

کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو استان گلستان

جهانتاب خسروانیان^۱

مجید اونق^۲

مسعود گودرزی^۳

سیداسدالله حجازی^۴

چکیده

یک مولد آب و هوایی به‌عنوان ابزاری نسبتاً دقیق و ارزان برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم چندساله در مقیاس روزانه به‌کار برده می‌شود و تغییرات در متغیرهای اقلیمی و میانگین‌های اقلیمی را ترکیب می‌کند. در این تحقیق کارایی مدل LARS-WG جهت تولید داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی در حوضه آبخیز قره‌سو استان گلستان در ایستگاه گرگان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و با استفاده از آن تغییرات پارامترهای اقلیمی در آینده بررسی شده است. در اولین گام مدل برای دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ اجرا گردیده و میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و تولید شده پارامترهای اقلیمی مذکور مقایسه شد. همبستگی مقادیر با استفاده از آزمون T استیودنت نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از مدل وجود ندارد. مقادیر میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و تولید شده متغیرهای هواشناسی با استفاده از پارامترهای آماری NA، RMSE و MAE نیز مورد مقایسه قرار گرفتند و اثبات شد که مدل کارایی لازم جهت تولید داده‌های روزانه در حوضه آبخیز قره‌سو استان گلستان را داراست.

۱- کارشناس ارشد آبخیزداری. Email:jahantabkhosravaniyan@gmail.com

۲- عضو هیئت علمی گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه گرگان.

۳- عضو هیئت علمی پژوهشکده آبخیزداری و حفاظت خاک تهران.

۴- استادیار دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.

هم‌چنین نمودارهای پراکنش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان داد که مقادیر دمای حداقل و حداکثر بیشترین همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت آفتابی کمترین میزان همبستگی را داراست. در مرحله بعد پس از اطمینان از کارایی این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مذکور در حوضه آبخیز قره‌سو استان گلستان، داده‌های سه سناریوی A2 (سناریوی حداکثر)، A1B (سناریوی حد وسط) و B1 (سناریوی حداقل) مدل HadCM3 در دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ با مدل آماری LARS-WG کوچک مقیاس گردید. نتایج نشان داد که بر اساس برآورد مدل LARS-WG برای سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آبی میانگین دمای حوضه آبخیز قره‌سو به میزان ۰/۵۶ تا ۴/۰۴ درجه سلسیوس افزایش و مقدار بارش نیز در مقایسه با دوره پایه به میزان ۱۰/۲۸ تا ۲۳/۷۱ درصد افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم؛ ریزمقیاس گردانی؛ HadCM3؛ سناریوهای اقلیمی؛ مدل LARS-WG. حوضه قره‌سو

مقدمه

روش‌های مختلف برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل‌های گردش عمومی وجود دارد. این روش‌ها شامل روش‌های دینامیکی (RCM) و روش‌های آماری است. روش‌های دینامیکی جزء روش‌های هزینه‌بر بوده که در ایران دردسترس نیستند. معتبرترین ابزار جهت ریزمقیاس کردن داده‌های GCM در کشور ما استفاده از روش‌های آماری می‌باشد.

مدل‌های مولد مصنوعی داده‌های هواشناسی دارای دو رویکرد آماری هستند: مدل‌های نوع ریچاردسون که جهت شبیه‌سازی بارش از روش زنجیره مارکف استفاده می‌کنند و در این روش ابتدا تر یا خشک بودن روز بررسی می‌گردد و سپس میزان بارش روز تر بر اساس بارش روزهای قبل و بعد محاسبه می‌شود. دومین نوع مدل‌های تولیدکننده داده‌های هواشناسی مدل‌های نوع سریال هستند که توزیع نیمه‌تجربی را به کار می‌برند و جهت تولید آب و هوا، در ابتدا طول گام‌های خشک و مرطوب شبیه‌سازی می‌شود که مشهورترین آن‌ها مدل LARS-WG است (Babaeian et al, 2004).

بابائیان و همکاران در تحقیقی، اقلیم ایران را برای دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ مدل‌سازی نمودند. نامبردگان داده‌های سناریوی A1 مدل ECHO-G که در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز هواشناسی کره جنوبی اجرا می‌شود را برای مدل‌سازی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی آماری مدل LARS-WG به کار بردند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). در تحقیقی در انگلستان سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل LARS-WG بررسی شد و قابلیت این مدل در شبیه‌سازی داده‌های روزانه مورد تأیید قرار گرفت (Semnow et al, 2002). الشمی و همکاران با استفاده از مدل‌های مولد هواشناسی، اثرات تغییر اقلیم در جنوب انگلستان را مورد مطالعه قرار داده و نتایج مشابهی را بیان نمودند (Elshamy et al, 2005). بابائیان و همکاران تغییرات اقلیم کره جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ را با استفاده از مدل LARS-WG مورد بررسی قرار دادند (Babaeian et al, 2004). مشکواتی و همکاران در تحقیقی توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره‌ی ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که این مدل عملکرد مناسب در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی ایستگاه‌های تحت بررسی داشته و می‌توان از آن در جهت ارزیابی اقلیم آینده استان در مقیاس محلی استفاده نمود (مشکواتی و همکاران، ۱۳۸۹).

اشرف و همکارانش در تحقیقی روند تغییر پارامترهای اقلیمی مشهد در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده سه سناری A2, A1B و B1 مدل LARS-WG را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که میزان دما و بارش هر سه سناریو افزایش می‌یابد و بیشترین افزایش بارش مربوط به فصل‌های زمستان و بهار خواهد بود (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰). عباسی و همکاران در تحقیقی ارزیابی تغییر اقلیم زاگرس در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G را بررسی نمودند. نتایج کلی حاکم از کاهش ۲ درصدی بارش در منطقه زاگرس، افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۴ درجه سلسیوس می‌باشد که بیش‌ترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان ۱/۲ درجه سلسیوس خواهد بود (عباسی و همکاران،

