و سپس توسط سمنوف و بارو ارتقاء یافت [۷]. اساس مدل Lars-WG در مدل سازی بارش، توزیع نیمه تجربی و زنجیره مارکف^۶، در مدل سازی تابش، توزیع های نیمه تجربی و در مدل سازی دما، سری فوریه می باشد [۸]. تولید داده ها توسط این مدل در سه مرحله کالیبراسیون، ارزیابی و ایجاد داده های هواشناسی انجام می شود [۶]. در مرحله اول مدل به شبیه سازی اقلیمی داده های دوره پایه می پردازد. در ادامه برای واسنجی مدل شاخص های خطا سنجی مجذور میانگین مربعات خطا^۸ (RMSE) بر اساس معادله ۱ و میانگین خطای مطلق^۹ (MAE) بر اساس معادله شماره ۲ محاسبه می شود. پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل Lars-WG در شبیه سازی داده های هواشناسی با توجه به مقادیر بالای ضریب تعیین و مقادیر پایین شاخص های خطا سنجی محاسبه شده، این مدل جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده های اقلیمی آینده آماده اجرا می باشد [۹].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (2)$$

نتایج و بحث

آزمون سازگاری داده ها

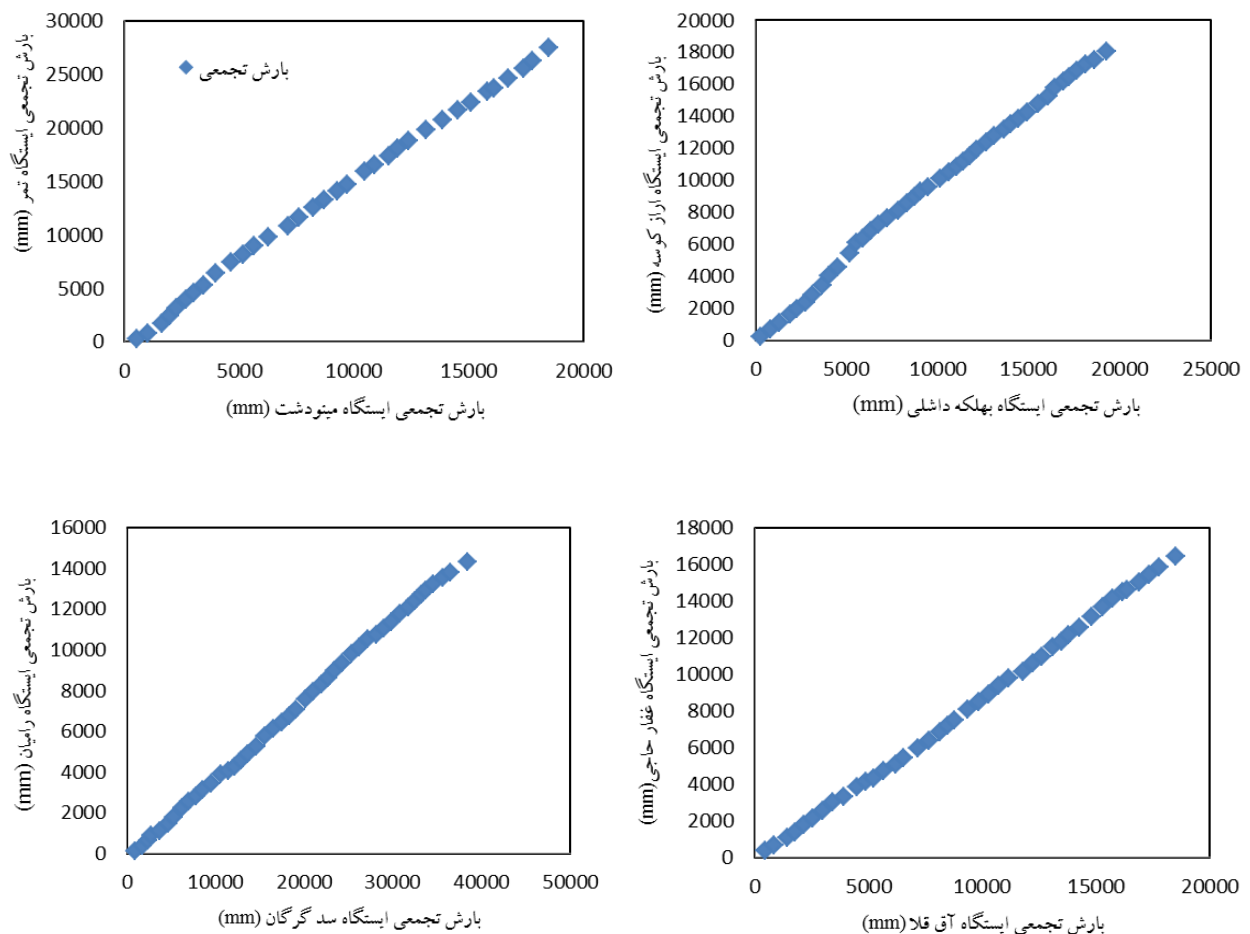
پیش از بکارگیری داده های مربوط به بارش و آبدهی ایستگاه های اندازه گیری، بایستی از پیوستگی و سازگاری آنها مطمئن شد. پس از گردآوری آمار بارش و دبی در دوره مشاهداتی به منظور کنترل و صحت آمار تهیه شده از روش ترسیم منحنی جرم مضاعف ایستگاه های مورد مطالعه استفاده شد. آنطور که از مفاد آزمون سازگاری داده ها بر می آید داده ها زمانی سازگارند که از یک جامعه آماری باشند. جهت بررسی ناسازگاری داده ها از روش موسوم به منحنی جرم مضاعف سال های مشترک آماری میانگین سالانه دو ایستگاه مجاور به صورت تجمعی در یک نمودار رسم می شود. چنانچه یک خط با شیب ثابت بدست آید داده ها سازگار خواهند بود. همانطور که از شکل های ۲ برمی آید ایستگاه های مورد مطالعه از سازگاری مناسب برخوردارند.

