

پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی دهه‌های آینده در پهنه جنوب شرق ایران

مهسا فرزانه^۱، آزاده اربابی سبزواری^{۲*}، سیدجمال‌الدین دریاباری^۳، فریده اسدیان^۴

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، تهران، ایران.

۳- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۴- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

چکیده

در چند دهه اخیر افزایش دمای زمین باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب گردیده است که از آن به عنوان تغییر اقلیم یاد می‌شود. در این پژوهش، به بررسی متغیرهای اقلیمی در شش ایستگاه‌های سینوپتیک پهنه جنوب شرق ایران (زابل، زاهدان، خاش، ایرانشهر، سراوان و چابهار) از سال ۱۹۸۷ لغایت ۲۰۱۹ پرداخته شد و در دو دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰)، با استفاده از مدل گردش کلی (HadCM2) بررسی و تحلیل گردید. پس از بررسی و ارزیابی مدل مقادیر متغیرهای اقلیمی در دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 در دوره‌های مورد مطالعه ریزمقیاس گردید. نتایج ارزیابی دقت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی براساس شاخص‌های MAE، RMSE، R^2 ، NSE در پهنه جنوب شرق ایران در مرحله صحت‌سنجی نشان داد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و دوره پایه وجود داشته است. براساس نتایج خروجی مدل LARS-WG افزایش دما در کلیه ایستگاه‌ها در دو دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. میزان افزایش دما در مناطق ساحلی کمتر از سایر مناطق خشکی می‌باشد. در تمامی ایستگاه‌ها تغییرات دما به طور یکنواخت و تغییرات بارش، نوسان دارند. مقدار بارش طی فصول زمستان و بهار در تمامی ایستگاه‌ها روند افزایشی دارد؛ شرایط اقلیمی آینده از قبیل تعداد روزهای یخبندان، تعداد روزهای داغ، خشک و روزهای تر محاسبه گردید و نتایج نشان داد که در دوره آینده تعداد روزهای داغ و تعداد روزهای خشک نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و تعداد روزهای یخبندان کاهش می‌یابد. در صورت عدم پایداری به کاهش گازهای گلخانه‌ای افزایش متغیرهای اقلیمی دمای حداقل و دمای حداکثر و کاهش بارش در دهه ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بیشتر خواهد شد. پیش‌بینی ماهانه برای دوره‌های آینده نیز در سناریوهای مذکور، بیانگر این است که گرم‌ترین ماه در استان به طور میانگین در ماه تابستان (ژوئیه)، سردترین ماه در زمستان (دسامبر و ژانویه)، بیشترین بارش‌ها در زمستان و بهار (دسامبر، ژانویه و مارس) و تبخیر و تعرق در تابستان به بیشترین حد خود می‌رسد. در نهایت اینکه نتایج بیانگر روند افزایش دما و کاهش بارش در دهه‌های آینده نواحی جنوب شرق ایران خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، پیش‌نگری، متغیرهای اقلیمی، پهنه جنوب شرق ایران، مدل LARS-WG.

مقدمه

توسط مدل‌های گردش عمومی کلی تولید می‌شوند مربوط به کل کره زمین است که دقت مکانی آنها صد کیلومتر است. به همین دلیل روش‌های ریزمقیاس‌گردانی نیاز است تا بدان وسیله بتوان پلی بر روی این فاصله بزرگ مقیاس سناریوهای اقلیمی و کوچک مقیاس تأثیرات محلی زده است. (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۳).

مدل‌های گردش کلی هیچ‌گاه نمی‌توانند مستقیم برای پیش‌بینی منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند، آنها به ریزمقیاس‌نمایی نیاز دارند تا با اعمال رفتارهای محلی بهبود یابند (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸). مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی یک مدل آماری هستند که قادرند سری‌های زمانی روزانه مجموعه‌ای از متغیرهای هواشناسی را مانند بارش، درجه حرارت و تابش خورشیدی را به صورت مصنوعی تولید کنند؛ که با توجه به علم آمار با داده‌های هواشناسی مشاهده شده مطابقت دارد (ویلیبی، ۲۰۰۴).

به دنبال طرح جدی مسئله تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های بشر در چند دهه اخیر، ضرورت انجام مطالعاتی در این زمینه بیش از پیش احساس می‌شود. در این پژوهش، چشم‌اندازی به متغیرهای اقلیمی در دهه‌های آینده در پهنه جنوب شرق ایران داریم. هدف از این مطالعه به بررسی ارزیابی مدل و باز تولید متغیرهای اقلیمی و پیش‌نگری شرایط اقلیمی آینده می‌باشد و این سوال مطرح است که رفتار متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آینده طی سناریوهای موجود چگونه می‌باشد؟ تاکنون پژوهش‌هایی در ارتباط با ارزیابی توانایی مدل LARS-WG و پیش‌نگری وضعیت آینده انجام شده است. لویز (۲۰۰۹) به مقایسه دو روش ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و LARS-WG در یک منطقه پرتغال پرداخت. آنالیزهای عدم اطمینان میانگین و واریانس دو مدل در تمام ماه‌های سال به داده‌های مشاهداتی خیلی نزدیک بود و شبیه سازی‌های هر دو مدل از داده‌های دماهای حداقل و حداکثر به داده‌های مشاهداتی بسیار نزدیک بود. اما عدم اطمینان واریانس‌ها نشان داد که عملکرد شبیه‌سازی LARS-WG برای بارش کمی بهتر است. بهنام آبابایی و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای، عملکرد مدل LARS-WG در چهار ایستگاه ساحلی شمالی و هشت ایستگاه ساحلی جنوبی ایران مورد بررسی قرار داد. نتایج این مطالعه نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی توزیع روزانه و میانگین ماهانه و فصلی اکثر

امروزه، یکی از مباحث جهانی مهم و کلیدی، تغییر اقلیم ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و پدیده گرمایش است (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۹). به طور کلی IPCC در مسئله تغییر در اقلیم در طول زمان تأکید دارد که این تغییرات می‌تواند هم دارای منشأ طبیعی و هم انسانی باشد (هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). مدل‌های تولید کننده متغیرهای آب و هوا در سال‌های اخیر کاربردهای فراوانی پیدا کرده است؛ از جمله تولید داده‌های آب و هوایی، با به کارگیری سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به مدل گردش کلی می‌باشد. با استفاده از تولید کننده‌های وضع آب و هوا می‌توان خروجی مدل گردش کلی را ریزمقیاس نمود (مشکواتی و همکاران، ۱۳۸۹). شرایط اقلیم جهان در حال تغییر است (اسدی و همکاران، ۱۳۹۶). تغییر اقلیم، پدیده‌ای است که در عصر حاضر بیشترین نگرانی‌ها را در میان جوامع و مراجع تصمیم‌گیری در سراسر دنیا به وجود آورده است (زرعکانی و همکاران، ۱۳۹۳). از دیدگاه بسیاری از صاحب‌نظران یک پدیده طبیعی است که در توالی‌های زمانی بلند مدت به وقوع می‌پیوندد. تأثیر فعالیت‌های بشری سبب تشدید اثرات پدیده تغییر اقلیم، شدت روند تغییرات و تغییر بازه زمانی توالی تغییرات اقلیمی می‌شود (حقیقی زاده و همکاران، ۱۳۹۵). دروازه ورود به مبحث تغییر اقلیم بحث گرمایش جهانی و اثر گلخانه‌جو بر افزایش دمای هوا می‌باشد (زهرایی و اسعد حسینی، ۱۳۹۹). چالش اساسی جامعه جهانی در قرن بیست و یکم عبارتند: از تغییر اقلیم، کمبود آب و بیابانزایی.

یکی از اساسی‌ترین عوامل در ساختار سیاره زمین، اقلیم است و بدون شک طبیعت، انسان و کلیه مظاهر حیات در سطح گسترده‌ای متأثر از شرایط اقلیمی می‌باشد. دانشمندان اقلیم‌شناسی به این نتیجه رسیده‌اند که اقلیم در تمام ابعاد زمانی قابل تغییر است، تغییرات اقلیمی حاصل کنش متقابل عوامل پیچیده و کمتر شناخته شده است (مسیبی و موحدی، ۱۳۷۴). تأثیرات تغییر اقلیم بسیار به شرایط جغرافیایی محلی و تغییرپذیری اقلیمی محل است. بنابراین مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم بایستی در مقیاس محلی صورت پذیرد تا امکان ارزیابی نتایج احتمالی آن فراهم گردد. سناریوهای اقلیمی که

است. به طور کلی بررسی مطالعات و گزارش‌های علمی نشان می‌دهد که اقلیم و الگوی بارشی در حال تغییر است و این موضوع نیازمند بررسی و توجه بیشتر به اهمیت اقتصادی و کشاورزی منطقه مورد مطالعه دارد و به دلیل این که در معرض پیامدهای تغییر اقلیم همچون امواج گرمایی، خشکسالی و فراوانی وقوع گرد و غبار است، سعی شده در این پژوهش به پیش‌نگری از وضعیت آینده پهنه جنوب شرق ایران ارائه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