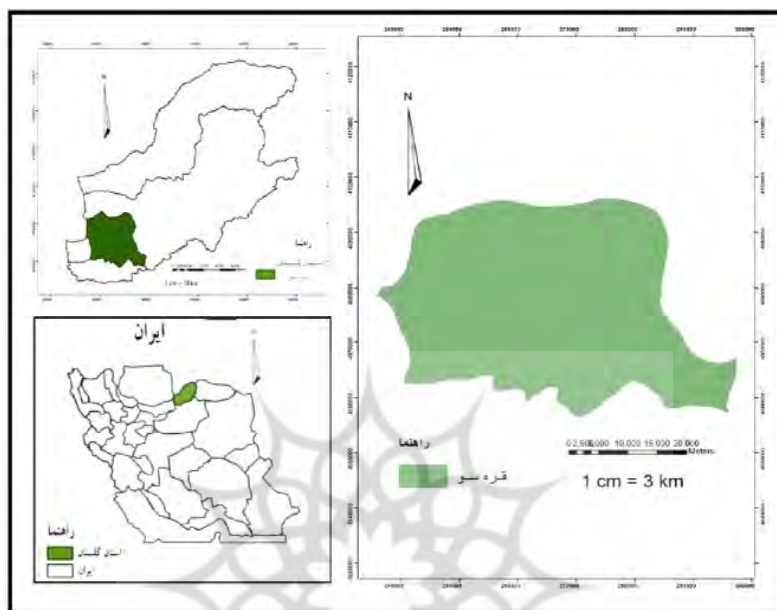
۱۳۸۹). عباسپور و همکاران در پژوهش خود اثرات تغییر اقلیم روی منابع آب ایران را ارزیابی نمودند، در این تحقیق از سناریوهای A2، A1B و B1 مدل CGCM3 در دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۴۰ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰ استفاده نمودند و جهت مطالعه‌ی اثر تغییر اقلیم روی منابع آب مدل هیدرولوژیکی SWAT را به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که در آینده مناطق مرطوب کشور بارش بیش‌تر و مناطق خشک بارش کم‌تری را دریافت می‌کنند. تجزیه و تحلیل شدت بارش روزانه، شدت سیل بیش‌تر در مناطق مرطوب و خشک‌سالی طولانی مدت در مناطق خشک را نشان داد. تفاوت پیش‌بینی‌های سه سناریو در سطح استانی نسبت به عدم اطمینان مدل هیدرولوژیکی کوچک‌تر بود، در سطح زیر حوضه‌ای سه سناریو در مناطق خشک نتایج کاملاً متفاوتی داشتند اگر چه نتایج آن‌ها در مناطق مرطوب کم و بیش مشابه بود (Abbaspour et al, 2009). بابائیان و نجفی‌نیک در تحقیقی مدل LARS-WG را برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۶۱ انجام دادند. ارزیابی بر روی ۴ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان (قبل از تقسیم) شامل مشهد، بیرجند، سبزوار و تربت حیدریه انجام شد. نتایج حاصل از مقادیر دیدبانی و شبیه‌سازی شده چهار پارامتر بارش، دمای حداقل، حداکثر و تابش ماهانه همراه با مقادیر انحراف معیار آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین خطا مربوط به شبیه‌سازی بارش روزانه بوده و هم‌چنین نتایج نشان داد که مدل LARS-WG با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر در استان خراسان می‌باشد (بابائیان و همکار، ۱۳۸۵).

تلان و ضرغامی در تحقیقی تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار دادند. ایشان از داده‌های سناریوی A1 مدل گردش عمومی جو ECHO-G برای ارزیابی تغییرات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک استان آذربایجان شرقی در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۹ استفاده نمودند و نتایج تحقیق آن‌ها نشان از افزایش بارش سالانه به میزان ۱۲ درصد و افزایش میانگین دمای سالانه به میزان ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد در سطح استان آذربایجان شرقی، در دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۴۹ میلادی نسبت به دوره ۱۹۷۸-۲۰۰۶ داشت (تلان و همکار، ۱۳۸۷).

به‌طورکلی هدف این تحقیق ریزمقیاس کردن داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، ساعات آفتابی و بارش برای ایستگاه سینوپتیک حوضه قره‌سو گرگان و تولید سناریوهای اقلیمی در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ و بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه: حوضه آبخیز قره‌سو با مساحتی معادل ۱۶۳۸ کیلومتر مربع در دامنه‌های شمالی البرز واقع است و از نظر موقعیت جغرافیایی در ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۷ درجه عرض شمالی و بین ۵۴ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی قرار دارد. بلندترین نقطه حوضه با ارتفاع ۳۲۰۴ متر از سطح دریای آزاد در جنوب‌شرق و پست‌ترین منطقه آن با ارتفاع ۲۷- متر در شمال غرب حوضه واقع شده است. پوشش جنگلی متراکمی در ارتفاعات وجود دارد که دامنه آن تا ارتفاع حدود ۲۵۰ الی ۹۰۰ متر گسترده شده می‌باشد. میانگین سالیانه بارندگی حدود ۳۰۰ میلی‌متر در کناره‌های جنوبی و شمالی حوضه و تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در بخش مرکزی آن متغیر است. میانگین سالیانه دما در حدود ۱۷ درجه سانتی‌گراد در نواحی پست شمالی تا ۷ درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات جنوبی حوضه کاهش می‌یابد. تیپ اقلیمی این حوضه شامل نیمه‌بیابانی، خزری و معتدل و سرد کوهستانی از نوع دریا-کوهستان است. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان و ایران را نشان می‌دهد.



شکل (۱) نقشه موقعیت حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان و ایران

مدل LARS-WG توسط یکی از دانشمندان مرکز مطالعات کشاورزی روتامشتد^۵ انگلستان طراحی شده است که با استفاده از داده‌های دیدبانی شده و بررسی رفتار اقلیم ایستگاه‌ها در دوره آماری و همچنین داده‌های روزانه شبکه‌ای مدل‌های گردش عمومی جو در آینده می‌توان داده‌های روزانه دوره‌های آبی را مدل‌سازی کرد (Semenov et al, 2002)؛ (سایت پژوهشکده اقلیم‌شناسی، ۱۳۹۱).

نسخه قدیمی این مدل LARS WG 3 و نسخه جدید آن که در این مقاله هم مورد استفاده قرار گرفته است LARS WG 5 می‌باشد که داده‌های مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای پیش‌تری در نسخه جدید فراهم شده است.

سری‌های زمانی ساخته شده در مدل LARS-WG عمدتاً دارای خصوصیات آماری مشابه با داده‌های مشاهداتی در یک ایستگاه می‌باشد و جهت استفاده در ارزیابی خطر هیدرولوژیکی یا کاربردهای کشاورزی باید دارای آمار طولانی مدت باشد و همچنین می‌توان از این مدل جهت تولید داده‌های گم شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده نمود. در مدل LARS-WG توصیف تشعشعات خورشیدی روزهای خشک و تر با استفاده از توزیع‌های نیمه‌تجربی جداگانه و مدل‌سازی تشعشعات خورشیدی به‌طور مستقل از دما صورت می‌پذیرد. (Semnow et al, 2002) توزیع نیمه‌تجربی ۱۰ بازه داشته و به ۲۱ پارامتر نیاز دارد که ۱۱ پارامتر دلالت می‌کند بر مرزهای بازه‌ها و ۱۰ پارامتر تعداد رخدادها بین هر بازه را مشخص می‌کند. در ورژن قدیمی‌تر مدل برای تعریف سری روزهای تر و خشک، ۳ پارامتر برای توزیع نمایی مختلط به کار برده شده است (Racsko et al, 1991)، که ورژن جدیدتر آن بهتر است. LARS-WG یک روش ریزمقیاس کردن آماری است که می‌تواند جهت شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دما ($^{\circ}\text{C}$)، بارش (mm) و تشعشعات خورشیدی ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{day}$) در یک مکان تحت شرایط اقلیم حال و آینده استفاده شود. اولین نسخه از LARS-WG در سال ۱۹۹۰ در بوداپست به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی خطر کشاورزی در کشور مجارستان توسط آکادمی علوم مجارستان به کار گرفته شد (Semnow et al, 2002).

