

مدل‌سازی فراسنج‌های اقلیمی استان خراسان جنوبی

بهروز سبحانی - دانشیار آب‌وهواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
فخری سادات فاطمی‌نیا* - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۲۳ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۶/۰۵

چکیده

اقلیم و تغییرات آن، نقش مهمی در همه ابعاد زندگی انسان ایفا می‌کنند و به همین دلیل پیش‌بینی اقلیم آینده که متکی بر مدل‌های گردش عمومی جو انجام می‌گیرد، از اهمیت خاصی برخوردار است. در این پژوهش، داده‌های سناریوی A1B مدل‌های گردش عمومی جو BCM2 و IPCM4 برای ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر دمای کمینه و بیشینه، تابش و بارش در هفت ایستگاه هم‌مدید استان خراسان جنوبی به کمک مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شدند. برای این کار سه مرحله واسنجی، صحت‌سنجی و مدل‌سازی مدل‌ها در ایستگاه‌های منتخب انجام گرفت و کارایی مدل‌ها از نظر شباهت مقادیر مشاهده شده و مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از شاخص‌های خطا، مانند ریشه میانگین مربعات و ضریب تعیین ارزیابی شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها در لارس، مکنز، سنس استیمیتور و من‌کندال، نشان داد که دمای کمینه، دمای بیشینه و تبخیر و تعرق در تمام شهرهای استان خراسان جنوبی (بجز قائن با افزایش بسیار جزئی بارش) طی ۲۰۶۰-۲۰۱۱ روند افزایشی خواهند داشت، بقیه ایستگاه‌ها روند کاهشی بارش را شاهد خواهند بود. همچنین بجز قائن و فردوس، در بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی تابش مشاهده خواهد شد. طبق برآوردها، روند افزایشی دما در بیرجند و قائن کمتر بوده و در طبس بیشتر خواهد بود. چنین به نظر می‌رسد که تغییرات نه‌چندان شدید فراسنج‌ها در برخی ایستگاه‌ها، به دلیل موقعیت ویژه جغرافیایی و توپوگرافی منطقه است.

کلیدواژه‌ها: استان خراسان جنوبی، تغییر اقلیم، روند، مدل گردش عمومی جو، LARS-W.

مقدمه

در گذشته، تغییرات آب‌وهوایی الگوی زندگی انسان‌ها را تغییر می‌داد، اما امروزه چنین به نظر می‌رسد که این انسان‌ها هستند که با فعالیت‌هایشان موجب تغییر آب‌وهوای جهانی می‌شوند. رشد بی‌رویه جمعیت، حمل و نقل و سایر فعالیت‌های بشری، به‌ویژه صنایع آلاینده، منجر به تغییرات بزرگ و اساسی در اقلیم می‌شوند که تا کنون در زندگی پیشین انسان‌ها