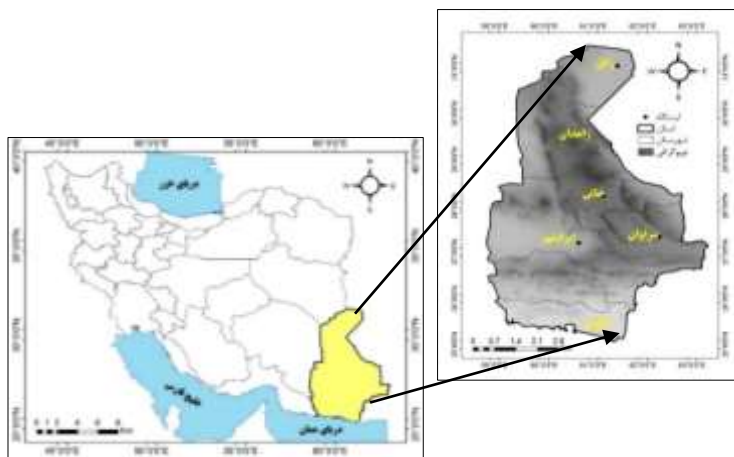
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر پهنه جنوب شرق ایران، استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. استان سیستان و بلوچستان با وسعتی حدود ۱۸۷۵۰۲ کیلومتر مربع حدود ۴،۱۱ درصد از کل مساحت کشور را تشکیل داده و از پهناورترین استان‌های کشور است. استان سیستان و بلوچستان از لحاظ طبقه‌بندی اقلیمی در ناحیه اقلیمی بیابانی و خشک می‌باشد. این استان از نظر عرض جغرافیایی بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و به لحاظ طول جغرافیایی بین ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ قرار گرفته است. (ابراهیم‌زاده، ۱۳۸۹). در این مطالعه داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی برای دوره ۲۰۱۹-۱۹۸۷ استفاده شده است. داده‌های مذکور از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است. در جدول (۱) زیر مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه ذکر شده است.

سری‌ها عملکرد مناسبی دارد، مدل در ایستگاه‌های شمالی عملکرد بهتری داشت. ردی و همکاران (۲۰۱۴) برای بررسی تغییر اقلیم در منطقه تلانگای جنوبی از مدل LARS-WG استفاده کردند. نتایج نشان داد که ماکزیمم بارش سالانه از ۵/۱۶٪ در سال ۲۰۳۰ و ۹/۵٪ در سال ۲۰۶۰ نسبت به بارش نرمال سالیانه در زمان ۱۹۸۰-۲۰۱۰ افزایش می‌یابد. فر و همکارانش (۲۰۱۳) تغییرات فصلی متغیرهای آب و هوایی در مراکز استان کرمان را با استفاده از مدل LARS-WG مطالعه و بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعات آنها نشان می‌دهد تحت هر سناریو میزان بارندگی کاهش یافته و دمای کمینه و بیشینه افزایش خواهد یافت. سرکار و چیکولیا (۲۰۱۵) در پژوهشی مدل LARS-WG را در یک اقلیم خشک در هندوستان استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان داد که مدل، میانگین و انحراف استاندارد بارندگی ماهانه را براساس آزمون‌های آماری برای دوره مشاهداتی به طور مناسب پیش‌بینی کرد. به طور کلی در زمینه بررسی ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌ها می‌توان به مطالعات پژوهشگرانی چون دهقان و همکاران (۱۳۹۴)، باعقیده و همکاران (۱۳۹۵)؛ حمیدیان پور و حجازی زاده (۱۳۹۷)؛ گودرزی و نوری (۱۳۹۷) و یوسفی و همکاران (۱۳۹۸) اشاره نمود. پیش‌بینی‌های اقلیمی در قالب شبیه‌سازی در سطح جهانی، منطقه‌ای و محلی به همراه مشخص کردن تغییرات پارامترهای اقلیمی در قالب روندها و مدل‌ها در علم اقلیم‌شناسی از دیرباز مطرح بوده است اما آشکار سازی و ارائه چشم انداز در ادبیات و متون اقلیم‌شناسی کمتر به چشم می‌خورد؛ این درحالیست که برنامه ریزی محیطی و تحلیل‌های پیش‌نگری، تلاشی نظام مند برای نگاه به آینده بلند مدت در حوزه علم اقلیم‌شناسی است؛ امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های حال و آینده، مسئله افزایش دما و در موارد بحرانی فقدان آسایش اقلیمی

جدول ۱- ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	سال تاسیس (شمسی)
۱	زاهدان	سینوپتیک اصلی	۲۹ ۲۸	۶۰ ۵۳	۱۳۷۰	۱۳۲۷
۲	زابل	سینوپتیک اصلی	۳۱ ۰۲	۶۱ ۲۹	۴۸۹	۱۳۴۲
۳	خاش	سینوپتیک اصلی	۲۸ ۱۳	۶۱ ۱۲	۱۳۹۴	۱۳۶۴
۴	سراوان	سینوپتیک اصلی	۲۷ ۲۰	۶۲ ۲۰	۱۱۹۵	۱۳۶۴
۵	ایرانشهر	سینوپتیک اصلی	۲۷ ۱۲	۶۰ ۴۲	۵۹۱	۱۳۴۳
۶	چابهار	سینوپتیک اصلی	۲۵ ۱۷	۶۰ ۳۷	۸	۱۳۴۴



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان مأخذ (نگارنده، ۱۳۹۹)

روش انجام پژوهش

LARS-WG مولد داده‌های هواشناسی است (راسکو و همکاران، ۱۹۹۱). نسخه اولیه این مدل در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از زنجیره مارکوف است که به کرات از آن استفاده شده است (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰). مدل LARS-WG توسط یکی از دانشمندان مرکز مطالعات کشاورزی روتامشتد 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 کلی در آینده می‌توان، داده‌های روزانه دوره‌های آتی را مدل‌سازی کرد (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲).

نسخه قدیمی این مدل LARS WG 3 و نسخه جدید آن که در این مقاله هم مورد استفاده قرار گرفته است LARS WG می‌باشد که داده‌های مدل‌های گردش کلی و سناریوهای بیشتری 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 طولانی‌مدت 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 نیمه تجربی جداگانه و مدل‌سازی

تشعشعات خورشیدی به طور مستقل از دما صورت می‌پذیرد (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲). 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 (ریتولد، ۱۹۷۸). مدل LARS-WG برای اینکه بتواند اقلیم درست‌تر و دقیق‌تری را پیش‌بینی کند بهتر است که از ۲۰-۳۰ سال داده روزانه استفاده نمود (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲). مدل مذکور برای شبیه‌سازی طول دوره خشک و تر، بارش و تابش خورشیدی در مقیاس روزانه از توزیع نیمه تجربی به شکل کلی رابطه (۲) زیر استفاده می‌کند:

$$EMP = (a_0, a_i, h_i, i=1, \dots, 10) \quad (2)$$

که در رابطه مذکور هیستوگرامی ۱۰ طبقه است که هر یک از طبقات آن در فاصله ای تعریف می‌شود (داوری و همکاران، ۱۳۹۵).

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 ژولوسوس،

حداقل دما، حداکثر دما، بارش و ساعت آفتابی روزانه می‌باشد.

از آنجا که توانمندی مدل مولد هواشناسی تاثیر مستقیمی بر برآورد و ارزیابی صحیح تغییر اقلیم منطقه در دوره آینده دارد، بنابراین ابتدا توانمندی مدل مورد بررسی قرار گرفت. از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری مشاهده شده و داده‌های تولید شده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای، ارزیابی مدل مورد بررسی قرار گرفت. خروجی مدل‌ها با تکنیک‌های مختلف کوچک مقیاس شوند، به همین منظور، دانشمندان روش‌های متعددی ابداع کرده‌اند که به مجموع این روش‌ها ریز مقیاس نمایی می‌گویند (فانگ و همکاران، ۲۰۱۱). LARS-WG یک روش ریزمقیاس کردن آماری است که می‌تواند جهت شبیه سازی حداقل و حداکثر دما، بارش و تشعشعات خورشیدی در یک مکان تحت شرایط اقلیم حال و آینده استفاده شود (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۳). مولدهای مصنوعی داده‌های آب و هوایی ابزاری برای پیش بینی نیستند که بتوان در پیش بینی های آب و هوایی استفاده کرد. اما توانایی تولید سری های زمانی داده‌های آب و هوایی یکسان با دوره دیده بانی را دارند. در این روش با شبیه سازی و تولید داده‌های آب و هوایی مصنوعی در مقیاس محلی می‌توان مطالعات تغییر اقلیم را در یک ایستگاه انجام داد (www.climatology.ir). تاکنون مدل‌های مختلفی در مراکز گوناگون تحقیقاتی طراحی شده‌اند که دارای مولفه‌هایی هستند مانند مدل‌های ECHO-G، CGCM2، CSIRO، ECHAM4، HadCM2. در نهایت داده‌های ماهانه متغیرهای اقلیمی مدل گردش کلی HadCM2 دریافت شد و این مقادیر با میانگین ماهانه دوره آماری متغیرهای اقلیمی مورد مقایسه قرار گرفت. از مزیت‌های HadCM2 دارای وضوح مکانی $2/5^{\circ} \times 3/75^{\circ}$ نشان دهنده پیشرفت نسبت به نسل‌های قبلی GCM، دارای توانمندی بالاتر و در مقالات متعددی چون عباسی و همکاران در سال ۱۳۸۹ استفاده شده است.