نسخه اصلاح شده این مولد آب و هوا در ساخت سناریوهای تغییر اقلیم در دو پروژه بزرگ تحقیقاتی CLIVAR و CLAIRE اتحادیه اروپا برای تخمین اثرات تغییر اقلیم روی پتانسیل کشاورزی در اروپا استفاده شد (Harrison et al, 1995; Downing et al, 2000).

مدل LARS-WG به‌طور گسترده با مدل WGEN که در سال ۱۹۸۱ توسط ریچاردسون و در سال ۱۹۸۴ توسط ریچاردسون و رایت به کار برده شده واز روش زنجیره مارکف استفاده می‌کند، مقایسه می‌شود، نتایج مدل LARS-WG در مقایسه با WGEN هم‌خوانی بیش‌تری با داده‌های مشاهداتی دارد (Semenov et al, 2002) (Semenov et al, 1998).

در مواقعی که تشعشعات آفتابی در دسترس نباشد می‌توان از ساعت آفتابی نیز استفاده نمود و مدل به‌طور خودکار میزان ساعت آفتابی را با استفاده از رابطه ۱ به تشعشعات خورشیدی تبدیل می‌نماید.

$$a + (b(n/N)) \quad (1)$$

که در آن a و b ضرایب ثابت معادله می‌باشند و مقدار n/N نرخ واقعی مدت زمان پتانسیل ساعت آفتابی است (Rietveld, 1978). مدل LARS-WG قادر است با داده‌های مشاهداتی کم (مثلاً در حد یک‌سال)، داده‌های اقلیمی را پیش‌بینی کند ولی برای اینکه مدل بتواند اقلیم درست‌تر و دقیق‌تری را پیش‌بینی کند بهتر است که از ۲۰-۳۰ سال داده روزانه استفاده نمود (Semnow et al, 2002).

بیش‌ترین تمرکز در ابداع مدل LARS-WG برای غلبه بر محدودیت‌های مدل زنجیره مارکف از وقوع بارش است و این روش به‌طور وسیع در مدل‌سازی بارش اتفاق افتاده استفاده می‌شود و به‌طور کلی به دو حالت بارش و نیز تر یا خشک بودن توجه می‌کند و فقط شرایط روز قبل را در نظر می‌گیرد. شبیه‌سازی وقوع بارش به‌عنوان جایگزین سری‌های خشک و مرطوب مدل‌سازی شده است و یک روز با بارش بیش‌تر از صفر میلی‌متر به عنوان روز مرطوب تلقی می‌شود. مدل LARS-WG برای طول سری‌های روزانه خشک و تر، بارش و تشعشعات خورشیدی روزانه از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌کند و درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه نیز بر اساس سری‌های فوریه^۱ تخمین زده می‌شود (Semnow et al, 2002).

جهت اجرای اولیه مدل LARS-WG باید در ابتدا دو فایل ورودی را آماده کنیم که یک فایل شامل نام، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع مربوط به ایستگاه اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی می‌باشد که در آن فرمت و ترتیب داده‌های ورودی مدل نیز مشخص می‌شود. فایل دیگر شامل داده‌های هواشناسی ورودی به مدل که به ترتیب از سال کم به زیاد مرتب شده و محتوی سال، شماره روز ژولیوسی، حداقل دما، حداکثر دما، بارش و

1- Fourier

ساعت آفتابی روزانه می‌باشد که در این تحقیق به‌علت نبودن ایستگاه سینوپتیک با آمار طولانی مدت در حوضه قره‌سو، فقط داده‌های روزانه مربوط به ایستگاه سینوپتیک گرگان واقع در طول جغرافیایی $16^{\circ} 54'$ و عرض جغرافیایی $51^{\circ} 36'$ ، در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ به عنوان داده‌های هواشناسی ورودی به مدل معرفی شده و مدل در این دوره اجرا گردید. به کمک آنالیزهای مدل بر روی داده‌های ورودی دو فایل حاصل می‌شود. یک فایل شامل خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی از قبیل طول سری‌های خشک و مرطوب به‌صورت فصلی و میانگین و انحراف معیار دوره‌های خشک و مرطوب به‌صورت ماهانه، توزیع‌های تجربی، مقادیر میانگین، انحراف معیار، ماکزیمم و مینیمم و تعداد داده‌های ثبت شده بارش به‌صورت ماهانه، و مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و تعداد داده‌های ثبت شده حداکثر و حداقل دما و تشعشعات آفتابی به‌صورت ماهانه و روزانه، همچنین با استفاده از توزیع‌های تجربی فصلی دوره‌هایی از سرما و گرما مدل‌سازی می‌شود بر این اساس که روز سرد به روزی اطلاق می‌شود که دمای حداقل آن به زیر صفر درجه سانتی‌گراد و روز گرم نیز روزی محسوب می‌شود که دمای حداکثر آن به بالای 30° درجه سانتی‌گراد برسد. فایل دیگر پارامترهای استفاده شده توسط مدل LARS-WG جهت باز تولید داده‌های مشاهداتی است که شامل بازه‌های هیستوگرام ماهانه و فراوانی رخدادهای مربوط به هر کدام از بازه‌ها برای بارش، طول دوره‌هایی از سری‌های خشک و مرطوب و تشعشعات آفتابی، ضرایب فوریه مربوط به میانگین و انحراف معیار، حداکثر و حداقل دما در دوره‌های خشک و مرطوب به‌صورت جداگانه، متوسط خود همبستگی مربوط به حداقل و حداکثر دما و تشعشعات آفتابی (خود همبستگی بر این اساس که مقادیر مربوط به هر روز به شرایط روزهای قبل بستگی دارد) را نشان می‌دهد. در نهایت با توجه به یکسری پارامترهای آماری از قبیل ضریب ناش-ساتکلیف^۱ (NS) (رابطه ۲)، میانگین خطای مطلق^۲ (MAE) (رابطه ۳)،

1- Nash- Sutcliffe

2- Mean Absolute Error

3- Root Mean Square Error

ریشه میانگین مربعات خطا^۹ (RMSE) (رابطه ۴) و ضریب تعیین R^2 که روابط آن‌ها در زیر آمده است و همچنین آزمون T استیودنت بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده کارایی مدل LARS-WG در حوضه آبخیز قره‌سو تعیین می‌گردد.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

X_i : میانگین ماهانه داده‌های مشاهداتی و Y_i : میانگین ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده پس از بررسی کارایی مدل در منطقه مورد مطالعه در مرحله بعد با کمک مدل LARS-WG5 داده‌های روزانه پارامترهای حداقل و حداکثر دما، ساعات آفتابی و بارش برای سه سناریوی A2، A1B و B1 مدل HadCM3 برای دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ شبیه‌سازی شد.

