

ارزیابی دقت داده‌های CFSR و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری

سمیرا اخوان* - استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
نسرین دلاور - دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۲۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۱/۱۲

چکیده

هدف پژوهش حاضر، ارزیابی دقت مولد آب‌وهوایی LARS-WG و داده‌های CFSR در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی (دمای کمینه و بیشینه و بارش) استان چهارمحال و بختیاری است. بدین منظور، از مقایسه شاخص‌های آماری MAE ، MBE ، $RMSE$ و R^2 استفاده شد. در ایستگاه شهرکرد مقادیر $RMSE$ و MAE برای بارش ماهانه داده‌های CFSR به ترتیب $۲۰/۴۹$ و $۱۱/۱۹$ میلی‌متر و برای بارش سالانه $۹۲/۸۸$ و $۷۲/۵۱$ میلی‌متر است. این مقادیر بارش، در مورد مدل LARS-WG در مقیاس ماهانه به ترتیب $۴۱/۴۵$ و $۲۴/۷۵$ میلی‌متر و در مقیاس سالانه $۱۶۴/۷۵$ و $۱۲۳/۴۳$ میلی‌متر است. در مجموع، داده‌های CFSR در بازه زمانی کوتاه‌تر (ماهانه و سالانه) دارای آماره‌های خطاستی کمتری نسبت به مدل LARS-WG است و همبستگی بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد. بنابراین، در تخمین پارامترهای اقلیمی کوتاه‌مدت، دقت بالاتری دارد. همچنین، نتایج بیانگر توان‌مندی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در بازه زمانی طولانی مدت (دهه) است. به همین دلیل، مقادیر آماره‌های مذکور در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر، چندان مناسب نیست. بدین ترتیب، با توجه به اهداف هر تحقیق، می‌توان از نتایج هر دو روش استفاده کرد. همچنین داده‌های CFSR در نقاط فاقد ایستگاه هواشناسی گزینه ارزش‌مندی محسوب می‌شود.

کلیدواژه‌ها: بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه، LARS-WG، CFSR.

مقدمه

در حال حاضر ۴۰۰۰۰ ایستگاه در سراسر جهان دارای اطلاعات هواشناسی در مقیاس روزانه می‌باشند. با این حال، توزیع داده‌ها به گونه‌ای است که بسیاری از مناطق جهان تعداد محدودی ایستگاه دارد، هر چند داده‌های گمشده نیز در بین آن‌ها زیاد است (شول و عباسپور، ۲۰۰۷: ۳۰۱). اطلاعات هواشناسی تولیدشده هم برای تهیه داده‌های گمشده و هم اصلاح داده‌های به اشتباه اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود (فودر و همکاران، ۲۰۱۰: ۹۱). از مولدهای آب‌وهوا، مدل LARS-WG مولد تصادفی آب‌وهوایی است که تحت شرایط اقلیمی حال و آینده در یک ایستگاه به کار می‌رود (سیمونوف و بارو، ۲۰۰۲: ۳). تاکنون این مدل در مطالعات زیادی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم استفاده شده است (سیمونوف، ۲۰۰۸: ۲۰۴).

یکی از مشکلات مدل‌سازی حوضه‌های آبخیز، خارج‌بودن ایستگاه هواشناسی از حوضه یا قرارگرفتن در فاصله زیاد از آن است. در نتیجه، داده‌های ثبت‌شده ممکن است رخدادهای اقلیمی را در سطح حوضه به خوبی نشان ندهد. علاوه‌بر این، داده‌های بارندگی اندازه‌گیری‌شده به شدت تحت تأثیر محل اندازه‌گیری است، به‌خصوص اگر تفاوت اقلیمی در حوضه زیاد باشد. برای رفع این نقیصه، برخی محققان از رادارها برای تهیه اطلاعات بارندگی برای ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی، به‌ویژه برای رویدادهای سیل، استفاده کرده‌اند (فوکا و همکاران، ۲۰۱۳: ۱). اما، داده‌های راداری فقط برای بخش کوچکی از سطح زمین در جهان در دسترس است. بنابراین، در نظر گرفتن روش‌های دیگر برای تخمین شرایط جوی در سطح حوضه ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از راه‌حل‌های محتمل، استفاده از داده‌های چند ساله شبکه‌بندی‌شده جهانی، موسوم به سیستم تحلیل مجدد پیش‌بینی اقلیم (CFSR)^۱ است (فوکا و همکاران، ۲۰۱۳: ۱). تحلیل مجدد، دیدگاه سیستماتیک برای تولید مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی دوره آماری برای استفاده در پژوهش و پایش اقلیم است و با استفاده از طرحواره‌ای ثابت در داده‌گذاری داده‌ها و مدل‌ها به‌وجود می‌آید. سلطانی و هوگنیوم (۲۰۰۳: ۲۱۵) به بررسی دو شبیه‌ساز WGEN و SIMMETEO در پنج نقطه از ایران پرداختند. نتایج، بیانگر عملکرد مناسب WGEN در شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه، همچنین عملکرد موفق SIMMETEO در تولید داده‌های تشعشع خورشیدی و دمای کمینه است. سمونف و همکاران (۱۹۹۸: ۹۵) کارایی دو مدل LARS-WG و WGEN را در هجده سایت آب و هوایی در ایالت متحده آمریکا، اروپا و آسیا که نماینده‌ی طیف وسیعی از آب و هوا می‌باشند، مورد ارزیابی قرار دادند. آزمون‌های آماری مختلف برای مقایسه انواع ویژگی آب‌وهوایی انتخاب شدند و اطلاعات اقلیمی مصنوعی مانند طول سری تر و خشک، توزیع بارش و طول دوره یخ‌زدگی ایجاد شد. آن‌ها دریافتند که مدل LARS-WG از توزیع پیچیده‌تری برای متغیرهای آب‌وهوایی استفاده می‌کند و نسبت به مدل WGEN، اختلاف کمتری با داده‌های مشاهداتی دارد.