از آنجا که مهمترین ورودی این مدل‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره های آتی می‌باشد، از این رو سناریو های مختلف انتشار که در برگزیده چگونگی تغییرات این گازها در آینده می‌باشد انتخاب می‌شود (زمف و استارتویچ، ۲۰۱۰). برای انتخاب سناریو از خانواده RCP که براساس

میزان واداشت تابشی نام گذاری شده‌اند که شامل چهارسناریوی مختلف می‌شود عبارتند از: RCP8.5، RCP6، RCP4.5 و RCP2.6 برای انجام کار از دو سناریو خوش بینانه (دربرگیرنده کمترین میزان افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی) (زو و همکاران، ۲۰۱۲) و بدبینانه (روند به واداشت تابشی به میزان ۸.۵ وات بر مترمربع در سال و عدم پایداری به کاهش گازهای گلخانه‌ای) (فلاح قاله‌ری و همکاران، ۱۳۹۸) انتخاب شد و مورد بررسی قرار گرفت. هر سناریو براساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط مشی‌ها در آینده است که در هر شرایط می‌تواند به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی منجر شود (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸). به منظور صحت سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، مدل را برای دوره آماری پایه اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه ایجاد شوند.

در آزمون من-کنندال برای حذف خود همبستگی استفاده شد و دو فرض H_0 : هیچ روندی در سری داده‌ها دیده نمی‌شود و فرض H_1 : در سری داده‌ها روند دیده می‌شود، مورد آزمون قرار گرفتند. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آزمون من-کنندال در بررسی روند سری های اقلیمی به کرات و در موارد مختلف استفاده شده است (باهک، ۱۳۹۳، فیضی و همکاران، ۱۳۸۹) در این مطالعه نیز، آزمون من-کنندال برای کشف روند موجود و معنی داری آن در سری های زمانی مختلف متغیرهای اقلیمی استفاده شده است.

در زمان استفاده از داده‌های روزانه دما و بارش یک ایستگاه یا یک حوضه باید مطمئن بود که علاوه بر اینکه داده های ایستگاه از کیفیت بالایی برخوردارند، به طور غیر طبیعی ناهمگن نباشند (ونگ، ۲۰۱۰). ونگ در راستای تکمیل روش خود اقدام به ارایه یک رهیافت تجربی عملی نمود که در این روش خود همبستگی پس فاز با کاربرد آزمون‌هایی در تشخیص تغییرات میانگین در سری‌های زمانی لحاظ می‌شود. چنین آزمون‌هایی قادر به تشخیص نقاط تغییر چندگانه در سری داده‌ها نیز می‌باشند. بررسی همگنی داده‌های یک

دما در پهنه جنوب شرق ایران با توجه به این که مقدار P-VALUE کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ می‌باشد، فرض H_0 رد شده و فرض H_1 پذیرفته می‌شود، روند مثبت و افزایشی است و روند در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. پس دمای حداقل، دمای حداکثر و متوسط دما دارای روند می‌باشد ولی بارش دارای روند نیست. نتایج حاصل از ارزیابی مدل مبتنی بر شاخص آماره‌های خطا جدول (۳) نشان می‌دهد که بالا بودن مقدار NSE و R^2 و پایین بودن مقادیر مربوط به شاخص‌های RMSE و MSE متغیرهای حداقل دما، حداکثر دما بارش و ساعت آفتابی نشان‌دهنده کارایی بالای خوب در شبیه‌سازی است. در نهایت بیانگر این است که مدل در برآورد میزان متغیرهای اقلیمی دارای دقت نسبتاً خوبی می‌باشند. در شکل (۲) مقادیر متغیرهای اقلیمی (دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده طی دوره صحت سنجی ۱۹۸۷-۲۰۱۹ به ترتیب حاصل پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس مشاهداتی و مدل گردش کلی نشان داده شده است. نتایج نشان داد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود داشته که مقادیر در پهنه جنوب شرق ایران نشان‌دهنده همین انطباق بوده است. مدل در برآورد بلند مدت متغیرهای اقلیمی دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی رفتار یکسان و بارش دارای نوسان کم بارش را کمی بیشتر از حد انتظار برآورد کرده است. در مجموع خروجی نشان می‌دهد که مدل LARS-WG توانمندی مدل‌سازی اقلیم دوره‌ی گذشته‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه را داراست. بر این اساس، مشخص شد که عنصرهای پیش‌بینی‌کننده منتخب از کارایی مناسب و قابل قبولی جهت شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی مورد نظر برای دوره‌های آتی برخوردارند. لذا از مدل برای بازتولید داده‌های اقلیمی طی دوره آتی می‌توان استفاده نمود.

برای مقایسه میانگین‌های ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی، نمودار پراکنش مربوط به میانگین هر کدام از متغیرها در کل دوره تحت بررسی در پهنه جنوب شرق ایران ترسیم و ضریب همبستگی هر کدام محاسبه شد. نمودار پراکنش دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی مربوط به پهنه جنوب شرق ایران در شکل (۳) آورده شده است.

ایستگاه را می‌توان با استفاده از یک سری داده که همگن می‌باشد انجام داد یا می‌توان بدون داشتن یک سری مرجع اقدام به بررسی همگنی داده‌ها نمود. با فرض همگن بودن داده‌ها مدل اجرا شده است. به منظور دقت بهتر مدل در شبیه‌سازی رفتار اقلیمی منطقه مورد مطالعه، دوره آماری طولانی برای داده‌ها انتخاب شده است.

آزمون χ^2 با کای مربع برای مقایسه توزیع احتمالی تعداد روزهای یخبندان، روزهای با دمای حداقل زیر صفر درجه سانتی‌گراد و تعداد روزهای داغ روزهای با دمای حداکثر بیش از 30° درجه سانتی‌گراد استفاده شد. روز خشک به روزی گفته می‌شود که مقدار بارش آن کمتر از 0.1 میلی‌متر و در روز تر بیشتر از 0.1 میلی‌متر است. (عساکره و همکاران، ۱۳۸۹)

عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از شاخص‌های خطا سنجی و اطمینان از مناسب بودن مدل، داده‌های دوره آینده با استفاده از داده‌های مدل گردش کلی تحت دو سناریوی RCP2.6 (خوشبینانه) و RCP8.5 (بدبینانه) تولید شد. در این پژوهش از آزمون‌های آماری، جهت بررسی ارزیابی دقت عملکرد مدل LARS-WG از معیارهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، ضریب ناش-ساتکلیف (NSE) و R^2 استفاده شده است که روابط مربوط آن‌ها در ادامه آورده شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{n=1}^M e(n)^2} \quad ۳$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (S_I - O_I)^2 \quad ۴$$

$$R^2 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{I=1}^N (S_I - S)(O_I - O)}{\sigma_S \times \sigma_O} \quad ۵$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{I=1}^N (S_I - O_I)^2}{\sum_{I=1}^N (O_I - O_I)^2} \quad ۶$$

یافته‌های تحقیق

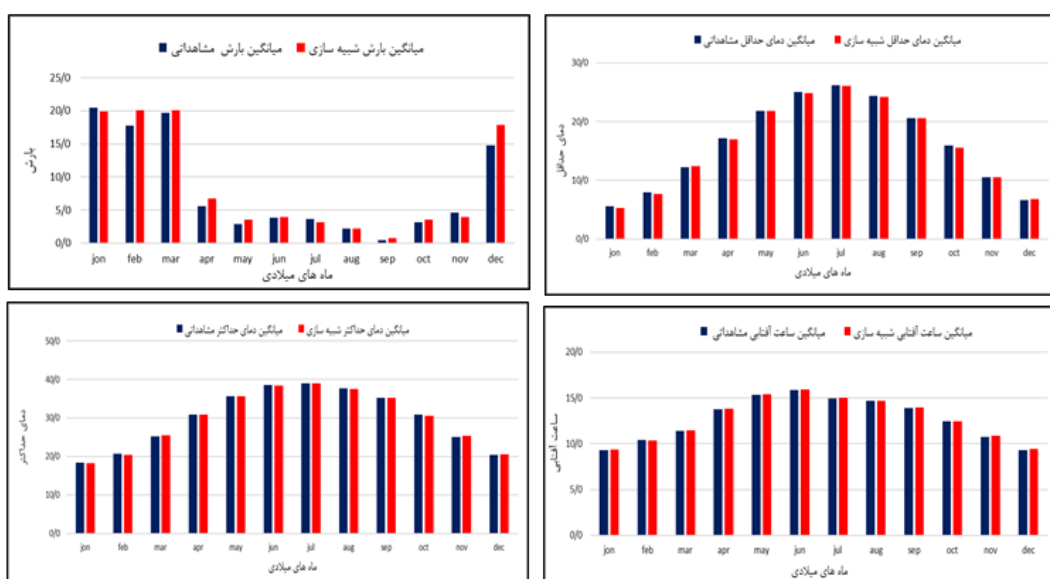
جدول (۲) نتایج حاصل از آزمون من-کندال در پهنه جنوب شرق ایران را در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۹ میلادی برای داده‌های مشاهداتی متغیرهای اقلیمی نشان می‌دهد. در مورد