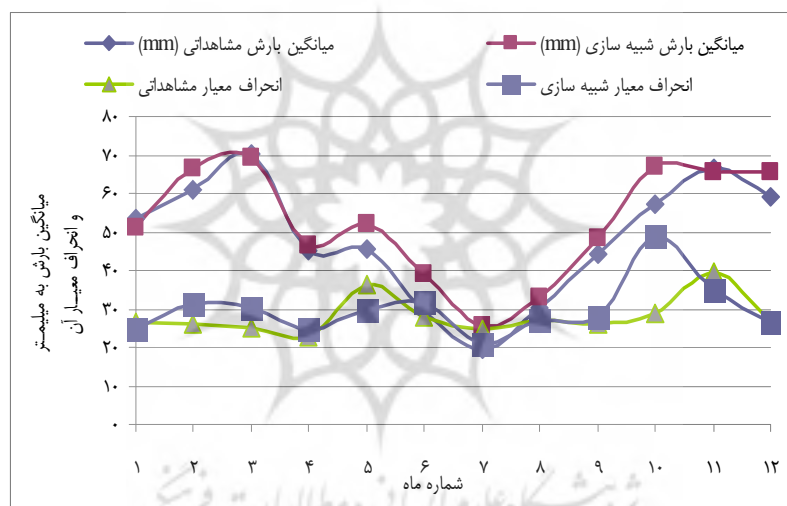
نتایج و بحث

در جدول ۱ نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر مشاهداتی و تولید شده توسط مدل آورده شده است.

جدول (۱) نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر واقعی و تولید شده توسط مدل

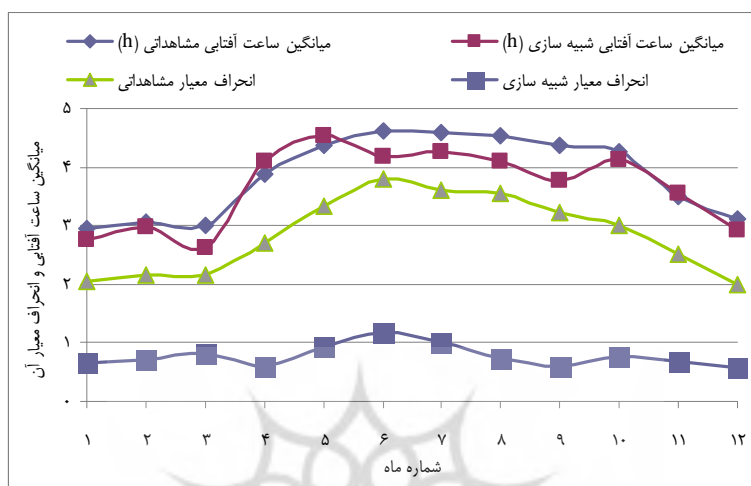
| پارامترهای آماری | بارش (mm) | حداقل دما (°C) | حداکثر دما (°C) | ساعات آفتابی (h) |
|------------------|-----------|----------------|-----------------|------------------|
| MAE | ۴/۲۵ | ۰/۱۲ | ۰/۳ | ۰/۲۶ |
| NA | ۰/۸۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۰/۷۷ |
| RMSE | ۵/۰۵ | ۰/۱۶ | ۰/۳۴ | ۰/۳ |

همان‌گونه که در جدول بالا ملاحظه می‌نمایید بالا بودن مقدار NS و پایین بودن مقادیر مربوط به شاخص‌های خطاسنجی MAE و RMSE متغیرهای هواشناسی بارش، حداقل دما، حداکثر دما و ساعت آفتابی نشان‌دهنده کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی حوزه آبخیز قره‌سو در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ می‌باشد و علاوه بر آن مدل داده‌های مربوط به ساعت آفتابی را با دقت کم‌تری نسبت به سایر داده‌های هواشناسی تولید می‌کند. در اشکال ۲ تا ۵ میانگین و انحراف معیار مربوط به هر کدام از متغیرهای اقلیمی نشان داده شده است.

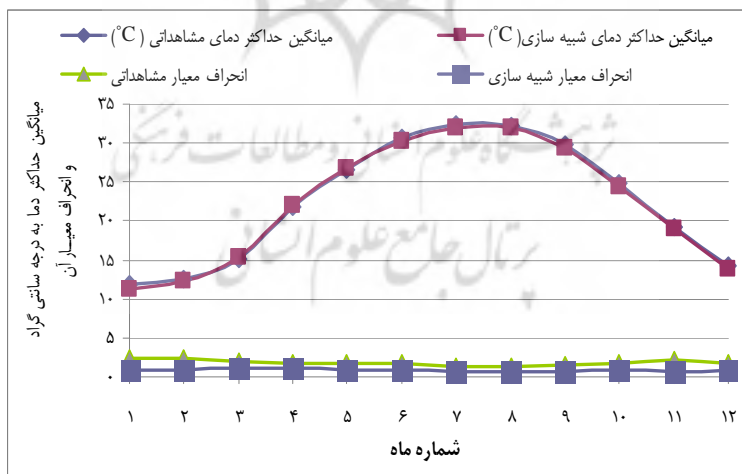


شکل (۲) نمودار میانگین بارش مشاهده‌ای و تولید شده و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹

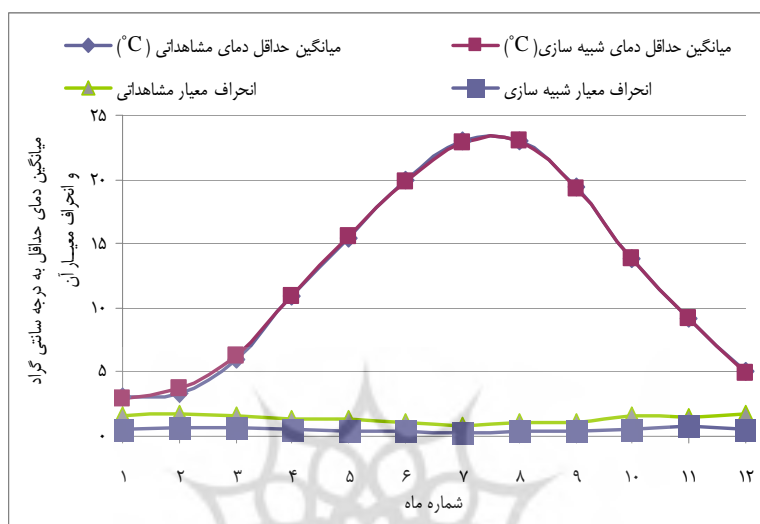
با دقت در شکل ۲ متوجه می‌شویم در ماه‌های ژانویه، مارس و نوامبر بارش مشاهده‌ای بیش‌تر از بارش تولید شده توسط مدل می‌باشد و در سایر ماه‌های سال بارش تولید شده بیش‌تر از میزان بارش مشاهده‌ای است و در مورد مقادیر انحراف معیار بارش نیز انحراف معیار مشاهده‌ای و تولید شده در ماه‌های آگوست و دسامبر با هم برابر بوده و در ماه‌های ژانویه، می، ژولای و نوامبر مقادیر مربوط به انحراف معیار مشاهده‌ای بیش‌تر از مقادیر مربوط به انحراف معیار تولید شده است.