6 - Rasco et al.

7 - Markov chain

8 - Root Mean Square Error

9 - Mean Absolute Error



شکل ۲. منحنی جرم مضاعف بارش در ایستگاههای مطالعاتی

برای کالیبراسیون مدل Lars-WG لازم است دو فایل متنی با پسوندهای SR و ST به عنوان ورودی مدل ایجاد شوند. فایل SR شامل کل آمار مشاهداتی هواشناسی روزانه است. فایل ST نیز در برگرفته مشخصات ایستگاه شامل نام ایستگاه، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، نام فایل SR مربوطه در درایو کامپیوتر و ترتیب اطلاعات ستونی تعریف شده در فایل SR می باشد. مدل LARS-WG بر روی هر ایستگاه بصورت مستقل اجرا می شود بنابراین چنانچه طول دوره آماری یک ایستگاه کوتاه باشد در پیش بینی اقلیم سایر ایستگاهها خللی ایجاد نمی کند با این وجود بهتر است زمانیکه هدف مطالعه شماری از ایستگاههای یک استان می باشد، طول دوره آماری ایستگاههای مورد بررسی یکسان باشند. دادههای مشاهداتی با هر طول زمانی می توانند برای واسنجی مدل مورد استفاده قرار گیرند، اما برای جواب بهتر می بایست مدل آموزش بهتری از رفتار اقلیم آن منطقه دیده باشد و در مناطق با آب و هوای متغیر بهتر است دوره آماری طولانی تری مورد بررسی قرار گیرد. اگر مدل سازی وقایع با شدت بالا و احتمال وقوع پایین مهم باشد، آنگاه دادههای با بیشترین طول زمانی موجود می بایست در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار گیرند. چرا که مدل پیش بینی کننده اقلیم بسیاری از رفتارهای حدی مثل دورههای خشکی شدید و سیلابهای با دوره بازگشت بالا را شناسایی کرده است، لذا پیش بینی بهتری از اقلیم آینده و تغییرپذیری آن ارائه می دهد. لازم به یادآوری است که یک مدل پیش بینی کننده اقلیم تنها می تواند وقایع را براساس دادههای دوره واسنجی و آموزشی که از اقلیم منطقه دیده است، شبیه سازی کند و قادر به شبیه سازی رویدادهای خارج از محدوده سری دادهها نمی باشد. در این پژوهش واسنجی مدل برای هر ۹ ایستگاه تبخیرسنجی منتخب در حوزه انجام و کارایی مدل برای تمامی ایستگاهها بررسی شد. متغیرهای هواشناسی در این ایستگاهها به صورت روزانه ثبت شده که