جدول ۲- نتایج آزمون من-کندال داده‌های مشاهداتی پهنه جنوب شرق ایران (۱۹۸۷-۲۰۱۹)

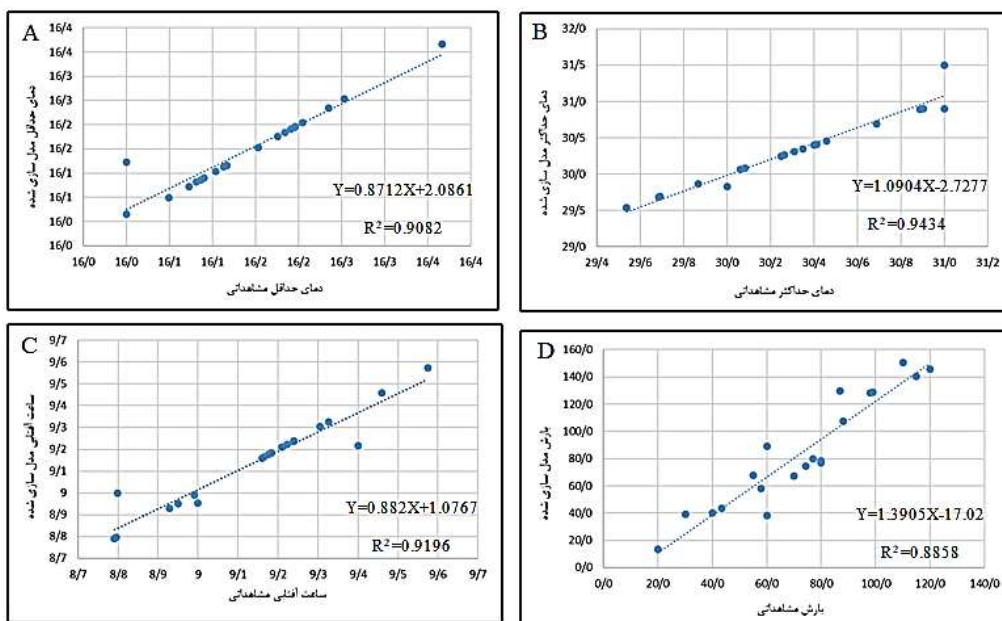
متغیر	حداکثر دما	حداقل دما	متوسط دما	بارندگی
KENDALL TAU	0/41	0/62	0/36	-0/09
P-VALUE	0/0008	0/0135	0/003	0/44
ALPHA	0/05	0/05	0/05	0/05

جدول ۳- ارزیابی داده‌های مدل مورد استفاده در این تحقیق با داده‌های پهنه جنوب شرق ایران (۱۹۸۷-۲۰۱۹)

متغیر	حداکثر دما	حداقل دما	ساعت آفتابی	بارندگی
R ²	0/94	0/9	/91	0/88
NSE	0/9	0/91	0.82	0/85
MSE	0/427	0/28	0/295	8/68
RMSE	653/0	0/529	0/543	5/49



شکل ۲- مقایسه متغیرهای اقلیمی مشاهده شده با داده‌های شبیه‌سازی شده در پهنه جنوب شرق ایران



شکل ۳- پراکنش داده‌های مشاهداتی و مدلسازی شده (A: دمای حداقل؛ B: دمای حداکثر؛ C: ساعت آفتابی؛ D: بارش)

می‌باید. در خاش افزایش بارش، زاهدان در دو دهه کاهش بارش، در سراوان کاهش بارش در دوره‌های آبی و در RCP8.5 در دهه ۲۰۲۱-۲۰۴۰ افزایش بارش، افزایش بارش در ایستگاه چابهار و کاهش در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ می‌باشد. همچنین، هرچه از ابتدای دوره به انتهای دوره یعنی تا پایان دوره ۲۰۶۰ نزدیک شویم میزان بارش کاهش می‌یابد. در جدول (۷) نشان دهنده ساعت آفتابی می‌باشد که نشان دهنده افزایش ساعت آفتابی در دوره‌های آینده می‌باشد. در نهایت نتایج نشان می‌دهد شدت تغییرات متغیرهای اقلیمی در سال ۲۰۴۱-۲۰۶۰ نسبت به دهه قبل بیشتر می‌باشد. در نتیجه با توجه شکل (۴) پیش‌بینی ماهانه برای دوره‌های آبی نیز در سناریوهای مذکور، بیانگر این است که گرمترین ماه در استان به طور میانگین در ماه ژوئیه، سردترین ماه در دسامبر و ژانویه، بیشترین بارش‌ها در زمستان و بهار (بارندگی گاه موجب ایجاد سیل و خسارت شدید می‌گردد ولی در صورت مهار سیلابها امکان توسعه کشت افزایش می‌یابد) و کاهش بارش در تابستان و میزان تبخیر و تعرق در تابستان به بیشترین حد خود می‌رسد. نتایج نشان می‌دهد به صورت ماهانه داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت در دوره‌های آبی با احتمال گرم‌ترین ایستگاه ایران‌شهر، سردترین ایستگاه خاش، بیشترین بارش‌ها در ایستگاه خاش و بیشترین تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه زابل و بیشترین ساعت آفتابی مربوط به ایستگاه زابل (هرچه از سمت شمال به جنوب پیش می‌رویم میزان ساعت آفتابی افزایش می‌یابد).

نمودارهای پراکنش مشاهداتی و تولید شده دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی پهنه جنوب شرق در دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۹ نشان می‌دهد. همانطور که در شکل‌های فوق مشاهده می‌شود نتایج، بالا بودن ضرایب همبستگی را نشان می‌دهد. به طور کلی در جنوب شرق ایران ضرایب همبستگی بین مقادیر مدل سازی و مشاهداتی در دوره تحت بررسی، حداقل در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشند. پس ارزیابی توانمندی مدل، مقادیر میانگین بارش، دمای حداقل و حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه‌ها توسط مدل ریزمقیاس شد. نتایج مبین رفتار و روند افزایشی دما حداقل و حداکثر در تمامی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، در دوره‌های آینده است. نتایج داده‌های متغیرهای اقلیمی ریزمقیاس‌نمایی شده در جدول (۴) آورده شده است. بازه تغییرات افزایش دما حداقل در دوره ۴۰ ساله مورد مطالعه در ایستگاه ایران‌شهر (۱,۴-۲,۷)، زاهدان (۱,۷-۳,۰۲)، سراوان (۱,۳-۲,۶)، چابهار (۰,۸-۱,۵)، خاش (۱,۵-۲,۸)، زابل (۱,۴-۲,۶) درجه سانتی‌گراد می‌باشد با توجه به نتایج، بیشترین تغییرات دمای حداقل طبق داده‌های برآورد شده ایستگاه زاهدان می‌باشد. بازه تغییرات افزایش دما حداکثر در دوره ۴۰ ساله مورد مطالعه در ایستگاه ایران‌شهر (۱,۳-۲,۶)، زاهدان (۱,۴-۲,۹)، سراوان (۱,۴-۲,۵)، خاش (۱,۲-۲,۶)، چابهار (۰,۸-۱,۵)، زابل (۱,۴-۲,۸) درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیشترین تغییرات در دمای حداکثر در برآورد داده‌ها مربوط به ایستگاه زاهدان می‌باشد که این ایستگاه در دوره‌های آینده گرمتر می‌شود. همان‌طور که در بالا ذکر گردید دما در هر دو دوره دارای روندی افزایشی و یکنواخت است. تغییرات در دمای حداقل بیشتر از دمای حداکثر است. میزان این افزایش از آینده نزدیک به سمت آینده دور بیشتر می‌شود. اما با توجه به جدول (۶) رفتار یکنواخت را در مقدار بارش نمیتوان مشاهده کرد. در جدول (۶) بارش مشاهداتی سال ۱۹۸۷-۲۰۱۹ بیان شده است و برای دو دهه آینده در دو سناریو RCP2.6 (تعهد کشورها به کاهش گازهای گلخانه‌ای) و RCP8.5 (در صورت عدم پایبندی به کاهش گازهای گلخانه‌ای) پیش‌نگری صورت گرفته است. تغییرات بارش ایران‌شهر در دهه‌های اول و دوم میزان بارش افزایش و در دهه اول در سناریو RCP کاهش

جدول ۴- تغییرات دمای حداقل (بر حسب سانتیگراد) برای دو دوره زمانی براساس سناریو RCP8.5 و RCP2.6