شکل (۳) نمودار میانگین ساعت آفتابی مشاهده‌ای و تولید شده و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ میلادی
ساعت آفتابی تولید شده در تمامی ماه‌های سال به جز در ماه‌های آوریل، می و نوامبر
کمتر از مقدار مشاهده‌ای است و انحراف معیار مشاهده‌ای مربوط به آن نیز در تمامی ماه‌های
سال از انحراف معیار تولید شده بیش‌تر است.



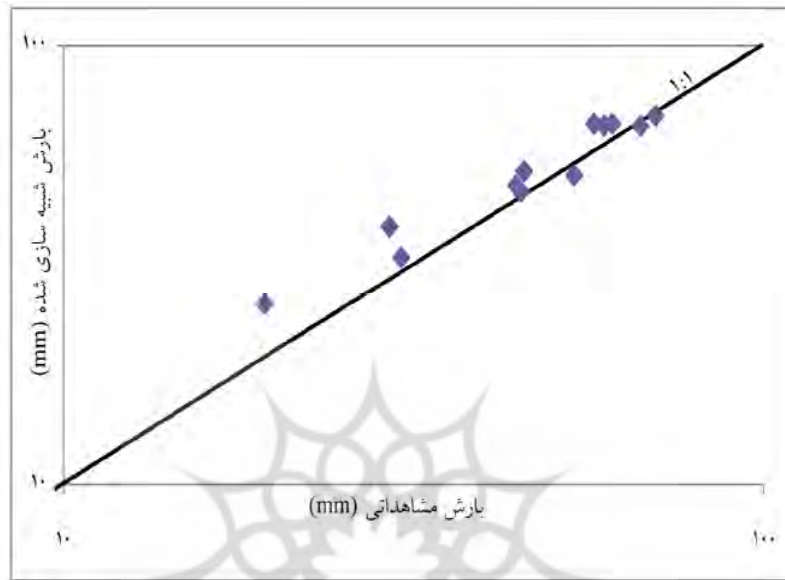
شکل (۴) نمودار میانگین حداکثر دمای مشاهده‌ای و تولید شده و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰ میلادی



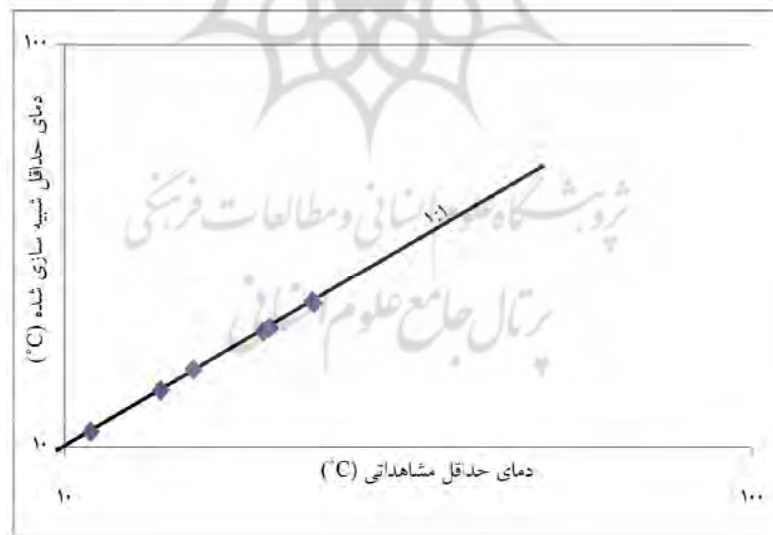
شکل (۵) نمودار میانگین حداقل دمای مشاهده‌ای و تولید شده و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۱۹۹۹-۱۹۷۰

نمودارهای مربوط به دمای حداقل و حداکثر (اشکال ۴ و ۵) نشان می‌دهد که انحراف معیار دمای حداقل و حداکثر مشاهده‌ای در تمامی ماه‌های سال بیش‌تر از انحراف معیار مقادیر تولید شده توسط مدل می‌باشد و اختلاف بین میانگین دمای حداقل و حداکثر مشاهده‌ای و تولید شده بسیار جزئی بوده و در برخی از ماه‌ها هم برابر است به طوری که میزان دمای حداقل مشاهده‌ای و تولید شده در ماه‌های آوریل، اگوست و نوامبر و در مورد میانگین دمای حداکثر نیز مقادیر مشاهده‌ای و تولید شده توسط مدل در ماه فوریه تقریباً برابر می‌باشند.

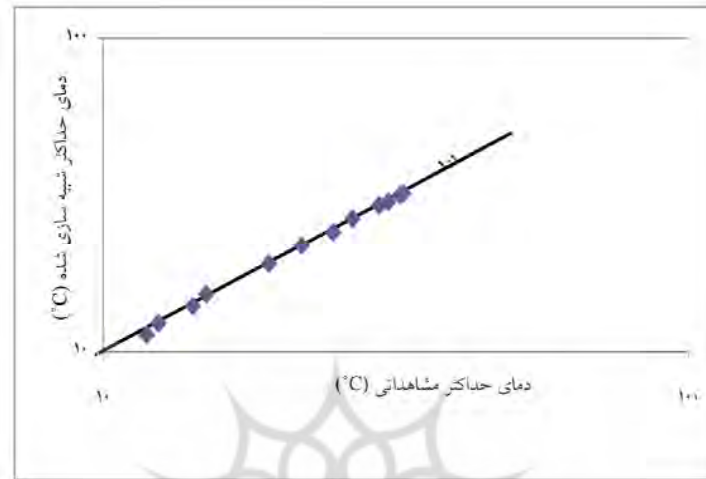
نمودارهای پراکنش مشاهده‌ای و تولید شده بین پارامترهای هواشناسی مورد بررسی در اشکال ۶-۹ نشان داده شده است.



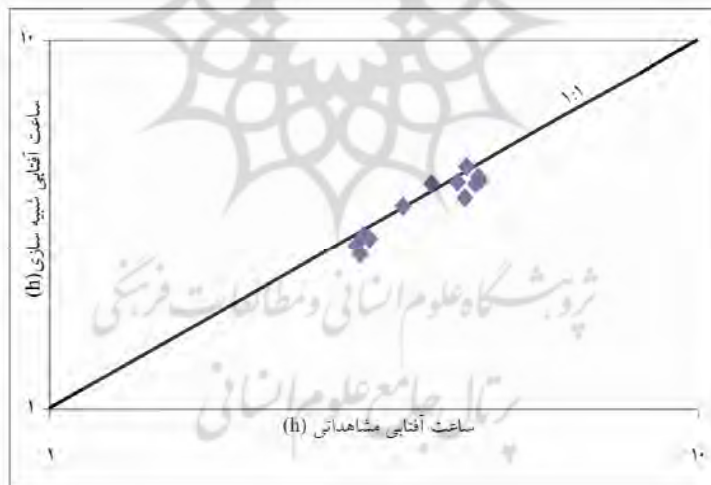
شکل (۶) نمودار پراکنش بارش مشاهده‌ای و تولید شده در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹



شکل (۷) نمودار پراکنش حداقل دمای مشاهده‌ای و تولید شده در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹



شکل (۸) نمودار پراکنش حداکثر دمای مشاهده‌ای و تولید شده در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹



شکل (۹) نمودار پراکنش ساعت آفتابی مشاهده‌ای و تولید شده در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹

نمودارهای پراکنش مشاهده‌ای و تولید شده بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه گرگان در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین مقادیر

مشاهداتی و تولید شده توسط مدل وجود دارد و همچنین مقادیر دمای حداقل و حداکثر بیش‌ترین همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت آفتابی کم‌ترین میزان همبستگی را داراست.