اطلاعات آن از سال ۱۹۸۱ میلادی تا سال ۲۰۱۱ میلادی در دسترس است. فایل متنی اطلاعات ورودی حاوی ۳۰ سال داده از سال ۱۹۸۱ تا سال ۲۰۱۱ می‌باشد که اطلاعات بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی در آن قرار داده شده است. با استفاده از این اطلاعات، واسنجی مدل، انجام شد و پارامترهای آماری لازم جهت ساخت اطلاعات استخراج گردید.

بررسی کارآیی مدل LARS-WG

برای صحت‌سنجی و تعیین کارآیی مدل از قسمت Qtest در مدل استفاده شد. در این مرحله ۳۰ سال داده مصنوعی در دوره زمانی ۱۹۸۱-۲۰۱۱ میلادی با استفاده از اقلیم آموزش داده شده به مدل در مرحله واسنجی، ساخته شد و با مقایسه با مقادیر مشاهداتی و انجام تست آماری Qtest کارآیی مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. تست کلموگروف-اسمیرنوف برای تعیین این که آیا توزیع آماری داده‌های ساختگی دارای اختلاف زیادی نسبت به خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی می‌باشند، به کار می‌روند و آزمون t در مواقعی کاربرد دارد که بررسی شود میانگین داده‌های مصنوعی تولید شده با میانگین داده‌های مشاهداتی همخوانی دارد یا خیر؟ در آزمون کلموگروف-اسمیرنوف براساس اندازه نمونه و همچنین مقدار بحرانی p، می‌توان آماره مورد نیاز برای مقایسه را از جدول انتخاب کرد. به طریق مشابه برای آزمون t نیز می‌توان آماره لازم را از جدول‌های مربوطه استخراج نمود، تنها تفاوتی که وجود دارد این است که به جای اندازه نمونه می‌بایست درجه آزادی نمونه‌های مورد مقایسه را به کار برد. با انتخاب سطح معناداری ۰/۰۵ برای مقدار بحرانی p و با داشتن اندازه نمونه‌ها برابر با ۱۲، عدد ۵/۲۳ از جدول مربوط به آزمون کلموگروف-اسمیرنوف قابل استخراج است. همچنین برای استخراج عدد مورد نیاز برای آزمون t از جداول مربوطه، ابتدا می‌بایست درجه آزادی داده‌ها را به دست آورد. درجه آزادی از رابطه ۳ قابل محاسبه است:

$$d.o.f. = (n_1 + n_2) - 2 \quad (3)$$

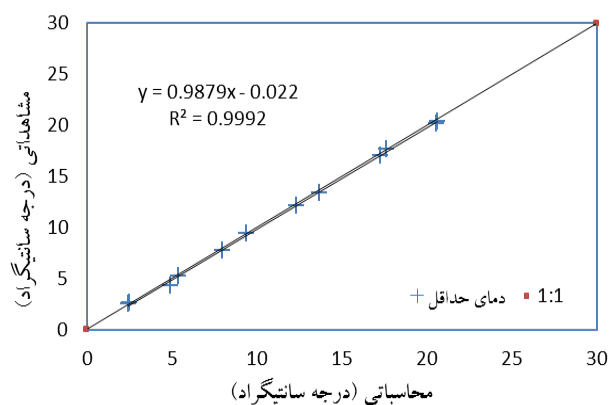
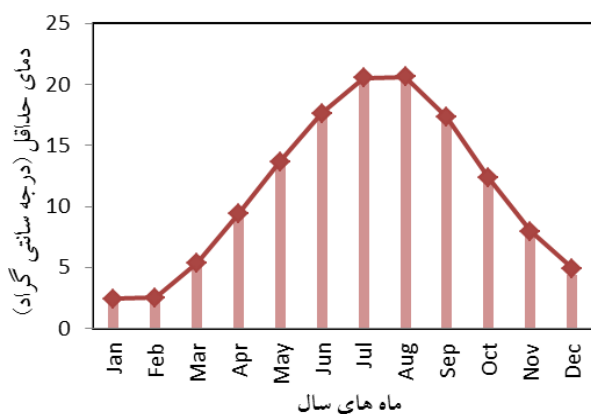
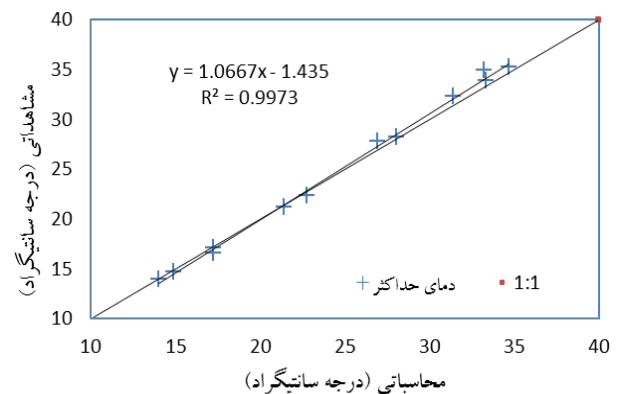
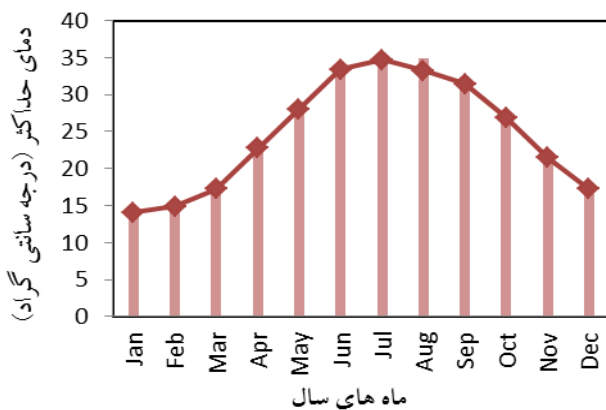
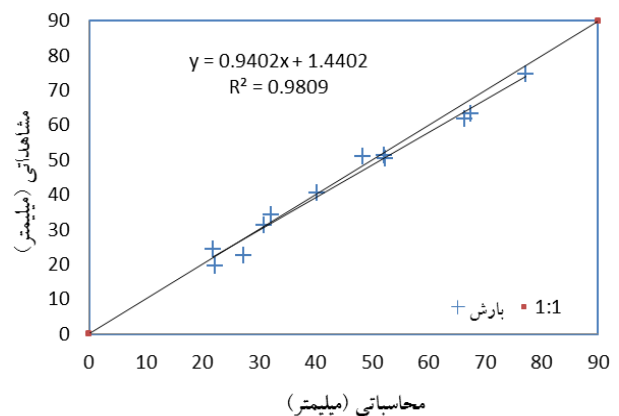
در این رابطه d.o.f. برابر درجه آزادی، n_1 تعداد داده‌های مشاهداتی و n_2 تعداد داده‌های مصنوعی تولیدی می‌باشد. از آنجا که تعداد داده‌های مشاهداتی و مصنوعی برای هر ماه برابر با ۳۰ روز می‌باشد، درجه آزادی طبق معادله ۳، ۵۸ به دست می‌آید که معادل بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود. با انتخاب سطح اطمینان ۰/۰۵ برای مقدار بحرانی p، عدد ۱/۹۶ برای آزمون t از جدول قابل استخراج است. در جدول ۲ نتایج بیشینه حاصل از این دو آزمون آماری آمده است.