ایستگاه	دمای حداقل مشاهداتی	2021-2040-RCP2.6	2041-2060-RCP2.6	2021-2040-RCP8.5	2041-2060-RCP8.5
ایرانشهر	20/1	21/54	21/91	21/78	22/85
زاهدان	10/57	12/27	12/69	12/53	13/59
سراوان	14/75	16/08	16/46	16/34	17/38
چابهار	23/31	24/14	24/34	24/25	24/88
خاش	12/58	14/13	14/34	14/39	15/45
زابل	15/32	16/8	17/08	16/87	17/98

جدول ۵- تغییرات دمای حداکثر (بر حسب سانتیگراد) برای دو دوره زمانی براساس سناریو RCP8.5 و RCP2.6

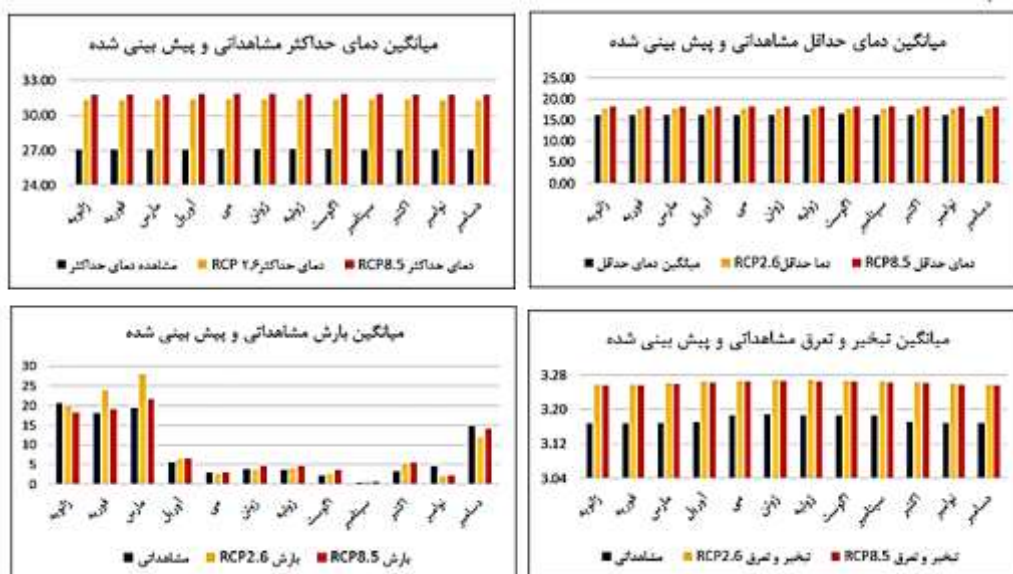
ایستگاه	دمای حداکثر مشاهداتی	2021-2040-RCP2.6	2041-2060-RCP2.6	2021-2040-RCP8.5	2041-2060-RCP8.5
ایرانشهر	34/2	35/55	36/08	35/73	36/85
زاهدان	27/13	28/57	29/39	28/9	30/03
سراوان	29/79	31/5	31/59	31/24	32/34
چابهار	29/53	30/38	30/53	30/4	31/07
خاش	27/88	29/15	29/83	29/36	30/56
زابل	30/19	31/59	32/44	31/93	33/02

جدول ۶- جمع بارش برای دو دوره زمانی براساس سناریو RCP8.5 و RCP2.6

ایستگاه	بارش مشاهداتی	2021-2040-RCP2.6	2041-2060-RCP2.6	2021-2040-RCP8.5	2041-2060-RCP8.5
ایرانشهر	106/485	140/13	120/805	123/09	103/285
زاهدان	87/905	72/36	79/395	79/73	70/225
سراوان	120/155	114/435	96/69	140/63	90/445
چابهار	120/89	136/495	1252/6	122/495	112/005
خاش	99/125	173/71	123/47	177/28	102/205
زابل	62/465	67/875	72/175	65/105	60/215

جدول ۷- تغییرات ساعت آفتابی برای دو دوره زمانی براساس سناریو RCP8.5 و RCP2.6

ایستگاه	ساعت آفتابی مشاهداتی	2021-2040-RCP2.6	2041-2060-RCP2.6	2021-2040-RCP8.5	2041-2060-RCP8.5
ایرانشهر	9/32	9/4	9/55	9/4	9/5
زاهدان	9/3	9/31	9/33	9/4	9/4
سراوان	9/5	9/5	9/52	9/6	9/7
چابهار	8/29	8/3	9	9/12	9/13
خاش	9/2	9/35	9/83	9/44	9/44
زابل	9/39	9/41	9/43	9/4	9/64



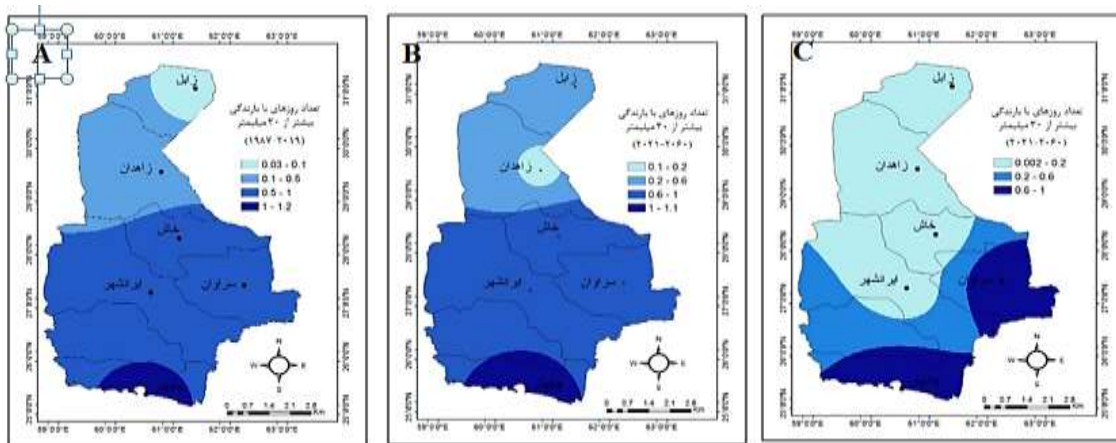
شکل ۴- میانگین ماهانه متغیرهای اقلیمی در دو دوره آینده در پهنه جنوب شرق ایران

مشاهداتی نسبت به آینده بدبینانه و خوشبینانه بیشترین تغییرات نیمه شمالی و کمترین تغییرات نیمه جنوبی است.

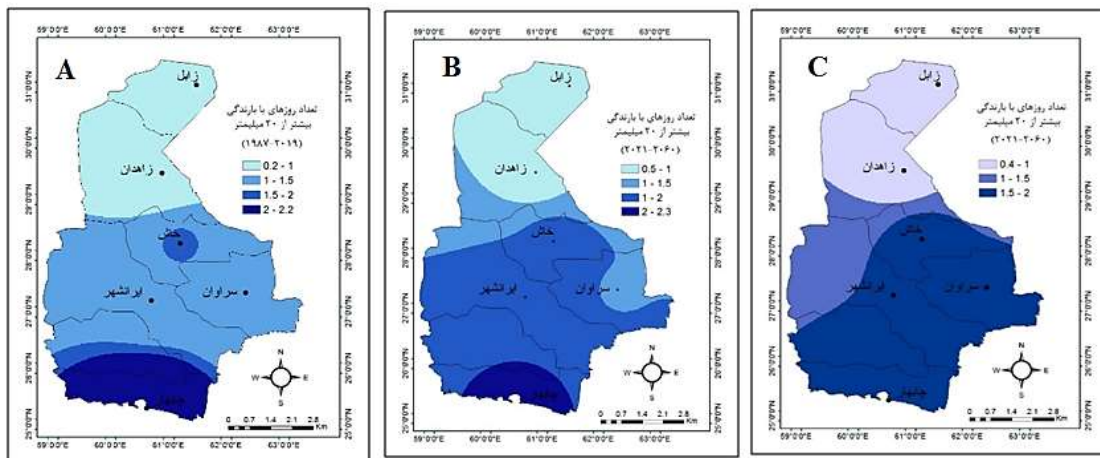
بارش سنگین

با استفاده از خروجی مدل و داده‌های دیدبانی آستانه بارش‌های سنگین و آستانه بارش‌های خیلی سنگین در دوره پایه و دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۶۰ محاسبه شدند و نتایج نشان می‌دهند که آستانه بارش‌های سنگین و آستانه بارش‌های خیلی سنگین در دهه آینده در ایستگاه ایرانشهر کاهش می‌یابد و در دیگر ایستگاه روند با روند افزایشی مواجه هستیم. به طور کلی می‌توان گفت میانگین بارش‌های سنگین افزایش می‌یابد و این امر وقوع رخداد‌های حدی را در آینده تایید می‌کند.