پس از اطمینان از صحت و کارایی مدل LARS-WG5 در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی بارش، دمای حداقل، حداکثر و ساعات آفتابی در حوضه آبخیز قره‌سو، با کمک مدل LARS-WG5 داده‌های روزانه پارامترهای مذکور برای سه سناریوی A2، A1B و B1 مدل HadCM3 برای دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ شبیه‌سازی شد. که به عنوان نمونه فایل‌های خروجی سناریوی A1B در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در جدول ۲ و فایل خروجی سناریوی B1 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول (۲) مقادیر داده‌های روزانه شبیه‌سازی شده سناریو A1B در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰

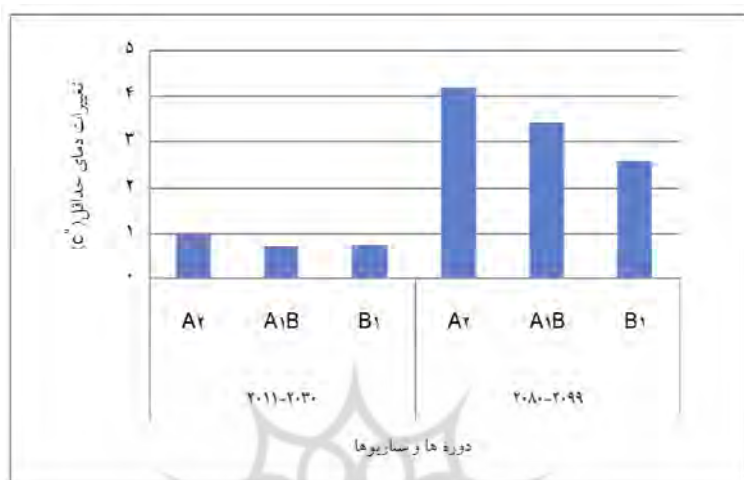
| Gorgan_HADCM3[Gorgan,SRA1B,2011-2030]WG - Notepad | | | | | | | |
|---|------|--------|------|------|------|------|--|
| File | Edit | Format | View | Help | | | |
| 1 | 1 | 3.4 | 10.4 | 18.5 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 2 | -0.8 | 12.0 | 0.0 | 6.97 | 1.16 | |
| 1 | 3 | 2.5 | 9.3 | 0.0 | 6.54 | 1.09 | |
| 1 | 4 | 4.3 | 8.9 | 0.0 | 7.60 | 1.30 | |
| 1 | 5 | 1.4 | 13.5 | 0.0 | 6.35 | 1.10 | |
| 1 | 6 | 4.8 | 10.8 | 0.3 | 1.03 | 0.12 | |
| 1 | 7 | 4.3 | 9.8 | 4.9 | 0.27 | 0.00 | |
| 1 | 8 | 0.1 | 10.4 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 9 | 2.9 | 12.4 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 10 | 5.1 | 5.2 | 9.7 | 2.89 | 0.43 | |
| 1 | 11 | 5.1 | 10.5 | 10.7 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 12 | 3.1 | 10.8 | 5.8 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 13 | 6.4 | 11.2 | 15.2 | 3.97 | 0.69 | |
| 1 | 14 | 4.4 | 8.3 | 0.9 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 15 | 5.7 | 15.0 | 0.0 | 2.13 | 0.35 | |
| 1 | 16 | 4.6 | 24.1 | 0.0 | 9.04 | 1.91 | |
| 1 | 17 | 5.1 | 8.3 | 0.4 | 3.02 | 0.47 | |
| 1 | 18 | 7.4 | 8.3 | 0.7 | 3.29 | 0.54 | |
| 1 | 19 | 1.1 | 12.4 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 20 | 1.1 | 11.8 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 21 | 5.0 | 8.3 | 8.5 | 2.63 | 0.40 | |
| 1 | 22 | 1.7 | 8.2 | 0.1 | 2.46 | 0.35 | |
| 1 | 23 | 1.3 | 13.5 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 24 | 4.2 | 11.5 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 25 | 1.5 | 9.2 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 26 | 1.3 | 11.4 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 27 | 3.9 | 13.2 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 28 | 4.7 | 12.7 | 0.0 | 3.53 | 0.60 | |
| 1 | 29 | 3.2 | 18.6 | 0.0 | 4.63 | 0.86 | |
| 1 | 30 | 1.0 | 13.3 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 31 | 4.8 | 13.7 | 0.0 | 0.69 | 0.05 | |
| 1 | 32 | 6.1 | 11.0 | 16.4 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 33 | 4.6 | 10.5 | 11.9 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 34 | 6.1 | 9.8 | 0.8 | 0.00 | 0.00 | |

جدول (۳) مقادیر داده‌های روزانه شبیه‌سازی شده سناریو B1 در حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹

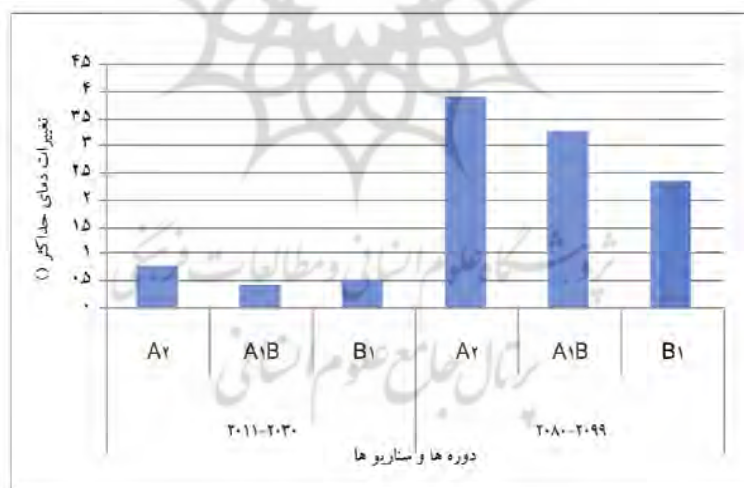
| Gorgan_HADCM3[Gorgan,SRB1,2080-2099]WG - Notepad | | | | | | | |
|--|------|--------|------|------|------|------|--|
| File | Edit | Format | View | Help | | | |
| 1 | 1 | 5.3 | 12.3 | 19.1 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 2 | 1.2 | 13.9 | 0.0 | 6.91 | 1.21 | |
| 1 | 3 | 4.5 | 11.3 | 0.0 | 6.55 | 1.16 | |
| 1 | 4 | 6.2 | 10.8 | 0.0 | 7.65 | 1.39 | |
| 1 | 5 | 3.3 | 15.4 | 0.0 | 6.41 | 1.18 | |
| 1 | 6 | 6.7 | 12.7 | 0.3 | 1.02 | 0.12 | |
| 1 | 7 | 6.3 | 11.7 | 4.7 | 0.27 | 0.00 | |
| 1 | 8 | 2.1 | 12.3 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 9 | 4.8 | 14.4 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 10 | 7.0 | 7.2 | 9.0 | 2.90 | 0.46 | |
| 1 | 11 | 7.1 | 12.5 | 9.9 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 12 | 5.1 | 12.8 | 5.3 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 13 | 8.3 | 13.2 | 13.7 | 4.02 | 0.73 | |
| 1 | 14 | 6.4 | 10.3 | 0.8 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 15 | 7.6 | 16.9 | 0.0 | 2.17 | 0.37 | |
| 1 | 16 | 6.6 | 26.1 | 0.0 | 9.21 | 2.03 | |
| 1 | 17 | 7.0 | 10.3 | 0.3 | 3.08 | 0.51 | |
| 1 | 18 | 9.4 | 10.3 | 0.6 | 3.36 | 0.58 | |
| 1 | 19 | 3.1 | 14.3 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 20 | 3.1 | 13.8 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 21 | 7.0 | 10.3 | 7.4 | 2.68 | 0.44 | |
| 1 | 22 | 3.6 | 10.1 | 0.1 | 2.51 | 0.38 | |
| 1 | 23 | 3.2 | 15.5 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 24 | 6.2 | 13.5 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 25 | 3.5 | 11.2 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 26 | 3.2 | 13.4 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 27 | 5.9 | 15.2 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 28 | 6.7 | 14.7 | 0.0 | 3.61 | 0.65 | |
| 1 | 29 | 5.1 | 20.6 | 0.0 | 4.75 | 0.93 | |
| 1 | 30 | 2.9 | 15.3 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 31 | 6.7 | 15.7 | 0.0 | 0.72 | 0.06 | |
| 1 | 32 | 8.1 | 12.9 | 14.1 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 33 | 6.6 | 12.5 | 10.2 | 0.00 | 0.00 | |
| 1 | 34 | 8.1 | 11.8 | 0.6 | 0.00 | 0.00 | |

ستون‌های مشاهداتی در جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب بیانگر شماره سال، روز، دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش، ساعت آفتابی و پتانسیل تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG5 است. تغییرات متغیرهای هواشناسی

در اشکال ۱۰ و ۱۱ نحوه تغییرات میانگین دمای حداقل و حداکثر در دو دوره‌ی مورد بررسی برای سه سناریو A2، A1B و B1 نشان داده شده است. دمای حداقل و حداکثر در دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در مقایسه با دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و همان‌گونه که از قبل انتظار می‌رفت از بین سه سناریو مورد بررسی بیش‌ترین تغییرات مربوط به سناریو A2 و سپس سناریو A1B و در نهایت سناریو B1 نسبت به دو سناریو دیگر کم‌ترین تغییر در دمای حداقل و حداکثر را خواهد داشت.

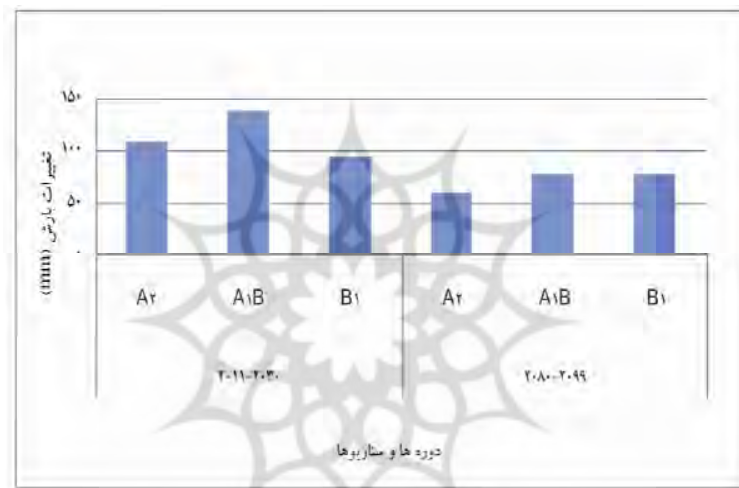


شکل (۱۰) نمودار تغییرات میانگین ماهانه دمای حداقل شبیه‌سازی شده سناریوهای دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹

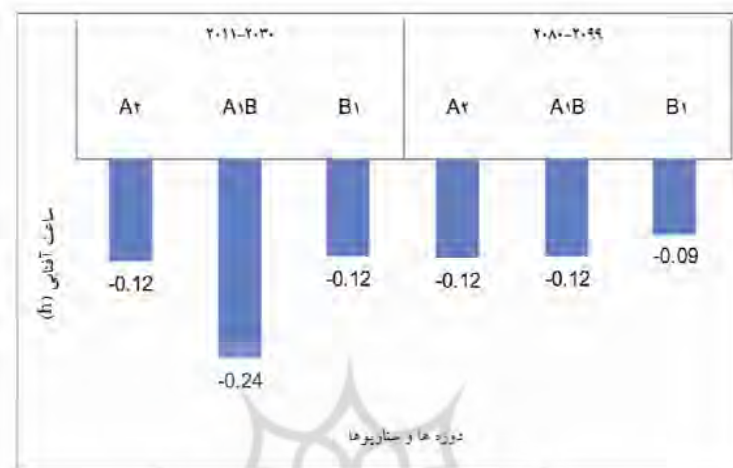


شکل (۱۱) نمودار تغییرات میانگین ماهانه دمای حداکثر شبیه‌سازی شده سناریوهای دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹

در بین سناریوها و دوره‌های آماری، تغییرات بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بیش‌تر بوده و از بین سه سناریو بیش‌ترین تغییرات مربوط به سناریوی A1B بوده و سپس سناریوی A2 و در نهایت سناریوی B1 در مقایسه با دو سناریو دیگر کم‌ترین تغییرات بارش را داراست. در شکل ۱۲ نحوه تغییرات بارش در دو دوره آماری سناریوهای A2، A1B و B1 نشان داده شده است.



شکل (۱۲) نمودار تغییرات ماهانه بارش شبیه‌سازی شده سناریوهای دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ تغییرات ساعت آفتابی بر اساس پیش‌بینی‌های مدل LARS-WG5 در طول دو دوره مورد بررسی برای هر سه سناریوی A2، A1B و B1 به میزان ناچیزی کاهش می‌یابد که این کاهش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بیش‌تر می‌باشد. در شکل ۱۳ نحوه تغییرات ساعت آفتابی در دو دوره آماری سناریوهای A2، A1B و B1 نشان داده شده است.