چنین تغییراتی رخ نداده است (محمدنژاد، ۱۳۸۳: ۳۸). از این رو، پیش‌بینی بلندمدت فراسنج‌های اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای کاهش آثار سوء ناشی از تغییر اقلیم، توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است (خلیلی‌ا قدم، مساعدی، سلطانی و کامکار، ۱۳۹۱). یکی از فراگیرترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو^۱ است. این مدل‌ها، ابزاری قوی برای مطالعه و ارزیابی خطر تغییر اقلیم و بروز دوره‌های خشک، بارش‌های رگباری و وقوع سیلاب بوده و مبنای تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت علوم مختلف هستند. همچنین توانایی ساخت سری‌های زمانی درازمدت عوامل وضع هوا، مانند بارش، دما و تابش خورشید در مقیاس‌های زمانی معین (عمدتاً روزانه) با ویژگی‌های آماری مشخص را دارند (ریچاردسون، ۱۹۸۱؛ ریچاردسون و رایت، ۱۹۸۴: ۸۳؛ راکسکو، زیدل و سمنوف، ۱۹۹۱ و جانسون، هانسون، هاردیگر و بالارد، ۱۹۹۶). در واقع، این مدل‌ها معتبرترین ابزار برای بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف محسوب می‌شوند و می‌توانند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تأییدشده هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۲ مدل‌سازی کنند (دیباک و کولیالی، ۲۰۰۵ و کیلسبی و جونز، ۲۰۰۷). در این مدل‌ها همه عوامل اقلیمی لحاظ شده‌اند. برای نمونه، توجه به سلسله‌مراتب و برهم‌کنش اقیانوس - جو، یخ‌های دریایی و سطوح خشکی‌ها در این مدل‌ها، سرلوحه مدل‌سازی است و خود به سه نوع مدل گردش عمومی جو (AGCM)، مدل گردش عمومی اقیانوس (OGCM)^۳ و مدل گردش مزدوج (AOGCM)^۴ تقسیم می‌شوند. هدف مدل‌های گردش عمومی اقیانوس، محاسبه همه شاخص‌های سه‌بعدی اقلیم در شبکه‌های مشخص است. قدرت تفکیک افقی مدل‌های AGCM، بیش از صد کیلومتر و قدرت تفکیک عمودی، ۱۰ تا ۳۰ متر است (عساکره، ۱۳۸۶: ۱۰۹). یکی از ضعف‌های عمده این مدل‌ها قدرت تفکیک مکانی پایین آنهاست که برای فائق آمدن بر این مشکل، لازم است خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی آماری و دینامیکی شوند (عباسی، ملبوسی، بابائیان، اثمیری و برهانی، ۱۳۸۸)؛ چرا که روش‌های آماری نسبت به روش‌های دینامیکی به پارامترهای کمتری نیاز دارند و به همین دلیل در مطالعات مربوط به علوم آب‌وهواشناسی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (علیزاده، سیاری، حسامی، بنایان، فرید حسینی، ۱۳۸۹). همچنین می‌توان مدل‌ها را با توجه به غلظت گازهای گلخانه‌ای در گذشته و حال، یا غلظت فرضی این گازها در آینده اجرا کرد. پس از اجرای مدل‌ها و احراز شرایط اولیه، این مدل‌ها تغییرات دما، تابش یا بارش را طی فاصله زمانی برای هر یاخته^۵ شبکه جهانی محاسبه می‌کنند (خزانه‌داری، کوهی، قندهاری و آسیایی، ۱۳۸۶).

در این میان، مدل LARS-WG که یکی از مدل‌های گردش عمومی جو است، کاربرد بسیاری در پیش‌آگاهی تغییرات اقلیمی آینده دارد و اندیشمندان زیادی را به کوشش واداشته است. نسخه اولیه این مدل را راسکو و همکارانش (۱۹۹۰) در بوداپست مجارستان، هنگام اجرای پروژه ارزیابی ریسک کشاورزی ابداع کردند و سپس در سال ۱۹۹۸، سمنوف و همکارانش به بازنگری و تعدیل آن اقدام کردند (بذرافشان، خلیلی، هورفر، ترابی و حجام، ۱۳۸۸). پژوهشگران بسیاری

1. Atmospheric General Circulation Models (AGCM)
2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
3. Oceanic General Circulation Model (OGCM)
4. Atmospheric- Oceanic General Circulation Model (AOGCM)
5. Pixel

دقت بالایی این مدل را در مدل‌سازی داده‌های آب‌وهوایی ایستگاه‌های مختلف اقلیمی تأیید کرده‌اند (ویلیامز، ۱۹۹۱: ۵۶؛ بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵ و ماوروماتیس و هانسن، ۲۰۰۱). از جمله مطالعات در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های کادن، واتکینز و میکائیل (۲۰۰۸) در غرب آفریقا؛ لیوکانون، ویلیامز، بلوتی و برایان (۲۰۰۳) در جنوب استرالیا؛ ریچر و سمونف (۲۰۰۴) در انگلستان؛ سجادخان، کولیبالی و دیبایک (۲۰۰۶) و بابائیان، کوان و ایم (۲۰۰۴) در کره اشاره کرد.

هارمسن، میلر، اسپچلیگل و گونزالز (۲۰۰۹)، تغییر اقلیم را برای چند مکان در پورتوریکو پیش‌بینی کردند. نتایج آنها نشان داد که فصل بارش، مرطوب‌تر و فصل خشک، خشک‌تر خواهد شد. آنها همچنین نشان دادند که در ماه‌های خشک با کاهش بارندگی و افزایش دما، بر میزان تبخیر و تعرق نیز افزوده می‌شود. لیانگ، لیچوان، کیانگ (۲۰۱۰) نشان دادند که پارامترهای اقلیمی نظیر بیشینه و میانگین دمای هوا، رطوبت نسبی و ساعات روشنایی، از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق هستند. سمونف، بنت و کالانسا (۲۰۱۳)، به ارزیابی اقلیم اروپا به‌ویژه در زمینه تابش طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰ پرداختند. آنها برای این کار از آزمون‌های آماری و دو مدل CMIP3 و EU-ENSEMBLES تحت مدل لارس کمک گرفتند. آزمون کومولوگراف و t -test، اختلاف کمی را بین داده‌های مشاهده شده و داده‌های شبیه‌سازی‌شده تابش نشان داد؛ به‌گونه‌ای که در ۱۱ درصد از مناطق، میزان بایاس بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده در تابش ماهانه بسیار اندک بود.