دایل و سرینیواسان (۲۰۱۳: ۱) به ارزیابی داده‌های اقلیمی CFSR در حوضه دریاچه تانا در بخشی از حوضه رود نیل پرداختند. آن‌ها با به‌کارگیری این داده‌ها در چهار ایستگاه برای برآورد دبی رودخانه با مدل SWAT^۲ دریافتند که عملکرد داده‌های معمولی در سه ایستگاه و عملکرد داده‌های CFSR در دو ایستگاه رضایت‌بخش است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از CFSR و داده‌های اقلیمی معمولی تفاوت‌های جزئی در اجزای بیلان آب به همراه داشت، به‌جز یک حوضه، که آن هم به دلیل اینکه CFSR میانگین بارش سالانه را بیشتر در نظر گرفته بود. البته، هر دو نوع داده اقلیمی در شبیه‌سازی سالانه عملکرد گیاهان در هر چهار ایستگاه مطالعاتی نتیجه مشابهی داشت. به‌طور کلی، شبیه‌سازی با داده‌های معمولی بهتر از داده‌های CFSR انجام شد. با این حال، برای مناطقی با داده‌های کم، مثل بخش‌های دور در بالادست حوضه نیل، که امکان اندازه‌گیری معمولی فراهم نیست، داده‌های CFSR گزینه ارزش‌مندی برای پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی است. فوکا و همکاران (۲۰۱۳: ۱) نیز مطالعه‌ای در زمینه کاربرد CFSR در مدل‌های هیدرولوژیکی پنج حوضه با رژیم‌های اقلیمی مختلف انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده توانایی بالای پارامترهای بارش و دمای CFSR نسبت به داده‌های معمولی در شبیه‌سازی‌های حوضه‌هاست.

استفاده از مولدهای مصنوعی آب‌وهوا که توانایی تولید داده‌های روزانه در بازه زمانی طولانی مدت را دارند یا داده‌های تحلیل مجدد CFSR که قابلیت تولید داده‌های هواشناسی را در نقاط مختلف دارند و مشکل کمبود ایستگاه‌های هواشناسی را تا حدودی مرتفع می‌سازد، راه‌حلی منطقی به نظر می‌رسد. تحقیق حاضر نیز در همین راستا در استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفته است که منشأ معروف‌ترین رودخانه‌های دائمی جنوب‌غربی و مرکزی ایران یعنی کارون و زاینده‌رود و یکی از مراکز تولید محصولات کشاورزی است. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی توانایی مدل LARS-WG و داده‌های تحلیل مجدد CFSR در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی بارش و دما از طریق مقایسه با داده‌های مشاهداتی در دوره آماری مشخص در سطح ایستگاه‌های هواشناسی منتخب استان چهارمحال و بختیاری است.

مواد و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع است که بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. در مجموع، منطقه مذکور ناحیه‌ای کوهستانی در امتداد سلسله‌جبال زاگرس است که از شمال غربی به طرف جنوب شرقی امتداد دارد. این استان با وجود مساحت کم (۱٪ از کل وسعت ایران)، ۱۰٪ از منابع آب کشور را در اختیار دارد. به طور کلی، این استان به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص جغرافیایی و توپوگرافی، از لحاظ آب‌وهوایی متنوع است و اقلیم‌های متفاوتی در آن وجود دارد. جدول ۱ اقلیم چند ایستگاه این استان را براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن نشان می‌دهد (سایت هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری).

جدول ۱. خصوصیات جغرافیایی و نوع اقلیم ایستگاه‌های سینوپتیکی منتخب استان چهارمحال و بختیاری

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم
شهرکرد	۵۰°۵۱'	۳۲°۱۷'	۲۰۴۸/۹	نیمه‌خشک
کوه‌رنگ	۵۰°۷'	۳۲°۲۶'	۲۲۸۵	بسیار مرطوب
بروجن	۵۱°۱۸'	۳۱°۵۷'	۲۱۹۷	خشک
لردگان	۵۰°۴۹'	۳۱°۳۱'	۱۵۸۰	مدیترانه‌ای

ب) روش کار

۱. معرفی مدل LARS-WG

مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی، توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به کار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه، سری‌های تابش و توزیع نیمه‌تجربی است. سری‌های فوریه دما را تخمین می‌زند. دماهای بیشینه و کمینه روزانه به صورت فرایندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه

مدل‌سازی می‌شود که وابسته به وضعیت تر یا خشک‌بودن روز مورد نظر است. میانگین و انحراف معیار دمای فصلی با مقادیر مانده‌ها که از تفریق میانگین «از مقدار» بدبانی شده به دست می‌آید، در تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های مینیمم و ماکزیمم استفاده می‌شود. خروجی‌های این مدل شامل دمای بیشینه، بارش و تابش است (باباییان و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۲). در این پژوهش از نسخه LARS-WG 5.5 استفاده شده است.

۲. داده‌های مورد نیاز مدل LARS-WG

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش خورشیدی (یا ساعات آفتابی) است که این اطلاعات برای چهار ایستگاه هواشناسی سینوپتیکی نام‌برده شده در جدول ۱ در دوره آماری بیست ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۰) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. به عبارتی، ایستگاه‌های مذکور به دلیل دارا بودن آمار بلندمدت اقلیمی، ایستگاه‌های منتخب معرفی شد. سپس، پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها برای تهیه فایل‌های مورد نیاز برای مدل ریزمقیاس‌نمای LARS-WG انجام گرفت. در نهایت، متغیرهای اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارندگی و تابش خورشیدی تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی در همان دوره شبیه‌سازی شد. البته، در این پژوهش به بررسی سه پارامتر اقلیمی اول پرداخته شده است.