شکل (۱۳) نمودار تغییرات میانگین ساعت آفتابی شبیه‌سازی شده سناریوهای دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹

در تحقیق حاضر در ابتدا داده‌های روزانه ساعت آفتابی، بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیک گرگان در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل LARS-WG وارد شد و با کمک مدل داده‌های روزانه متغیرهای هواشناسی مذکور در همین دوره تولید گردید. مقایسه میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و تولید شده متغیرهای هواشناسی بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی با استفاده از پارامترهای آماری MAE, RMSE و NA نشان داد که مدل کارایی لازم را جهت تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده در حوضه آبخیز قره‌سو استان گلستان دارا بوده و می‌توان با طراحی سناریو اقدام به پیش‌بینی داده‌های هواشناسی بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی، با استفاده از این مدل نمود. در مرحله بعد با کمک مدل LARS-WG5 داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی مذکور برای سه سناریوی A2، A1B و B1 مدل HadCM3 برای دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ شبیه‌سازی شد. نمودارهای پراکنش حاصل شده بین مقادیر مشاهداتی و تولید شده بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه گرگان در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ نشان داد که همبستگی بالایی بین مقادیر مشاهداتی و تولید شده توسط مدل وجود دارد و همچنین مقادیر دمای حداقل و حداکثر بیش‌ترین

همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت آفتابی کم‌ترین میزان همبستگی را داراست که با نتایج حاصل از مطالعات بابائیان و نجفی‌نیک در استان خراسان، عباسی و همکاران در سال ۱۳۸۹ در زاگرس، اشرف و همکاران در سال ۱۳۹۰ در مشهد و ... مطابقت داشت. همچنین با مقایسه میانگین‌های ماهانه پارامترهای مذکور با استفاده از آزمون t استیودنت این نتیجه حاصل شد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی در دوره پایه وجود نداشته و میانگین پارامترهای اقلیمی داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی شبیه به هم بوده و همبستگی بالایی بین آن‌ها وجود دارد. همچنین مقادیر دمای حداقل و حداکثر بیش‌ترین همبستگی را داشته و مقادیر مربوط به ساعت آفتابی کم‌ترین میزان همبستگی را داراست. که با نتایج حاصل از مطالعه مشکواتی و همکاران (۱۳۸۹) در استان گلستان مطابقت داشت. همچنین نتایج نشان داد که بر اساس برآورد مدل LARS-WG برای سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی میانگین دمای حوضه آبخیز قره‌سو بر اثر پدیده تغییر اقلیم به میزان ۰/۵۶ تا ۴/۰۴ درجه سانتی‌گراد افزایش و مقدار بارش نیز در مقایسه با دوره پایه به میزان ۱۰/۲۸ تا ۲۳/۷۱ درصد افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که در نتایج تحقیق مشاهده شد مدل LARS-WG کارایی لازم را جهت تولید داده‌های پارامترهای اقلیمی در حوضه قره‌سو استان گلستان دارا بوده و می‌توان با طراحی سناریو در این مدل میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی را پیش‌بینی نمود. با توجه به پیش‌بینی نسبتاً دقیق این مدل و همچنین کم‌هزینه بودن استفاده از آن می‌توان بعد از اطمینان از کارایی آن در مناطق مختلف، جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم و پیش‌بینی‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس برآورد مدل LARS-WG برای سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی این تحقیق میانگین دمای حوضه آبخیز قره‌سو بر اثر پدیده تغییر اقلیم به میزان ۰/۵۶ تا ۴/۰۴ درجه سانتی‌گراد افزایش و مقدار بارش نیز در مقایسه با دوره پایه به میزان ۱۰/۲۸ تا ۲۳/۷۱ درصد افزایش می‌یابد که باید جهت دقت بیشتر برنامه‌ریزی ریزی‌های منطقه میزان این تغییرات را لحاظ نمود.

منابع

- اشرف، بتول؛ موسوی بایگی، محمد؛ کمالی، غلامعلی و داوری، کامران. (۱۳۸۹). «بررسی روند تغییر پارامترهای اقلیمی مشهد در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG»، نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- بابائیان، ایمان و نجفی‌نیک، زهرا (۱۳۸۵)، معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۶۱)، فصلنامه نیوار، ۶۲ و ۶۳، ۴۹-۶۵.
- بابائیان، ایمان؛ نجفی‌نیک، زهرا؛ زابل عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد و ملبوسی، شراره (۱۳۸۸)، «ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G»، مجله جغرافیا و توسعه، ۱۶، ۱۵۲-۱۳۵.
- تلان، ابراهیم و ضرغامی، مهدی (۱۳۸۷)، «بررسی تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی در دوره سال‌های ۲۰۴۹-۲۰۲۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل ECHO-G»، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز.
- سایت پژوهشکده اقلیم‌شناسی، «مدل آماری LARS-WG»، بیست خرداد ۱۳۹۱، <http://www.cri.ac.ir/show=06>.
- عباسی، فاطمه؛ ملبوسی، شراره؛ حبیبی نوخندان، مجید و ائمری، مرتضی (۱۳۸۹)، «ارزیابی تغییر اقلیم زاگرس در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G»، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱، ۲۰-۳.
- عساکره، حسین (۱۳۸۶)، «تغییر اقلیم، زنجان»، دانشگاه زنجان.
- مشکواتی، امیرحسین؛ کردجزی، محمد و بابائیان، ایمان (۱۳۸۹)، «بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی»، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹، ۸۱-۹۶.

- Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Seyed Ghasemi, S. and Yang, H. (2009), "Assessing the impact of climate change on water resources in Iran", *Water Resources Research*, 45: 10434, 1-16.
- Downing, T.E., Harrison, P.A., Butterfield, R.E. & Lonsdale, K.G. (2000), "Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment. Environmental Change Institute", University of Oxford.
- Elshamy, M.E., Weather, H.S., Gedney, N. & Huntingford, C. (2005), "Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies", *Journal of Hydrology*, 326, 1-24.
- Harrison, P.A., Butterfield, R.E. & Downing, T.E. (1995), "Climate Change and Agriculture in Europe: Assessment of Impacts and Adaptations", Environmental Change Unit Research Report No. 9, *Environmental Change Unit*, University of Oxford.
- Semenov, M.A. & Barrow, E.M. (2002), "LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies", User Manual, Version, 3.0: 28.
- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. & Richardson, C. W. (1998), "Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates", *Climate Research*.
- Racsko, P., Szeidl, L. & Semenov M. (1991), "A serial approach to local stochastic weather models", *Ecological Modelling*, 57: 27-41.
- Rietveld, M.R. (1978), "A new method for the estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine", *Agricultural Meteorology* 19, 243-252.
- Richardson, C.W. & Wright, D.A. (1984), "WGEN: A model for generating daily weather variables. US Department of Agriculture", *Agricultural Research Service*, ARS-8, 83pp.
- Babaeian, I., Kwon, W.T. & Im, E.S. (2004). "Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute", *Climate Research Lab*, pp. 98.