مساح بوانی و مریدی (۱۳۸۴) نشان دادند که در دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰، میانگین سالانه بارش در حوضه زاینده‌رود کاهش و میانگین سالانه دما افزایش پیدا می‌کند. ظهراپی، مساح بوانی، تلوری و صدقی (۱۳۸۹) نشان دادند که فرض نرمال بودن تابع احتمالاتی دما - بارش در حوضه آبریز کارون، فرض قابل قبولی است و در نیم قرن اخیر در حوضه کارون، بارش روند کاهشی داشته و دما دارای روند افزایشی بوده است. طاووسی، خسروی، زهرایی (۱۳۹۱)، نشان دادند که مدل BCM۲ به بهترین نحو می‌تواند یخبندان‌های زابل را برای دوره اقلیمی آینده مدل‌سازی کند. نتایج مدل حاکی از آن بود که میانگین مؤلفه‌های دمایی در دوره اقلیمی آینده نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت و این افزایش در فصول بهار و پاییز بیش از فصول زمستان و تابستان بوده و شمار روزهای یخبندان زابل به میزان چشمگیری کاهش خواهد یافت. خورانی و منجذب مرودشتی (۱۳۹۳)، به کمک مدل لارس به بررسی تعداد بازدیدکنندگان جزیره هنگام در شرایط تغییر اقلیم پرداختند. افزایش تعداد بازدیدها در دو فصل تابستان و پاییز و کاهش بازدیدها در فصل‌های بهار و زمستان طی ۲۰۴۰-۲۰۱۰ از نتایج این پژوهش است.

به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که مدل لارس کاربرد بالایی در پیش‌بینی فراسنج‌های اقلیمی دارد. در اغلب مطالعات مؤلفه‌های دمایی روند افزایشی داشته و مؤلفه بارش کاهش نشان خواهد داد. البته این‌گونه تغییرات در مناطق مختلف کره زمین از شدت و ضعف متفاوتی برخوردار بوده و به‌صورت یکسان و همسان رخ نداده است.

در پژوهش حاضر برای نیل به مدل‌سازی فراسنج‌های اقلیمی در استان خراسان جنوبی، از مدل لارس استفاده شده است تا با دقت بالایی روند این فراسنج‌ها در آینده پیش‌بینی شود؛ چرا که اگر این اطلاعات با مدیریتی صحیح همراه باشد، در پیشبرد بسیاری از برنامه‌های منطقه‌ای و محلی این استان می‌تواند حائز اهمیت باشد.

منطقه مورد بررسی

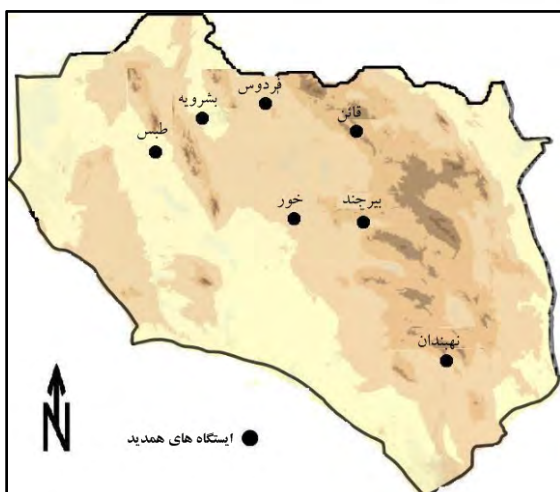
مساحت استان خراسان جنوبی، ۸۲۸۶۴ کیلومتر مربع است و بین ۵۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این استان از شمال به استان خراسان رضوی، از غرب به استان‌های یزد، اصفهان و سمنان، از جنوب با استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان و از شرق با افغانستان مرز مشترک دارد (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نخست، آمار روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش مربوط به هفت ایستگاه همدید استان خراسان جنوبی (ایستگاه‌های بیرجند، بشرویه، فردوس، قائن، خور، نهبندان و طبس)، از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد (شکل ۱ و جدول ۱). بررسی مقدماتی داده‌ها نشان داد که طول دوره آماری در ایستگاه‌ها، بین ۲۰ تا ۵۰ سال نوسان می‌کند. داده‌های ثبت شده در هر یک از هفت ایستگاه همدید مورد پژوهش، از نظر وجود مقادیر پرت و بدون آمار بررسی شدند. از آنجا که بازسازی داده‌های مفقود بر خروجی مورد نظر اثرگذار است، لذا در این مطالعه هیچ برآوردی در این گونه داده‌ها صورت نگرفته است.