نتیجه این بررسی همچنین نشان می‌دهد که جنوب شرق ایران در سال‌های اخیر با افزایش دما مواجه بوده است. با توجه به جداول دمای حداکثر در دوره پایه و دوره‌های آینده نشان می‌دهد تغییرات دمای پهنه جنوب شرق ایران در طول دوره آماری با میانگین دراز مدت ۳۰ ساله بررسی گردید که در دوره‌های آتی افزایش چشم‌گیری داشته است. با توجه به افزایش دما، پدیده‌های چون بارش سنگین، یخبندان، روزهای تر و خشک طی دوره ۱۹۸۷-۲۰۱۹ در دوره پایه و دوره‌های آینده ۲۰۲۱-۲۰۶۰ مورد مقایسه قرار گرفته و به بررسی و واکاوی مکانی این پدیده‌ها پرداخته شد و می‌توان از این تغییرات به عنوان نمایه‌ای از تغییر اقلیم نام برد. تغییرات متوسط حداکثر دما



شکل ۵- تعداد روزهای با بارندگی بیشتر از ۳۰ میلیمتر (A: مشاهداتی، B: RCP2.6 و RCP8.5: C) ۲۰۶۰-۲۰۲۱



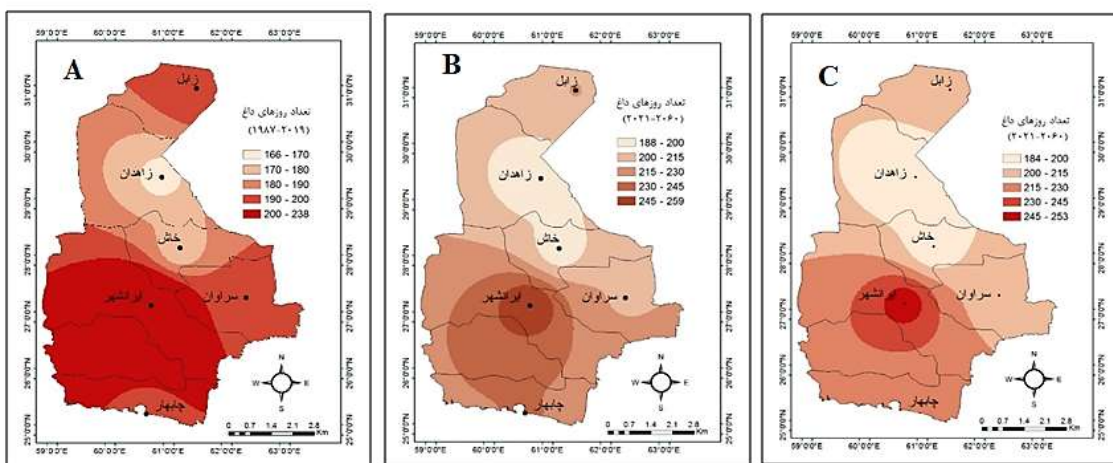
شکل ۶- تعداد روزهای با بارندگی بیشتر از ۲۰ میلیمتر (A: مشاهداتی، B: RCP2.6 و C: RCP8.5) ۲۰۲۱-۲۰۶۰

روز تر و خشک

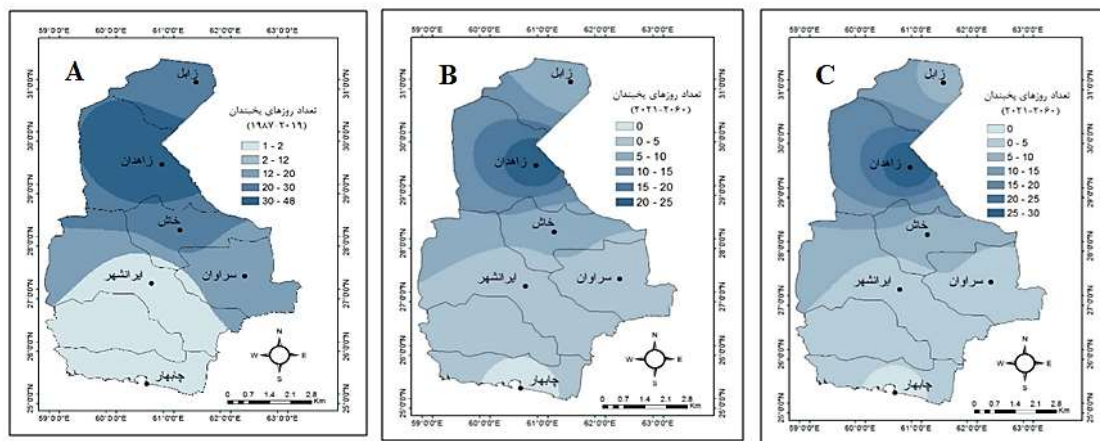
روز خشک به روزی گفته می‌شود که مقدار بارش آن کمتر از ۰٫۱ میلیمتر و در روز تر بیشتر از ۰٫۱ میلیمتر است. بر این اساس تعداد روزهای خشک و تر دوره آینده ایستگاه‌های سینوپتیک براساس خروجی‌های مدل و داده‌های دوره آماری محاسبه شدند. نتایج نشان دادند که در سال‌های پایه تعداد روزهای خشک در ایستگاه چابهار بیشتر از ایستگاه‌های دیگر و تعداد روزهای تر در ایستگاه خاش به نسبت سایر ایستگاه‌ها بیشتر می‌باشد. لذا قابل ذکر است در دوره‌های آینده بر طبق سناریوهای این ایستگاه‌های مذکور تعداد روزهای خشک در چابهار و تعداد روزهای مرطوب در خاش بیشتر می‌شود. در نهایت می‌توان بیشترین تعداد روزهای خشک در جنوب استان و بیشترین روزهای تر در شمال استان می‌باشد.

روزهای داغ و یخبندان

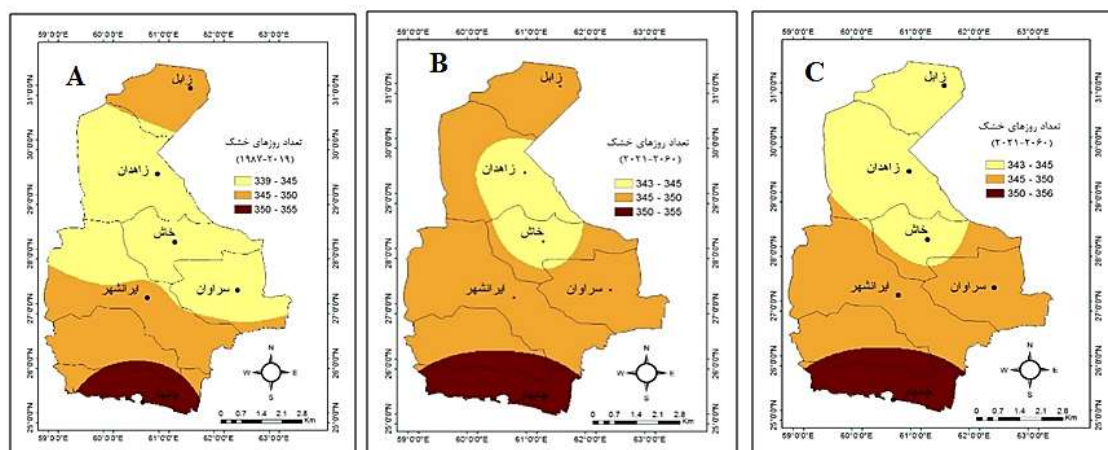
روز یخبندان روزی است که در آن دمای کمینه صفر یا کمتر باشد (سمنوف و همکاران، ۲۰۰۲). براساس این تعاریف، تعداد روزهای داغ و یخبندان برای دو دوره ۲۰۶۰-۲۰۲۱ (با استفاده از خروجی مدل) و دوره پایه پهنه جنوب شرق محاسبه شدند. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین افزایش دما مربوط به ماه ژوئیه می‌باشد. بیشترین افزایش دما مربوط به ایستگاه ایرانشهر است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در تمامی ماه‌های سال تعداد روزهای یخبندان کاهش می‌یابد. به طور کلی در دهه‌های آینده تعداد روزهای داغ افزایش و تعداد روزهای یخبندان با کاهش مواجه می‌شود. کمترین روزهای یخبندان به بیان دیگر پدیده یخبندان رخ نمی‌دهد ایستگاه چابهار می‌باشد که به دلیل ساحلی بودن و رطوبت فراوان رخداد این پدیده کمتر شده است.