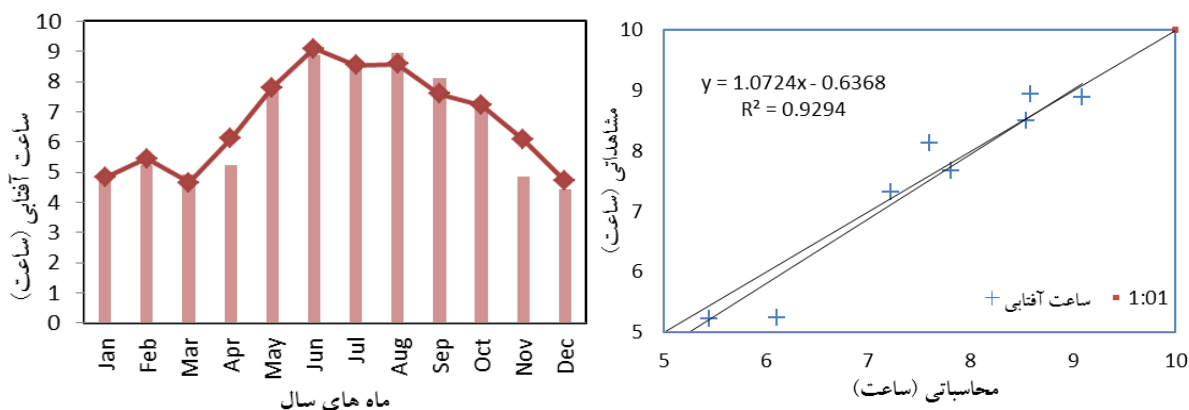
جدول ۲. مقادیر بیشینه تست کلموگروف-اسمیرنوف و t برای چهار متغیرهای هواشناسی

ساعت آفتابی (hr)		دمای حداکثر (°C)		دمای حداقل (°C)		بارش (mm)		مقادیر بیشینه
T- test	KS- test	T test	KS- test	T test	KS- test	T- test	KS- test	تست آماری
۱/۰۰	۰/۱۳۱	۱/۰۰	۰/۱۵۸	۱/۰۰	۰/۱۵۸	۱/۰۰	۰/۲۰۴	مقدار
ژانویه، فوریه، آوریل، مارس، می، ژوئن	سپتامبر، اگوست	آوریل، مارس	ژوئن و فوریه	جولای، می و دسامبر	نوامبر و فوریه	اکتبر، جولای، نوامبر	می	ماه میلادی
KS-test: $D_n, \alpha = 5/23$, $(\alpha = 0.05, n = 12)$ t-test: $t_{\alpha, v} = 1/96$, $(\alpha = 0.05, v = \infty)$								

با مقایسه نتایج حاصل از آزمون با آماره‌های استخراج شده از جدول برای این آزمون، می‌توان نتیجه گرفت توزیع آماری داده‌های ساختگی نسبت به توزیع آماری داده‌های مشاهداتی در محدوده قابل قبول قرار دارد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمون‌ها، اختلاف مقادیر تولید شده و مشاهداتی همگی در محدوده قابل قبول قرار دارند و می‌توان از پارامترهای به دست آمده در