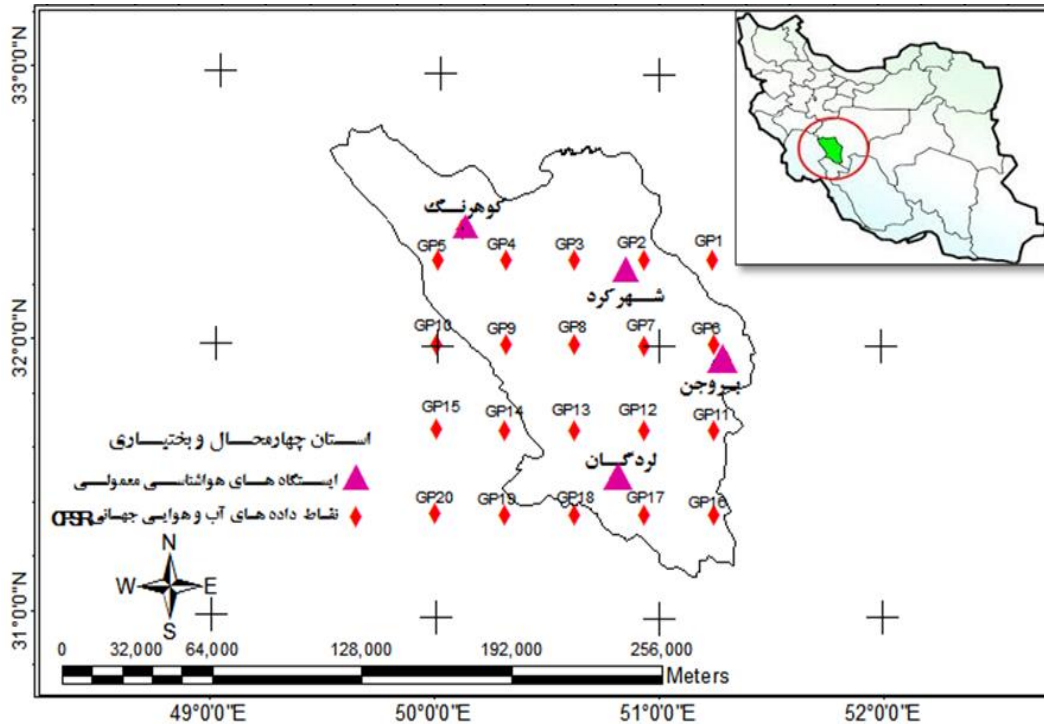
۳. معرفی داده‌های CFSR

تحلیل مجدد، دیدگاه سیستماتیکی برای تولید مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی دوره آماری برای پایش اقلیم است. داده‌های تحلیل مجدد با استفاده از طرحواره ثابت، داده‌ها و مدل‌ها به‌وجود می‌آید که در آن از تمامی داده‌های در دسترس مشاهداتی در بازه زمانی شش ساعته دوره مورد تحلیل استفاده می‌شود و دارای تفکیک‌پذیری افقی ۳۸ کیلومتر است (سها و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۰۱۶). در این دیدگاه، پردازش دوباره همه داده‌های دیدبانی‌های محیطی گذشته از طریق تلفیق داده‌های مشاهداتی با پیش‌بینی‌های عددی کوتاه‌مدت انجام می‌شود. این دیدگاه دو هدف عمده را دنبال می‌کند. نخست، ارائه بهترین تقریب از وضعیت پارامترهای اقلیمی گذشته، و دوم تهیه میدان اولیه‌ای از داده‌های هواشناسی سازگار با مدل‌های عددی کوتاه‌مدت برای یافتن تغییرات هوا و اقلیم به‌نحوی که مدل‌های عددی دچار واگرایی (رشد نمایی خطاها) در پیش‌بینی‌ها نشود. از آنجا که داده‌های واکاوی، در نقاط شبکه‌ای منظم و بدون داده‌های گمشده است، استفاده از آن‌ها به‌راحتی و سادگی در تحلیل‌های اقلیمی امکان‌پذیر است.

۴. نحوه کاربرد داده‌های CFSR

ایستگاه‌های داده‌های تحلیل مجدد (CFSR) مربوط به محدوده استان چهارمحال و بختیاری، از سایت <http://cfs.ncep.noaa.gov/cfsr> با واردکردن طول و عرض جغرافیایی هر چهار گوشه منطقه مورد نظر استخراج شده و داده‌های شبکه‌ای موجود در این محدوده به دست آمد. سپس، با انطباق آن‌ها با نقشه استان چهارمحال و بختیاری در

محیط نرم‌افزاری GIS، ایستگاه‌های مجاور به هر یک از چهار ایستگاه مذکور در جدول ۱ تعیین شد (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، ایستگاه‌های شهرکرد و بروجن با یک ایستگاه، کوه‌رنگ با دو و لردگان با چهار ایستگاه دربردارنده داده‌های CFSR مجاور است.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی معمولی و ایستگاه‌های دربردارنده اطلاعات آب‌وهوایی جهانی CFSR

۵. نحوه مقایسه داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی

اساس مقایسات، استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، هر سه، پارامتر اقلیمی دماهای کمینه و بیشینه و بارش است. بدین ترتیب، ارزیابی مدل LARS-WG و داده‌های CFSR از طریق مقایسه داده‌های روزانه واقعی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۰ به‌منزله دوره پایه و داده‌های تولیدشده برای همین بازه زمانی به‌منزله دوره آینده انجام شد. سپس، مقایسه‌ها در مقیاس ماهانه و سالانه نیز تکرار شد. بدین ترتیب، از داده‌های پیش‌بینی‌شده روزانه مدل‌ها و داده‌های واقعی، میانگین ماهانه گرفته شد و تمامی مقایسه‌ها مشابه مرحله قبل انجام شد. به این صورت که دوازده ماه هر سال با دوازده ماه سال نظیر آن مقایسه شد. همین امر برای محاسبات سالانه نیز انجام گرفت. با توجه به رخداد و تشدید وقایع اقلیمی، مانند تغییر اقلیم، وجود داده‌های بلندمدت ضروری است. بنابراین، در انتها به ارزیابی شبیه‌سازی‌شده در بلندمدت در هر ماه به تفکیک پرداخته شد. بدین ترتیب که میانگین هر ماه در کل بازه زمانی مورد مطالعه محاسبه و با میانگین داده‌های مشاهداتی متناظر مقایسه شد. در این مرحله، پارامتر بارندگی به‌صورت تجمعی محاسبه و دقت شبیه‌سازی‌ها در ماه‌های مختلف مقایسه شد.

یافته‌های پژوهش

جدول ۲ بیانگر میزان توان‌مندی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی سه پارامتر اقلیمی کمینه و بیشینه دما و بارش در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه در چهار ایستگاه مذکور است. مطابق جدول ۲، هیچ‌گونه همبستگی‌ای بین پارامتر اقلیمی بارش شبیه‌سازی‌شده و بارش واقعی در مقیاس روزانه، در هیچ یک از ایستگاه‌ها، که هر کدام نماینده اقلیم متفاوتی باشد وجود ندارد. در حالی که مقدار ضریب تبیین برای دمای کمینه در هر چهار ایستگاه افزایش می‌یابد، به طوری که در ایستگاه لردگان بیشترین مقدار (۰/۷۴) را به خود اختصاص داده است. همچنین، مقدار این ضریب برای بیشینه دما در تمامی ایستگاه‌ها بیش از ۰/۸ است. با توجه به اینکه آماره ضریب تبیین به‌تنهایی بیانگر توان‌مندی مدل در شبیه‌سازی نیست، باید سایر آماره‌ها نیز بررسی شود، چرا که پارامتر بارش به‌رغم ضرایب تبیین بسیار پایین، از میانگین انحراف خطای کم و مناسبی در تمامی ایستگاه‌ها برخوردار است. در مجموع، به علت مقادیر بالای RMSE و MAE، پیش‌بینی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی هیچ‌یک از سه پارامتر اقلیمی در مقیاس روزانه موفق نبود. واریانس‌پذیری شدید داده‌های روزانه دلیل مهم این امر است (حجارپور و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۰۸).