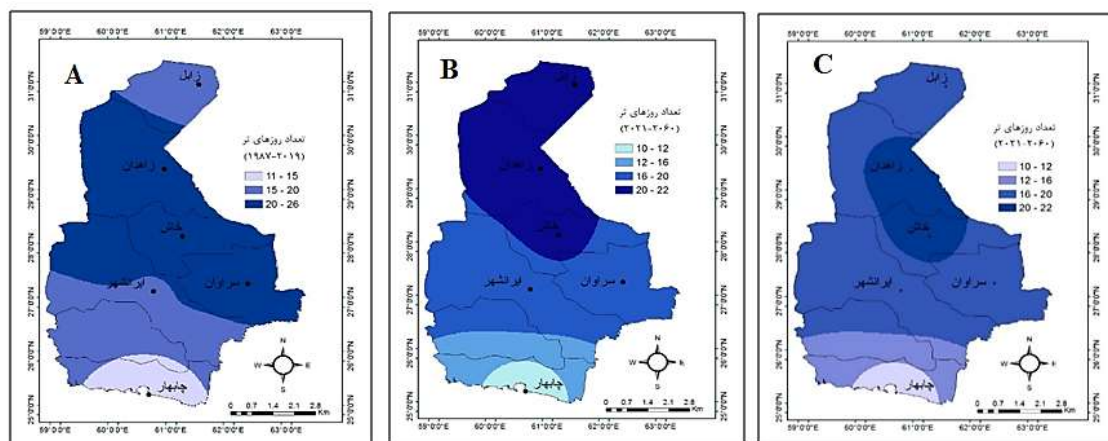
شکل ۷- تعداد روزهای داغ (A: مشاهداتی، B: RCP2.6 و C: RCP8.5) ۲۰۲۱-۲۰۶۰



شکل ۸- تعداد روزهای یخبندان (A: مشاهداتی، B: RCP2.6 و C: RCP8.5) ۲۰۲۱-۲۰۶۰



شکل ۹- تعداد روزهای خشک (A: مشاهداتی، B: RCP2.6 و C: RCP8.5) ۲۰۲۱-۲۰۶۰



شکل ۱۰- تعداد روزهای تر (A: مشاهداتی، B: RCP2.6 و C: RCP8.5) ۲۰۲۱-۲۰۶۰

بارش به دلیل تغییرات قابل ملاحظه زمانی و مکانی از مهم‌ترین عناصر اقلیمی در بررسی تغییرات اقلیمی هستند. در این مقاله به منظور ارزیابی و شناخت تغییر اقلیم پهنه

بحث و نتیجه‌گیری

پدیده تغییر اقلیم به خصوص افزایش دمای حداقل و حداکثر منطقه مورد مطالعه را، تحت الشعاع قرار دهد. دما و

افزایش خواهد داشت. در نهایت میتوان بیشترین تعداد روزهای خشک در جنوب استان و بیشترین روزهای تر در شمال استان می باشد.

در نقشه‌ها بارش‌های خیلی سنگین (۳۰ میلیمتر بیشتر) نشان می‌دهد کمترین بارش در زابل در نیمه شمالی استان و بیشترین بارش‌ها در جنوب استان نوار ساحلی می‌باشد. طی دوره‌های آتی RCP2.6 کمترین بارش در ایستگاه زاهدان و بیشترین در نوار ساحلی و مرکزی اما در RCP8.5 نشان از کم شدن بارش در نوار مرکزی و شمالی است و در جنوب افزایش بارش نسبت به نیمه شمالی را مشاهده می‌کنیم. بیشترین تغییرات کاهش و افزایش نیز براساس سناریو RCP8.5 مشهودتر از سناریو RCP2.6 است.

در دو سناریو RCP2.6 (تعهد کشورها به کاهش گازهای گلخانه‌ای) و RCP8.5 (در صورت عدم پایبندی به کاهش گازهای گلخانه‌ای) در دوره‌های مورد مطالعه ریزمقیاس گردید. براساس نتایج خروجی مدل LARS-WG افزایش دما در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. میزان افزایش دما در مناطق ساحلی کمتر از سایر مناطق می‌باشد. در تمامی ایستگاه‌ها تغییرات دما به طور یکنواخت می‌باشد و موافق نظرات پژوهشگرانی چون باعقیده و همکاران (۱۳۹۵)، حجازی زاده و حمیدیان پور (۱۳۹۱) می‌باشند و دستاورد این نتایج این است که بیشترین تغییرات در دوره دوم (۲۰۴۱-۲۰۶۰) اتفاق می‌افتد. شرایط اقلیمی از قبیل تعداد روزهای یخبندان و تعداد روزهای داغ محاسبه گردید و نتایج نشان از کاهش روزهای یخبندان و افزایش روزهای داغ را مشاهده میکنیم نتایج پژوهش همسویی با نظرات پژوهشگرانی چون عباسی و اثمیری (۱۳۹۰) و زهرایی و نظری پور (۱۳۹۱) دارد و به این نتیجه رسیدند که کردند تعداد روزهای داغ در دوره اقلیمی آینده نسبت به دوره گذشته در طول سال افزایش خواهد یافت.

در صورت عدم پایبندی به کاهش گازهای گلخانه‌ای شدت متغیرهای اقلیمی در دهه ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بیشتر خواهد شد. در نهایت اینکه نتایج بیانگر روند افزایش دما که به تبع آن افزایش امواج گرمایی، تشدید روزهای داغ، افزایش خشکسالی و افزایش وقوع گرد و غبار، کم شدن تعداد روزهای یخبندان را در دهه‌های آینده نواحی جنوب شرق

جنوب شرق ایران از سال ۲۰۲۱-۲۰۶۰ میلادی، پیش‌نگری بلند مدت مدل گردش کلی HadCM2 با داده‌های سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 بر روی شش ایستگاه سینوپتیک منطقه با استفاده از مدل LARS-WG6 ریزمقیاس شدند. با در نظر گرفتن نشانه‌ها در محدوده مطالعاتی، داده‌های بارش، دمای کمینه، بیشینه را به صورت روزانه برای دوره زمانی مشخصی در آینده پیش‌بینی نمود. همچنین از داده‌های آماری دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹ ایستگاه‌های مورد مطالعه استفاده شد. در ابتدا توانمندی مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی بررسی گردید و سپس پس از اطمینان از صحت مدل، سناریوهای تغییر اقلیم با مقایسه داده‌های دو دوره آینده و پایه تهیه شدند و مدل برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه اجرا گردید که مهمترین نتایج اجرای آن به شرح زیر می‌باشند:

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از آزمون‌های آماری و شاخص‌های خطاسنجی مختلف، نشان داد که این مدل در بیشتر ماه‌ها در پهنه جنوب شرق ایران مورد بررسی و از دقت مناسبی جهت شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نتایج حاصل از خروجی مدل میزان بارش در دوره آتی در سطح منطقه مورد مطالعه نزدیک به آن مقدار دوره پایه برآورد کردند. توانایی این مدل ریزمقیاس‌نمایی در پیش‌بینی دما بهتر از بارش است که نیز تاییدی است با مطالعات قبلی پژوهشگرانی چون مشکواتی و همکاران (۱۳۸۹)، حسینی و همکاران (۱۳۹۴) و بابائیان و همکاران (۱۳۸۸). تفاوت نتایج در مدل‌های مختلف نشان می‌دهد که بررسی چشم انداز بارش بلندمدت تنها با استفاده مدل عدم قطعیت زیادی خواهد داشت که ناشی از پیچیدگی فرایند بارش می‌باشد. در مجموع نتایج در کل منطقه پهنه جنوب شرق ایران در دهه‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ فراوانی بارش کاهش می‌یابد، بیشترین کاهش در ایستگاه مرکزی منطقه مورد مطالعه مربوط به ایستگاه زاهدان می‌باشد. بارش دارای رفتاری یکنواختی نیست و در طی فصول و ایستگاه‌های مختلف، بسیار نوسان دارد. در اکثر ماه‌های سال بی‌نظمی بارش افزایش خواهد یافت. عداد روزهای تر در آینده در منطقه مورد مطالعاتی کاهش خواهند یافت. تعداد روزهای خشک در آینده در تمامی ایستگاه‌ها

3. Babaeian, I. Najafi Nik, Z, 2006, Introducing and Evaluating the LARS - WG Model for Modelling the Meteorological Parameters of Khorasan Province, Statistical Period (1961-2003). Nivar, 31(62-63), 50-67.
4. Batool, b, 2018, Spatial Analysis of the Occurrence of Dust Phenomenon in Sistan and Baluchistan Province with Statistical Methods. Geography Quarterly (Regional Planning), 8 (3), 97-109.
5. Dehghan, Z. Fathian, F. Eslamian, S, 2015, Comparative Evaluation of SDSM, IDW and LARS-WG Models for Simulation and Subscale of Temperature and Precipitation, Journal of Soil and Water, 29(5), 1376-1390
6. Ebrahimzadeh, I, 2010, Land Use Planning and Environmental Planning in Southeast of Iran, Tehran: Institute of Information.
7. Faizi, Vahid and Farajzadeh, Manouchehr and Nowruzi, Rabab, 2010, Study of Climate Change in Sistan and Baluchestan Province by Man-Kendall Method, 4th International Congress of Geographers of the Islamic World, Zahedan.
8. Fallah Ghalhari, Gh. Yusefi, H. Hosseinzade, A. Alimardani, M. Reyhani, E, 2019, Climate Change Assessment of Bojnourd Station During 2016 to 2050 Using LARS WG and SDSM Microscale Exponential Models, Journal of Echo Hydrology, 6(1), 99-109.
9. Fung, F. Lopez, A. and New, M, 2011, Modeling the Impact of Climate Change on Water Resources, Wiley-Blackwell, N, ISBN: 9781405196710. PP. 43-62.
10. Goodarzi, M. Noori, A, 2018, Evaluation of LARS-WG Model and Method of Factor Change in Exponential Precipitation and Temperature Microscale. Quarterly Journal of Environmental Science and Technology.
11. Goodarzi, M. Salahi, B. Hosseini, A, 2015, Evaluation of the Performance of LARS-WG and SDSM Microscale Models in Simulating Climate Change in the Catchment Area of Lake Urmia. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. 9 (31): 11-23.
12. Hamidian pour, M. Ba-aghideh, M. Abbasnia, M, 2016, Evaluation of Temperature and Precipitation Changes in Southeastern Iran Using Microscale Output of Different Models of General Atmospheric Circulation in the Period 2011-2010, Quarterly Journal of Natural Geography Research, 48(95), 107- 123.
13. Hamidian pour M. Hejazi zade, Z, 2012, Investigation of Temperature and Precipitation Changes Using Barley General Circulation Model, Case Study of