جدول ۱. ویژگی‌های آماری ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه‌ها	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	طول جغرافیایی (درجه شرقی)	ارتفاع (متر)
بیرجند	۳۲/۵۲	۵۹/۱۲	۱۴۹۱
بشرویه	۳۳/۵۴	۵۷/۲۷	۸۸۵
فردوس	۳۴/۱۰	۵۸/۱۰	۱۲۹۳
قائن	۳۳/۴۷	۵۵/۰۵	۸۴۵
خور	۳۲/۵۶	۵۸/۲۶	۱۱۱۷/۰۴
نهبندان	۳۶/۱۶	۵۸/۴۸	۱۲۱۳
طبس	۳۳/۳۶	۵۶/۵۵	۷۱۱



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

در مرحله دوم، از مدل LARS-WG استفاده شده است که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید مقادیر تابش، بارش، دمای بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. در واقع این مدل، مقادیر روزانه سه عامل هواشناسی بارش، دما و تابش خورشید را برای دوره‌های طولانی، مدل‌سازی می‌کند. برای این کار، ابتدا پارامترهای مورد نیاز بر اساس تحلیل آماری داده‌های مشاهده شده وضع هوا در مکان مورد نظر، تعیین شد و سپس با استفاده از این پارامترها، همراه با یک مدل اعداد تصادفی (به بیان دقیق‌تر، شبه‌تصادفی)، اقدام به تولید داده‌های وضع هوا می‌شود. لازم به یادآوری است که در مدل لارس، مدل‌سازی بارش و احتمال وقوع آن از روش توزیع نیمه‌تجربی، زنجیره مارکف و مدل‌سازی تابش بر اساس توزیع نیمه‌تجربی و مدل‌سازی دما با استفاده از سری فوریه انجام می‌شود (سمنوف، بروکس، ریچاردسون، باروو، ۱۹۹۸: ۱۰۳؛ سمنوف و باروو، ۲۰۰۲: ۲۹). مقادیر کمینه و بیشینه دما و تابش خورشیدی در روزهای خشک و مرطوب، از توزیع‌های نیمه‌تجربی مجزا انتخاب می‌شوند و مقادیر خودهمبستگی و همبستگی متقاطع نیز محاسبه می‌شود (سمنوف و استراتونویچ، ۲۰۰۹: ۱۰). از مدل لارس می‌توان برای بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها در دوره گذشته یا تطویل این داده‌ها به دوره آینده و درنهایت، برای ارزیابی اقلیم آینده منطقه مورد بررسی در مقیاس محلی استفاده کرد (مشکواتی، کردجزی و بابائیان، ۱۳۸۹: ۸۲).