جدول ۲. نتایج کاربرد مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه

آماره خطاسنجی				پارامتر اقلیمی	مقیاس	ایستگاه
MAE	MBE	RMSE	R ²			
۱/۲۵	-۰/۰۳	۴/۷۰	۰/۰۰	بارش	روزانه	
۳/۷۹	-۰/۰۴	۵/۱۳	۰/۶۰	دمای کمینه		
۳/۲۷	-۰/۰۲	۴/۳۰	۰/۸۲	دمای بیشینه		
۱۶/۶۷	-۰/۸۳	۲۸/۰۱	۰/۲۶	بارش	ماهانه	بروجن
۱/۳۲	-۰/۰۴	۱/۸۳	۰/۹۳	دمای کمینه		
۱/۵۴	-۰/۰۲	۲/۰۳	۰/۹۶	دمای بیشینه		
۸۷/۶۷	۱۰/۰۵	۱۰۳/۷۳	۰/۰۱	بارش	سالانه	
۰/۴۹	-۰/۰۴	۰/۶۲	۰/۰۱	دمای کمینه		
۰/۷۸	-۰/۰۲	۱/۰۱	۰/۰۰	دمای بیشینه		
۱/۶۴	-۰/۰۱	۵/۶۲	۰/۰۰	بارش	روزانه	
۳/۹۶	-۰/۰۳	۵/۴۲	۰/۵۷	دمای کمینه		
۳/۳۴	-۰/۰۲	۴/۴۵	۰/۸۲	دمای بیشینه		
۲۴/۷۵	-۰/۴۰	۴۱/۴۵	۰/۱۵	بارش	ماهانه	شهرکرد
۱/۵۱	-۰/۰۲	۲/۲۰	۰/۰۹	دمای کمینه		
۱/۶۱	-۰/۰۲	۲/۱۵	۰/۹۵	دمای بیشینه		
۱۲۳/۴۳	-۴/۷۴	۱۶۴/۷۵	۰/۰۷	بارش	سالانه	
۰/۹۹	-۰/۰۳	۱/۱۱	۰/۰۳	دمای کمینه		
۰/۶۴	-۰/۰۲	۰/۸۳	۰/۲۰	دمای بیشینه		

ادامهٔ جدول ۲. نتایج کاربرد مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه

آمارهٔ خطاسنجی				پارامتر اقلیمی	مقیاس	ایستگاه
MAE	MBE	RMSE	R ²			
۶/۵۰	-۰/۳۹	۱۸/۰۱	۰/۰۱	بارش	روزانه	
۳/۸۱	-۰/۰۲	۵/۴۸	۰/۶۷	دمای کمینه		
۳/۱۷	-۰/۰۱	۴/۲۳	۰/۸۵	دمای بیشینه		
۷۸/۷۱	-۸/۷۱	۱۳۵/۶۱	۰/۳۰	بارش	ماهانه	کوه‌رنگ
۱/۴۲	-۰/۰۵	۲/۲۰	۰/۹۸	دمای کمینه		
۱/۸۰	-۰/۲۲	۴/۲۳	۰/۹۲	دمای بیشینه		
۴۹۳/۵۲	-۱۰۴/۴	۵۷۸/۶۷	۰/۰۱	بارش	سالانه	
۰/۵۶	-۰/۰۲	۰/۷۵	۰/۰۱	دمای کمینه		
۰/۷۹	-۰/۰۱	۱/۰۶	۰/۰۴	دمای بیشینه		
۲/۶۹	-۰/۰۴	۸/۹۰	۰/۰۰	بارش	روزانه	
۳/۱۰	-۰/۱۰	۴/۰۱	۰/۷۴	دمای کمینه		
۲/۹۹	-۰/۰۲	۴/۰۱	۰/۸۵	دمای بیشینه		
-۱/۱۷	۳۸/۸۴	۶۶/۸۱	۰/۲۲	بارش	ماهانه	لردگان
۱/۰۳	-۰/۱۰	۱/۲۹	۰/۹۷	دمای کمینه		
۱/۳۲	-۰/۰۲	۳/۲۳	۰/۹۷	دمای بیشینه		
۲۱۱/۲۹	-۰/۴۸	۲۹۵/۱۷	۰/۶۰	بارش	سالانه	
۰/۳۷	-۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۱۲	دمای کمینه		
۰/۶۵	-۰/۰۱	۰/۸۴	۰/۱۹	دمای بیشینه		

مقایسهٔ میانگین ماهانهٔ داده‌های پیش‌بینی‌شده و مشاهداتی برای پارامترهای اقلیمی، بیانگر بهبود مقادیر آماره‌های خطاسنجی است، به نحوی که مقادیر ضریب تبیین تمامی پارامترها و ایستگاه‌ها نسبت به مقیاس روزانه افزایش یافته است، که با نتایج حجارپور و همکاران (۱۳۹۳: ۲۰۸) مطابقت دارد. البته، به‌طور مشابه با مقایسه‌های روزانه، این آماره در مورد بارش کمتر از دو پارامتر دیگر است.

دماهای کمینه و بیشینهٔ شبیه‌سازی‌شده در هر چهار ایستگاه، با داشتن مقادیر نسبتاً کم RMSE، MAE و MBE مبین توان‌مندی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی این دو پارامتر اقلیمی است.

مقدار RMSE بارش تجمعی، در ایستگاه کوه‌رنگ بیشترین (۱۳۵/۶۱ میلی‌متر) و در ایستگاه بروجن کمترین مقدار (۲۸/۰۱ میلی‌متر) را دارد که با توجه به اختلاف در میزان بارندگی دو ایستگاه، منطقی به نظر می‌رسد، چرا که متوسط بارندگی در ایستگاه کوه‌رنگ بیش از متوسط بارندگی در بروجن است. همچنین، مطابق جدول ۲، در مقیاس سالانه،

ضرایب تبیین تمامی پارامترها در تمامی ایستگاه‌ها، به‌استثنای بارش لردگان ($0/6$)، بسیار ناچیز است. اما، مقادیر سایر آماره‌ها برای دمای کمینه و بیشینه نسبت به مقادیر مربوط به ماهانه کاهش یافته است. به عبارتی، عملکرد مدل LARS-WG در مقیاس سالانه مناسب‌تر است. آماره‌های RMSE و MAE برای بارش تجمعی در ایستگاه کوه‌رنگ ($578/67$ و $493/52$ میلی‌متر)، سپس ایستگاه لردگان ($295/17$ و $211/29$ میلی‌متر) بیشترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد.