ایران خواهیم داشت. مطالعه میزان بارش نسبت به دوره پایه کاهشی و دما حداقل و حداکثر افزایش خواهد یافت که این امر میتواند موجب کاهش ذخیره و تأمین منابع آبی در سطح منطقه گردد که به دنبال آن شرایط اقلیم کشاورزی منطقه نیز دچار تغییر میگردد. همچنین میزان دما افزایش پیدا خواهد کرد که موجب افزایش تبخیر و تعرق، کاهش دوره رشد و کاهش عملکرد محصولات کشاورزی میشود.

تقدیر و تشکر

از تمام عزیزان پژوهشگر اقلیم‌شناسی بخصوص دکتر مجید حبیبی نوخندان، سرکار خانم منصوره کوهی و شراره ملبوسی که در طول مدت تحصیل، از علم ایشان بهره برده‌ام، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

پیشنهادات

در نهایت اینکه شناخت و ارزیابی تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده با هدف برنامه‌ریزی محیطی مناسب در جهت سازگاری با شرایط آینده اقلیم و کاهش اثرات آن امری تاثیرگذار می‌باشد، یافتن اقلیم آینده هر ناحیه آب و هوایی و بررسی نظام تغییرات آنها، می‌تواند راهگشای برنامه ریزی‌هایی باشد. بنابراین لازم است برنامه ریزان مربوطه در بخش‌های مختلف، راهکارهای لازم جهت سازگاری با شرایط جدید را اتخاذ نمایند. در خصوص شبیه سازی پارامترهای اقلیمی به ویژه پارامتر بارش نیز پیشنهاد می‌شود سایر روش‌های ریزمقیاس گردانی و همچنین سایر مدل‌های جهانی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

منابع

1. Asadi, A. Jamshidi, O. Kalantari, Kh, 2017, Climate Change Adaptation Mechanisms for Small Farmers in Hamadan Province. Agricultural Extension Science and Education, 13(2), 109-130.
2. Ashraf, B. Moosavi Beigi, M. Kamali, Gh. & Davari, K, 2011, Predicting Fossil Changes of Climatic Parameters in the Next Twenty Years Using the Statistical Exponential Scale of HadCM3 Model Data Case Study: Khorasan Razavi Province, Journal of Soil and Water, (Agricultural Science and Industry), V. 25, N. 4: 945-957.

- Using General Atmospheric Rotation Models. 16 (56): 151- 168.
24. Mosayebi, M. Movahedi, S, 1995, the Role of Humans in Climate Change. Journal of Geographical Information "Sepehr", 4 (16), 6-11.
 25. Paymard, P. Banayan Aval, M. Sadrabadi Haghghi, R, 2015, Meteorology: Evaluation of Two Models of General Circulation of CCCAM and MPI Barley in Simulation of Climatic Parameters (Case Study: Khorasan Razavi Province), National Congress of Irrigation and Drainage of Iran. 2015.
 26. Racsko, P. Szeidl, L. Semenov, M, 1991, A Serial Approach to Local Stochastic Weather Models. Ecol Model, 57:27-41.
 27. Reddy.K.S. Kumar. M. Maruthi.V. Umesha.B. Vijayalaxmi. & Nageswar Rao.c.v.k, 2014, Climate Change Analysis Southern Telangana Region, a Pradesh Using LARS- WG Model. Journal of Current Science. 107(1): 54- 62.
 28. 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.
 29. Sadat Ashofte, P. Messahboani, A, 2012, Investigating the Effect of Uncertainty of General Atmosphere and Ocean Cycle Models and Greenhouse Gas Emission Scenarios on Basin Runoff under the Influence of Climate Change; Case Study of Qarnaqo Basin, East Azerbaijan. Iranian Journal of Water Resources Research, 2: 36-47.
 30. Saadatfar A. Barani, H. Bahremand, A. Massah Bavani A. Sepehri A. Abedi A, 2013, Statistical Downscaling HadCM3 Model for Detection and Prediction of Seasonal Climatic Variations (Case Study: Khabr Rangeland, Kerman, Iran). Journal of Rangeland Science. 3(3).
 31. Sarkar, J. and Chicholikar, JR, 2015, Climate Change Scenario in the Gujarat Region. Analyses Based on LARS-WG Model. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 31-41:12.
 32. Semenov, M. A. Stratonovitch, P, 2010, "Use of Multi-Model Ensembles from Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts," CLIMATE RESEARCH, Number 4, (Pp. 1-14). <https://climatology.ir>.
 33. 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.
 - Sistan and Baluchistan Province, National Conference on Border Cities and Security; Challenges and approaches, Zahedan.
 14. IPCC, 2007, Summary for Policy Makers Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press.
 15. IPCC, 2007, Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report, Climate Change.
 16. IPCC, 2007, Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Solomon, S., D. Qin, M. Manning.
 17. Khalili Aghdam, N. Mosaedi, A. Soltani, A. Kamkar, B, 2012, Evaluation of LARS-WG Model Capability in Predicting Some Atmospheric Parameters of Sanandaj, Soil and Water Conservation Researches; Period 19, Number 4.
 18. Khosravianian, J. Onegh, M. Goodarzi, M. Hejazi, S, 2015, Application of LARS-WG Model in Predicting Meteorological Parameters of Qarasu Basin in Golestan Province. Journal of Geography and Planning 93-115, 19(53).
 19. Kathiri, Maryam, Goodarzi, Masoud, Janbaz Ghobadi, Gholamreza, Motavi, Sadr al-Din, 2020, Outlook for Remperature and Precipitation Changes on the Southern Shores of the Caspian Sea. Natural Geography, 13 (47), 35-51.
 20. Khalili, Najmeh, Davari, Kamran, Alizadeh, Amin, Ansari, Hossein, Rezaei Pajand, Hojjat, Kafi, Mohammad, Ghahraman, Bijan ,2016, Evaluation of the performance of LARS-WG and ClimGen models in the production of rainfall and temperature time series in Sisab rainfed research station, North Khorasan. Water and Soil, 30 (1), 322-333.
 21. Lopes, p, 2009, Assessment of Statistical Downscaling Methods. Application and Comparison of Two Statistical Methods to a Single Site in Lisbon.
 22. Meshkovati, A. Kord jazi, M. Babaeian, I, 2010, Investigation and Evaluation of Lars Model in Simulation of Meteorological Data of Golestan Province in the Period of 1993-1997. Journal of Applied Research in Geographical Sciences. 1389; 10 (13): 81-96.
 23. Mohammadloo, M. Haghizadeh, A. Zeynivand, H. Tahmasbi pour, N, 2016, Evaluation of the Effects of Climate Change on the Trend of Temperature and Rainfall Changes in Baranduzchay Watershed in West Azerbaijan Province

- Atmospheric and Oceanic Science Letters, 5(6): 527-533.
37. Zarakani, F. Kamali, GH, & Chizari, A, 2014, The Effect of Climate Change on Rainfed Wheat Economy (Case study of North Khorasan).
 38. Zahraei, A. Asaad, Hosseini, 2020, Climate Change and its Effects on Water Resources. Ilam. Hawar Publications.
 39. Zahraei, A & Nazaripour, H, 2013, Assessing the Rate of Climate Change in the Southeast of the Country Using Three-dimensional Models of General Atmospheric Circulation (Case Study: Zahedan Station), the Second International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, Kerman.
 34. Wang, X. Yang, T. Shao, Q. Kumud, A. Wang, W. Yu, Z, 2011, "Statistical Downscaling of Extremes of Precipitation and Temperature and Construction of Their Future Scenarios in An Elevated and Cold Zone," Stoch. Environ. Res. Risk. Asses, 26, 405-418.
 35. Wilby, R. L. Charles, S. P. Zorita, E. Timbal, B. Whetton, P. & Mearns, L.O, 2004, Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods, IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis.
 36. Xu, C.H. and Xu, Y, 2012, The Projection of Temperature and Precipitation over China under RCP Scenarios Using a CMIP5 Multi-Model Ensemble,