مرحله واسنجی مدل، برای ساخت اطلاعات بارش، درجه حرارت و ساعت آفتابی استفاده کرد. مقادیر میانگین ماهانه ۳۰ ساله دمای حداکثر، حداقل و بارش شبیه سازی شده توسط مدل در دوره آماری مورد بررسی با مقادیر مشاهداتی در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب منطقه مقایسه شد. نمودارها و مقادیر ضریب تعیین (R^2) نشان از کارایی مناسب مدل در شبیه سازی و تولید داده‌های مصنوعی دارد. بعنوان نمونه در شکل‌های ۳ میانگین ماهانه ۳۰ ساله متغیرهای مورد بحث، برای ایستگاه تمر ارائه شده است. همانطور که از نمودار بلند مدت بارش منطقه بر می‌آید الگوی بارش منطقه به نحوی است که ماه‌های آذر تا فروردین دوره تر و ماه‌های خرداد تا مهر دوره خشک سال را تشکیل می‌دهد. ضریب همبستگی بارش مشاهداتی به بارش مدلسازی شده در یک دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۸۱ همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود ۰/۹۸ است که در محدوده مناسبی قرار دارد. مدل Lars-WG توانایی بسیار خوبی در مدلسازی دمای حداقل و حداکثر مشاهداتی دارد. ضریب همبستگی دمای شبیه سازی شده با دمای مشاهداتی در دوره مورد مطالعه ۰/۹۹ می‌باشد.





شکل ۳. مقایسه داده‌های بارش، دمای حداکثر، دمای حداقل، ساعت آفتابی مشاهداتی و محاسباتی ایستگاه تهر (۲۰۱۱-۱۹۸۱)

مطابق جدول شماره ۳ بیشترین خطا در شبیه سازی بارش مربوط به ایستگاه مینودشت با میزان خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) ۳/۸۴ میلیمتر و میزان خطای مطلق (MAE) ۳/۴۴ میلیمتر و پس از آن، ایستگاه رامیان با مقدار خطای جذر میانگین مربعات ۳/۵۶ میلیمتر و خطای مطلق ۳/۳۳ میلیمتر می‌باشد. همچنین کمترین خطا در شبیه سازی بارش به ایستگاه بهلکه داشلی با میزان خطای مطلق ۱/۲۱ میلیمتر مربوط می‌باشد. در مورد شبیه سازی دمای حداقل کمترین خطای مطلق مربوط به ایستگاه فاضل آباد به مقدار ۰/۱ درجه سانتی گراد و بیشترین آن مربوط به ایستگاه آق قلا به میزان ۰/۲۴ درجه سانتی گراد است. در ادامه در شبیه سازی دمای حداکثر و ساعت آفتابی همانطور که از جدول فوق برمی آید کمترین میزان خطای مطلق دمای حداکثر مربوط به ایستگاه غفارحاجی با ۰/۴۶ درجه خطا و بیشترین آن در ایستگاه مینودشت، ۰/۶ درجه محاسبه شده است. کمترین خطای مطلق ساعت آفتابی مدل شده در ایستگاه رامیان و ۰/۱۵ ساعت و بیشترین آن مربوط به ایستگاه تهر با ۰/۳۶ ساعت خطا می‌باشد.