به‌منظور ارزیابی داده‌های آب‌وهوایی جهانی CFSR، پس از تطبیق این نقاط اطلاعات آب‌وهوایی بر محدوده مورد مطالعه و تشخیص ایستگاه‌های هم‌جوار با ایستگاه‌های هواشناسی معمولی، مقایسه‌ها در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه انجام شد (جدول ۳). مطابق جدول ۳، نتایج حاصل از مقایسه‌های داده‌های CFSR و داده‌های ایستگاه واقعی بیانگر ضرایب تبیین نسبتاً مناسب برای کمینه و بیشینه دما، به‌ویژه بیشینه دماست. با تطبیق جدول‌های ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های CFSR در مقایسه با خروجی مدل LARS-WG همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی دارد چرا که در این روش، مقادیر ضریب تبیین، بیش از روش قبل است. برای مثال، مقادیر روزانه بارش حاصل از مدل LARS-WG هیچ‌گونه همبستگی با داده‌های بارش روزانه مشاهداتی ندارد. اما، در این روش، به‌جز ایستگاه GP6 در مجاورت ایستگاه بروجن، که دارای ضریب تبیین $0/44$ است، سایر ایستگاه‌ها مقادیر بیش از $0/50$ دارد. در مجموع، سایر پارامترهای آماری نیز در این روش نسبت به روش قبل بهبود یافت. نکته شایان ذکر این است که با وجود مجاورت بیش از یک ایستگاه CFSR به ایستگاه‌های کوه‌رنگ و لردگان، مقادیر آماره‌های خطاسنجی در همه آن‌ها تقریباً یکسان است. با این حال، مقادیر خطاسنجی در مقیاس روزانه چندان مناسب نیست. بدین منظور، مقایسه‌ها در مقیاس ماهانه بسط داده شد. ضرایب تبیین در مقیاس ماهانه در تمامی ایستگاه‌ها و پارامترهای اقلیمی افزایش یافته است. مقادیر آماره‌های RMSE، MAE و MBE نیز کاهش یافت. البته، در ایستگاه‌های GP17، GP13 و GP12 در برخی موارد، عکس آن صادق است.

جدول ۳. ارزیابی داده‌های آب‌وهوایی جهانی CFSR در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری

آماره خطاسنجی				پارامتر اقلیمی	مقیاس	ایستگاه فرعی	ایستگاه اصلی
MAE	MBE	RMSE	R ²				
0/68	-0/06	2/72	0/45	بارش			
2/16	-0/26	2/95	0/85	دمای کمینه	روزانه		
1/86	-0/42	2/81	0/94	دمای بیشینه			
10/56	-2/01	18/08	0/70	بارش			
1/09	-0/25	1/55	0/95	دمای کمینه	ماهانه	GP6	بروجن
1/48	-0/41	1/87	0/98	دمای بیشینه			
45/88	-22/08	62/94	0/69	بارش			
0/53	-0/26	0/64	0/32	دمای کمینه	سالانه		
0/60	-0/42	0/65	0/79	دمای بیشینه			

ادامه جدول ۳. ارزیابی داده‌های آب‌وهوایی جهانی CFSR در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری

آماره خطاسنجی				پارامتر اقلیمی	مقیاس	ایستگاه فرعی	ایستگاه اصلی
MAE	MBE	RMSE	R ²				
۰/۷۰	۰/۱۶	۲/۷۶	۰/۵۴	بارش			
۳/۲۷	۰/۵۲	۴/۱۳	۰/۷۴	دمای کمینه	روزانه		
۱/۹۳	۰/۸۲	۲/۷۵	۰/۹۵	دمای بیشینه			
۱۱/۱۹	۴/۷۵	۲۰/۴۹	۰/۷۲	بارش			
۲/۲۶	۰/۵۳	۷/۸۹	۰/۸۷	دمای کمینه	ماهانه	GP2	شهرکرد
۱/۳۱	۰/۸۴	۲/۰۷	۰/۹۸	دمای بیشینه			
۷۲/۵۱	۵۶/۷۲	۹۲/۸۸	۰/۷۱	بارش			
۱/۲۸	۰/۵۳	۱/۴۹	۰/۰۴	دمای کمینه	سالانه		
۰/۸۵	۰/۸۳	۱/۰۲	۰/۷۰	دمای بیشینه			
۲/۳۵	۱/۸۳	۸/۱۲	۰/۶۸	بارش			
۳/۶۱	-۰/۴۶	۴/۸۷	۰/۷۳	دمای کمینه	روزانه		
۲/۷۶	-۲/۰۱	۳/۳۰	۰/۹۵	دمای بیشینه			
۵۸/۱۳	۵۵/۸۳	۹۳/۶۷	۰/۸۸	بارش			
۱/۹۴	-۰/۴۵	۲/۶۸	۰/۹۰	دمای کمینه	ماهانه	GP5	
۲/۳۸	-۲/۰۰	۲/۷۲	۰/۹۸	دمای بیشینه			
۶۸۶/۰۵	۶۶۷/۱	۷۳۳/۰۸	۰/۶۸	بارش			
۰/۹۴	-۰/۴۵	۱/۲۲	۰/۱۵	دمای کمینه	سالانه		
۲/۰۱	-۲/۰۱	۲/۱۱	۰/۶۷	دمای بیشینه			کوهرنگ
۲/۴۹	۱/۹۳	۸/۷۰	۰/۶۷	بارش			
۳/۵۳	۱/۷۹	۴/۶۷	۰/۷۸	دمای کمینه	روزانه		
۱/۹۱	-۰/۱۹	۲/۶۵	۰/۹۵	دمای بیشینه			
۶۱/۸۰	۵۸/۸۸	۱۰۱/۴۶	۰/۸۸	بارش			
۲/۶۰	۱/۷۹	۳/۱۴	۰/۹۱	دمای کمینه	ماهانه	GP4	
۱/۲۹	-۰/۱۹	۱/۹۰	۰/۹۸	دمای بیشینه			
۷۲۳/۷۷	۷۰۳/۴۰	۷۷۷/۱۴	۰/۷۷	بارش			
۱/۸۱	۱/۸۰	۲/۱۶	۰/۱۱	دمای کمینه	سالانه		
۰/۵۴	-۰/۱۹	۰/۶۵	۰/۶۹	دمای بیشینه			

ادامه جدول ۳. ارزیابی داده‌های آب‌وهوایی جهانی CFSR در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری

ایستگاه اصلی	ایستگاه فرعی	مقیاس	پارامتر اقلیمی	آماره خطاسنجی		
				MAE	MBE	RMSE
			بارش	۰/۶۵	۴/۵۷	۱/۳۰۴
		روزانه	دمای کمینه	۰/۸۴	۴/۱۴	۳/۰۶۱
			دمای بیشینه	۰/۹۶	۴/۸۰۵	۴/۱۹۶
			بارش	۰/۸۳	۴۲/۸۲	۲۴/۰۶
	GP13	ماهانه	دمای کمینه	۰/۸۹	۱۴/۵۷	۴/۵۲۶
			دمای بیشینه	۰/۹۵	۲۷	۸/۰۵۲
			بارش	۰/۶۶	۲۲۹/۸	۲۰۶/۴
		سالانه	دمای کمینه	۰/۰۴	۲/۶۴	۲/۴۴۲
			دمای بیشینه	۰/۷۵	۴/۱۳	۴/۱۰۶
لردگان			بارش	۰/۶۵	۳/۷۷	۱
		روزانه	دمای کمینه	۰/۸۲	۵/۴۶	۴/۲۹
			دمای بیشینه	۰/۹۵	۵/۶۴	۴/۹۵۵
			بارش	۰/۸۴	۲۷/۶۱	۱۴/۱۴
	GP12	ماهانه	دمای کمینه	۰/۹۲	۴/۶۱	۴/۰۸۲
			دمای بیشینه	۰/۷۷	۷/۳۱	۵/۲۵
			بارش	۰/۶۸	۱۰۵/۳۷	۸۶/۱۷
		سالانه	دمای کمینه	۰/۰۵	۴/۲۵	۴/۱۰
			دمای بیشینه	۰/۶۵	۴/۹۷	۴/۹۳

مقایسه‌های سالانه نشان‌دهنده کاهش ضرایب تبیین نسبت به مقیاس ماهانه (مشابه روش قبلی) و در مورد دما نیز آماره‌های خطاسنجی رضایت‌بخش است. مقادیر آماره‌های خطاسنجی برای بارش در تمامی ایستگاه‌ها زیاد است. این آماره‌ها در ایستگاه بروجن کمترین و در ایستگاه کوه‌رنگ بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. با تطبیق جدول‌های ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت که CFSR در شبیه‌سازی بارش موفق‌تر بوده است (البته به‌جز ایستگاه کوه‌رنگ که در این روش RMSE و MAE بیشتری دارد).

همچنین، نتایج نشان داد که داده‌های CFSR برای پارامتر بارش ایستگاه شهرکرد در اغلب ماه‌ها دارای کم‌برآوردی نسبت به داده‌های مشاهداتی است. البته، در مورد ماه‌های ژانویه و نوامبر، عکس این قضیه صادق است (شکل ۲). بیشترین اختلاف CFSR در ماه‌های آوریل، دسامبر و نوامبر به ترتیب با ۱۸/۱۵، ۱۷/۱۶ و ۱۷/۰۴ میلی‌متر و در مدل LARS-WG به ترتیب در ماه‌های دسامبر، آوریل و نوامبر با ۹/۱۵، ۵/۵۹ و ۴/۵۶ میلی‌متر بارش صورت گرفته است.

مطابق شکل‌های ۳ و ۴ در مورد دما می‌توان گفت که دمای بیشینه بهتر از دمای کمینه شبیه‌سازی شده است، زیرا به‌جز ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس، مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی از اختلاف کمی برخوردار است.

شکل‌های ۵ و ۶ بیانگر آن است که دو ایستگاه همجوار با ایستگاه کوه‌رنگ در شبیه‌سازی پارامتر بارش در این ایستگاه، عملکرد مناسبی نداشتند که شاید بتوان دلیل آن را تفاوت رقوم ارتفاعی این ایستگاه‌ها با ایستگاه کوه‌رنگ (به ترتیب برای GP5 و GP4 برابر با ۱۷۶۹ و ۳۳۵۳ متر از سطح دریا) دانست. اما عملکرد مدل LARS-WG در این زمینه رضایت‌بخش‌تر است. ایستگاه کم‌ارتفاع‌تر (GP5) در شبیه‌سازی دمای کمینه موفق‌تر عمل کرده است. بیشترین اختلاف دمای شبیه‌سازی شده مربوط به ماه‌های ژانویه (۳/۳۹ درجه سانتی‌گراد) و دسامبر (۲/۵۳ درجه سانتی‌گراد) و در سایر ماه‌ها نسبتاً مناسب است. این ایستگاه در مورد دمای بیشینه دارای بیش‌برآوردی در تمامی ماه‌هاست، ولی ایستگاه GP4 این پارامتر اقلیمی را بهتر شبیه‌سازی کرده است. دمای بیشینه این ایستگاه در ماه فوریه بیشترین اختلاف (۱/۳۹ درجه سانتی‌گراد) را با دمای بیشینه مشاهداتی دارد. بنابراین، در صورت لزوم می‌توان از دمای کمینه ایستگاه GP5 و دمای بیشینه ایستگاه GP4 برای ایستگاه کوه‌رنگ استفاده کرد.

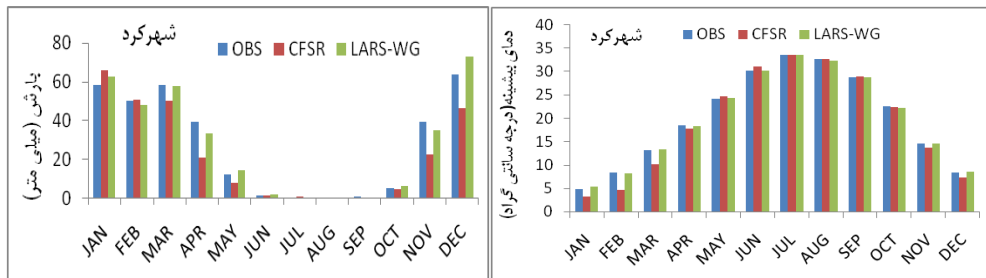
شکل‌های ۷ تا ۹ نشان‌دهنده نتایج شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی ایستگاه بروجن است. مطابق شکل ۷، برای ماه‌های ژانویه و فوریه به ترتیب با ۲۲/۳ و ۱۳/۷۹ میلی‌متر بیشترین اختلاف را با داده‌های واقعی بارش دارد. در حالی که در مدل LARS-WG ضعیف‌ترین شبیه‌سازی متعلق به ماه‌های می و آوریل (به ترتیب ۴/۹ و ۴/۶۷ میلی‌متر) است. همان‌طور که شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهد، شبیه‌سازی دمای کمینه ماه‌های فوریه و ژانویه با ۲ و ۱/۷۴ و دمای بیشینه با ۲/۵۲ و ۲ درجه سانتی‌گراد اختلاف، نسبت به سایر ماه‌ها، از دقت کمتری برخوردار است. این اختلافات در تمامی ماه‌ها در مدل LARS-WG ناچیز و بیانگر توان‌مندی این مدل در شبیه‌سازی پارامتر دماست.

از بین چهار ایستگاه مجاور ایستگاه لردگان (GP12، GP17، GP13 و GP18) ایستگاه GP12 در اغلب ماه‌ها در شبیه‌سازی بارش عملکرد بهتری دارد. البته، مطابق شکل ۱۰، اختلاف مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ماه دسامبر قابل توجه است (۲۸/۲۴ میلی‌متر). در ایستگاه GP18، دمای کمینه ماه‌های سرد (ژانویه، فوریه و مارس)، در ایستگاه GP17 ماه‌های مارس و فوریه، در ایستگاه GP13 ماه‌های فوریه، دسامبر و ژانویه و در ایستگاه GP12 ماه‌های مارس، فوریه و ژانویه به ترتیب بیشترین خطا را در شبیه‌سازی دارد. ایستگاه GP17 در تمامی ماه‌ها دارای بیش‌برآوردی و سایر ایستگاه‌ها دارای کم‌برآوردی نسبت به داده‌های مشاهداتی است. عملکرد LARS-WG در این ایستگاه نیز مناسب بود. در مجموع، می‌توان گفت هر چند توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر رضایت‌بخش نبود، بررسی خروجی‌های آن در مقیاس زمانی بلندمدت بیانگر توان‌مندی مدل است، چرا که در اغلب موارد، اختلافات داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در ماه‌های مختلف در مورد هر سه پارامتر اقلیمی، به‌ویژه دما، کم است.

نتایج تحقیقات سمونوف و همکاران (۱۹۹۸: ۱۰۲)، ماوروماتیس و هسن (۲۰۰۱: ۲۸۳) و خلیلی‌اقدم و همکاران (۱۳۹۱: ۸۵) نیز همین امر است. داده‌های CFSR نیز در ایستگاه‌های مورد مطالعه در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر (ماهانه و سالانه) عملکرد نسبتاً مناسبی دارد، اما در مقیاس طولانی‌مدت نسبت به مدل LARS-WG دارای اختلافات بیشتری با مقادیر مشاهداتی در ماه‌های مختلف است. دایل و سرینیواسان (۲۰۱۳: ۱) نیز در مطالعات خود نشان دادند که مدل‌سازی با این داده‌ها نسبت به داده‌های واقعی خطای بیشتری دارد. اما، فوکا و همکاران (۲۰۱۳: ۱) عکس این نتیجه

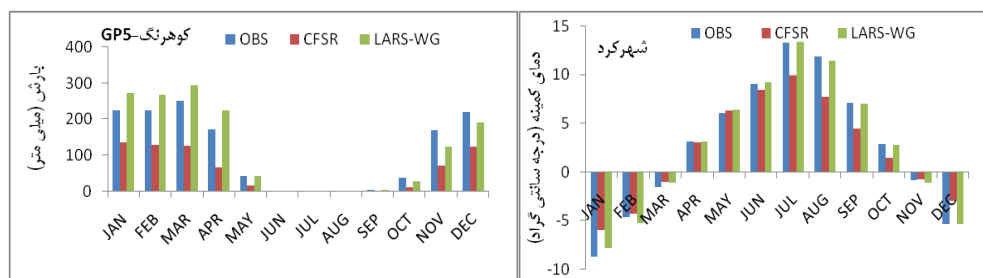
را گزارش کردند. نکته قابل ذکر این است که این داده‌ها به صورت شبکه‌ای است و از لحاظ مختصات جغرافیایی در مجاورت ایستگاه‌های زمینی قرار می‌گیرد. لذا، ممکن است از نظر رقوم ارتفاعی با ایستگاه مجاور کاملاً متفاوت باشد. این امر در دما و میزان بارش تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین، حتی اگر این داده‌ها در پرکردن خلأ آماری ایستگاه مورد نظر استفاده نشود، ایستگاهی مستقل در مناطقی استفاده می‌شود که کاملاً فاقد ایستگاه هواشناسی است.

استان چهارمحال و بختیاری که تأمین‌کننده حدود ۱۰٪ از منابع آب کشور است، تنها چهار ایستگاه سینوپتیکی با آمار بلندمدت دارد. این استان در سال‌های اخیر با چالش‌هایی مانند تغییر اقلیم، کم‌آبی و خشکسالی مواجه شده است. مطالعه دقیق این چالش‌ها نیازمند آمار بلندمدت هواشناسی در سطح استان است. بنابراین، استفاده از داده‌های CFSR در مدل‌سازی‌های اکولوژیکی و هیدرولوژیکی راه‌حل مناسبی به نظر می‌رسد. اما، با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش باید توجه داشت که از این داده‌ها در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر (ماهانه و سالانه) برای ایستگاه مجاور استفاده شود. همچنین، می‌توان با برازش رابطه بین این داده‌ها با داده‌های ایستگاه‌های واقعی، خلأ آماری آن‌ها را پرکرد. به‌طور کلی، این داده‌ها برای نقاطی از استان که فاقد ایستگاه هواشناسی است بسیار ارزشمند است و مشکل کمبود ایستگاه هواشناسی را تا حدودی مرتفع می‌سازد. استفاده از داده‌های مدل LARS-WG نیز در بازه زمانی طولانی مدت توصیه می‌شود. برای مثال، در بررسی تغییرات اقلیمی در دوره‌های آبی در همان ایستگاه می‌توان از این داده‌ها استفاده کرد.

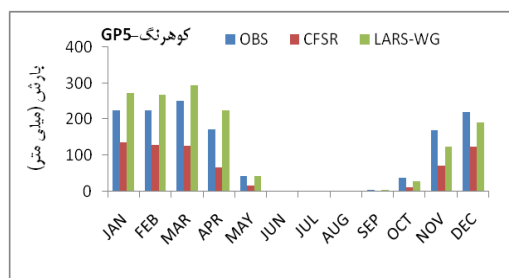


شکل ۲. میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شهرکرد

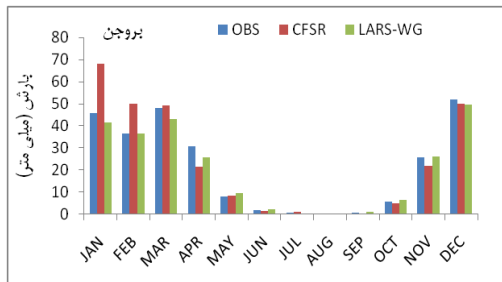
شکل ۳. میانگین دمای بیشینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شهرکرد



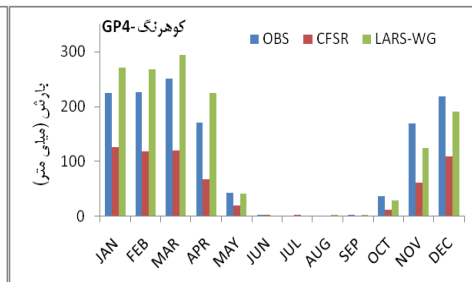
شکل ۴. میانگین دمای کمینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شهرکرد