جدول شماره ۳. خطای جذر میانگین مربعات و خطای مطلق ایستگاه‌های مطالعاتی

نام ایستگاه	MAE			RMSE		
	دمای حداقل (درجه سانتیگراد)	بارش (میلیمتر)	تعداد ساعات آفتابی (ساعت)	دمای حداقل (درجه سانتیگراد)	بارش (میلیمتر)	تعداد ساعات آفتابی (ساعت)
سدگرگان	۰/۱۶	۰/۱۷	۲/۳۳	۰/۱۳	۲/۰۰	۰/۲۲
تمر	۰/۲۵	۰/۶۷	۲/۸۷	۰/۲۱	۲/۴۴	۰/۳۶
فاضل آباد	۰/۱۵	۰/۶۳	۲/۷۲	۰/۱	۲/۵۵	۰/۲۱
غفارحاجی	۰/۱۹	۰/۵۹	۳/۳۸	۰/۱۴	۲/۸۷	۰/۲۶
بهلکه داشلی	۰/۱۵	۰/۵۸	۱/۵۱	۰/۱۳	۱/۲۱	۰/۲
ارازکوسه	۰/۲۳	۰/۷۰	۲/۹۶	۰/۲	۲/۴۵	۰/۲۱
آق قلا	۰/۳۴	۰/۶۴	۱/۹۶	۰/۲۴	۱/۷۷	۰/۳۴
مینودشت	۰/۲۵	۰/۷۹	۳/۸۴	۰/۲	۳/۴۴	۰/۳
رامیان	۰/۱۸	۰/۶۶	۳/۵۶	۰/۱۴	۳/۳۳	۰/۱۵

نتیجه گیری

در این مطالعه کارایی مدل Lars-Wg در تولید و مدلسازی متغیرهای اقلیمی در ۹ ایستگاه حوزه آبریز گرگانرود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل Lars-WG دقت بسیار مناسبی در تولید و پیش بینی داده‌های اقلیمی دارد بطوری که بیشترین میزان خطای مطلق در شبیه سازی دمای حداکثر، ۰/۶ درجه سانتی گراد و در دمای حداقل، ۰/۲۴ درجه سانتی گراد می‌-

باشد. همینطور بیشترین خطای محاسبه شده در شبیه سازی بارش به ۳/۴۴ میلیمتر و در شبیه سازی ساعت آفتابی ایستگاه‌ها به ۰/۳۶ ساعت رسید. میزان خطای اندک، ضریب تبیین (R2) بالا و انجام آزمون های برازش KS و t-student با نتایج قابل قبول نشان می‌دهد مدل Lars-WG توانایی مدلسازی دوره های گذشته و آینده را در حوزه های مورد بررسی دارد و می توان از آن در مدلسازی داده های گمشده و خلاهای آماری بهره برد.

منابع

۱. معاونت امور آب و آبیاری وزارت نیرو، نظام نامه تخصیص آب
۲. Kite, G., Droogers, P., Murry-Rust, H., Voogt, K., 2001. Modeling Scenarios for Water Allocation in the Gediz Basin, Turkey. IWMI Research Report 50. Colombo, Sri Lanka.
۳. Wilby, R. L., Harris, I., 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK, Water Resources Research, 42, W02419, doi:10.1029/2005WR004065.
۴. محمدی، س.، مهدی نژاد، ح.، امیراصلانی، ش. "بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر روی پارامتر های هواشناسی و آبشناختی حوضه آبریز"، اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، ۱۳۸۹.
۵. آشفته، پ.، مساح بوانی، ع. "بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر رواناب مطالعه موردی حوضه قرنقو آذربایجان شرقی"، اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، ۱۳۸۹.
۶. بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، زابل عباسی، ف.، حبیبی نوخندان، م.، ادب، ح.، ملیوسی، ش. "ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G"، فصلنامه جغرافیا و توسعه، زمستان ۱۳۸۸، شماره شانزدهم، صفحات ۱۵۲-۱۳۵.
۷. مشکواتی، ا.ح.، کردجزی، م.، بابائیان، ا. ۱۳۸۹. "بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه سازی داده های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی"، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، زمستان ۱۳۸۹، جلد ۱۶، شماره ۱۹، صفحات ۹۶-۸۱.
۸. Semenov, M.A., and Barrow, E.M., 2002. Lars a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
۹. اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ.ع.، داوری، ک.، "پیش بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)"، نشریه آب و خاک، آبان ۱۳۹۰، جلد ۲۵، شماره ۴، صفحات ۹۵۲-۹۴۰.