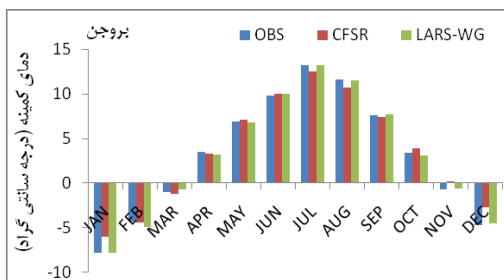
شکل ۵. میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی کوهرنگ GP5



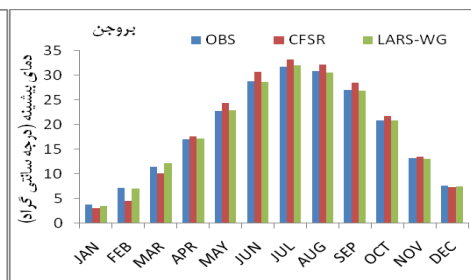
شکل ۷. میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی بروجن



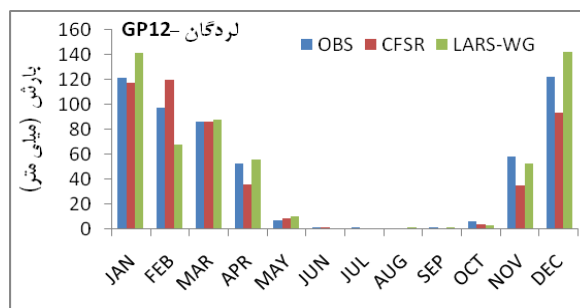
شکل ۶. میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی کوهرنگ GP4



شکل ۹. میانگین دمای کمینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی بروجن



شکل ۸. میانگین دمای بیشینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی بروجن



شکل ۱۰. میانگین دمای بیشینه ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی لردگان GP12

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین مشکلات مدل‌سازی‌های اکولوژیکی و هیدرولوژیکی در سطح جهان، کمبود داده‌های هواشناسی است. استان چهارمحال و بختیاری نیز، علی‌رغم جایگاه ویژه‌ای که در کشاورزی و تأمین منابع آب کشور دارد، با چنین مشکلی مواجه است. از طرفی، در سال‌های اخیر رخدادهایی نظیر تغییر اقلیم، خشکسالی و کم‌آبی نیاز به اطلاعات اقلیمی را دوچندان کرده است. بنابراین، استفاده از مولدهای مصنوعی آب‌وهوا راه‌حل احتمالی در این زمینه به‌نظر می‌رسد. تحقیق حاضر نیز در همین راستا و به منظور ارزیابی مدل LARS-WG و داده‌های CFSR در شبیه‌سازی پارامترهای بارش و دمای این استان انجام گرفت. نتایج، حاکی از توان‌مندی مدل LARS-WG در بازه زمانی طولانی‌مدت (دهه) و توان‌مندی داده‌های CFSR در بازه زمانی کوتاه‌تر (ماهانه و سالانه) است. مدل LARS-WG صرفاً برای هر ایستگاه، و

داده‌های CFSR به صورت شبکه‌ای در کل سطح استان، شبیه‌سازی را انجام می‌دهد. بنابراین، برای نقاطی از استان که فاقد ایستگاه‌های هواشناسی است، گزینه مناسبی برای شناخت نسبی از وضعیت اقلیمی آن‌ها محسوب می‌شود.

منابع

بابائیان، ا.؛ نجفی نیک، ز.؛ زابل عباسی، ف.؛ حبیبی نوخندان، م.؛ ادب، ح.؛ و ملیوسی، ش. (۱۳۸۶). مدل‌سازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، بهمن، تهران: ۶۲-۷۲.

حجاریور، ا.؛ یوسفی، م.؛ و کامکار، ب. (۱۳۹۳). آزمون دقت شبیه‌سازهای WeatherMan، LARS-WG و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد)، جغرافیا و توسعه، ۱۲(۳۵): ۲۰۱-۲۱۶.

خلیلی اقدم، ن.؛ مساعدی، ا.؛ سلطانی، ا. و کامکار، ب. (۱۳۹۱). ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۹(۴): ۸۵-۱۰۲.

سایت اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری <http://www.chaharmahalmet.ir>

Babaeian, A.; Najafi Nik, Z.; Zabol Abassi, F.; Habibi Nokhandan, M.; Adab, H. and Malbousi, Sh. (2007). Iran climate modeling using statistical downscaling output ECHO-G model in period 2039-2010, *Technical Workshop on the Effects of Climate Change on Water Resources Management*, Tehran, January 2008: 72-62.

Chaharmahal and Bahktiari Meteorological Organization website: <http://www.chaharmahalmet.ir>

Dile, Y.T. and Srinivasan R. (2013). Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data scarce watersheds: An application in the blue Nile River basin, *Journal of American Water Resources Association (JAWRA)*, 50(5): 1226-1241.

Fodor, N.; Dobi, I.; Mika, J. and Szeid, L. (2010). MV-WG: A new multi-variable weather generator, *Meteorol Atmos Phys*, 107: 91-101

Fuka, D.R.; Walter, T.M.; MacAlister, C.; Degaetano, A.T.; Steenhuis, T.S. and Easton, Z.M. (2013). Using the climate forecast system reanalysis as weather input data for watershed models, *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.10073.

Hajarpour, A.; Yousefi, M. and Kamkar, B. (2014). Accuracy assessment of weather assimilators of CLIMGEN, LARS-WG and weather man in assimilation of three different climatic parameters of three different climates (Gorgan, Gonbad and Mashhad), *Iranian Journal of Geography and Development*, 12(35): 201-216.

Khalili Aghdam, N.; Mosaedi, A.; Soltani, A. and Kamkar, B. (2012). Evaluation of ability of LARS-WG model for simulating some weather parameters in Sanandaj, *Water and Soil Conversation*, 19(4): 85-102.

Mavromatis, T. and Hansen, J.W. (2001). Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators, *Agricultural and Forest Meteorology*, 109: 283-296.

Saha, S.; Moorthi, S.; Pan, H.; Behringer, D.; Stokes, D. and Grumbine, R. (2010). The NCEP climate forecast system reanalysis, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(8): 1015-1057.

Schuol, J. and Abbaspour, K.C. (2007). Using monthly weather statistics to generate daily data in a SWAT model application to West Africa, *Ecological Modeling*, 201: 301-311.

Semenov, M.A. (2008). Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, *Climate Research*, 35: 203-212.

Semenov, M.A. and Barrow, E.M. (2002). LARS-WG, A Stochastic weather generator for use in climate impact studies (User Manual).

Semenov, M.A.; Brooks, R.J.; Barrow, E.M. and Richardson, C.W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates, *Climate Research*, 10: 95-107.

Soltani, A. and Hoogenboom, G. (2003). A statistical comparison of the stochastic weather generators WGEN and SIMMETEO, *Climate Research*, 24: 215-230.