در این مطالعه، به منظور مدل‌سازی داده‌ها از دو مدل $IPCM^4$ و BCM^2 تحت سناریوی A1B برای هر یک از هفت ایستگاه هم‌دید استان خراسان جنوبی استفاده شده است. مدل $(IPCM^4 \text{ IPSL-CM}^4)$ یکی از مدل‌های جفت‌شده گردش عمومی جو - اقیانوس به‌شمار می‌رود که مؤسسه IPSL در فرانسه آنها را تهیه کرده است. مؤلفه جوی این مدل دارای تفکیک افقی ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی تا ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی بوده و ۱۹ لایه و مؤلفه اقیانوسی آن نیز، دارای تفکیک افقی ۲ درجه در ۲ درجه است. مدل BCM^2 نیز در مرکز تحقیقات اقلیمی دانشگاه برگن نروژ^۲ ابداع شد و به نام مدل اقلیمی برگن شهرت یافت. تفکیک اقیانوسی - جوی این مدل ۱/۵ در ۱/۵ درجه است (سمنوف، دوناتلی، استراتونویچ، چاتزیداکی و باروس، ۲۰۱۰: ۱۲). در پژوهش حاضر، سناریوی A1B توسط این دو مدل استفاده شده است. سناریوی A1B، زیرمجموعه سناریوی A1 است. این سناریو جهان را با رشد اقتصادی بسیار سریع و جمعیتی که در نیمه قرن به حداکثر می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد همراه با فناوری‌های کارآمدتر و جدیدتر در آینده توصیف می‌کند. موضوعات اصلی این سناریو عبارتند از: ظرفیت‌سازی زیربنایی و افزایش تعامل فرهنگی و اجتماعی با کاهش قابل توجه اختلافات منطقه‌ای در سرانه درآمد. این سناریو، تعادل در تمام منابع فسیلی و غیر فسیلی را مد نظر دارد (هاردی، ۲۰۰۸، به نقل از خزانه‌داری، کوهی، قندهاری، آسیایی، ۱۳۸۶: ۱۰۳).

پس از ورود داده‌ها به مدل لارس و با توجه به روند موجود در سری زمانی داده‌های مشاهده‌ای، اقدام به بازتولید داده‌های ایستگاه‌ها در همین دوره می‌شود. درنهایت با استفاده از آزمون‌های آماری و رسم نمودار، داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه می‌شوند تا توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در این ایستگاه‌ها ارزیابی شود. سپس برای ارزیابی خطا، از شاخص میانگین مربعات خطا (RMSE)^۳ استفاده خواهد شد (رابطه ۱).

1. Institute Pierre Simon Laplace (Version 4) and Bergen Climate Model (Version 2)

2. Berknes Centre for Climate Research (BCCR), University of Bergen, Norway

3. Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(obs - sim)^2}{N}} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱ obs مقادیر مشاهده‌ای^۱؛ sim مقادیر شبیه‌سازی‌شده^۲ مدل و N تعداد کل داده‌ها در هر مرحله از آزمون‌های واسنجی، صحت‌سنجی و شبیه‌سازی است. هرچه مقدار $RMSE$ به صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده نزدیکتر بودن مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده به یکدیگر است و به بیانی دیگر، حکایت از دقت بالای جواب‌ها دارد. پس از آن با توجه به کمترین اختلافی که بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر شبیه‌سازی‌شده در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ وجود داشت، مدل مورد نظر به‌منزله مدل اصلی برای شبیه‌سازی دوره آینده برگزیده شد. سپس برای شناسایی وجود یا نبود روند در فراسنج‌های اقلیمی و تعیین شیب روند داده‌ها، روش من‌کندال و سنس استیمیتور^۳ استفاده شد. همچنین ترسیم نمودارهای روند و تعیین نقاط جهش، به کمک روش من‌کندال رتبه‌ای انجام گرفت.

در روش سنس استیمیتور از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره گرفته می‌شود. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت کردن در مورد معنی‌داری شیب به‌دست‌آمده در سطوح اطمینان مختلف استوار است (رسولی، ساری صراف و محمدی، ۱۳۸۹). محاسبه شیب بین هر دو جفت از سری زمانی و حدود اطمینان بالا و پایین (Q_{Min} و Q_{Max}) از رابطه‌های ۲ و ۳ به‌دست می‌آید.

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad \text{for } i = 1, \dots, N \quad \text{رابطه ۲}$$

$$Q_{min} = \frac{(N' - C\alpha)}{2} \quad \text{و} \quad Q_{max} = \frac{(N' + C\alpha)}{2} \quad \text{رابطه ۳}$$

میانه ارزش‌های N که از Q_i به دست می‌آید، شیب سنس استیمیتور است؛ چنانچه ارزش Q_i مثبت باشد، روند صعودی بوده و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی است. N تعداد شیب‌های محاسبه‌شده در رابطه ۲ است.

تحلیل روند از جمله روش‌های آماری است که به‌طور گسترده برای ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم روی سری‌های زمانی، مانند سری‌های مشاهداتی دما، بارش و ... در نقاط مختلف جهان استفاده شده است. گفتنی است که اثبات وجود روند معنادار در یک سری زمانی، نمی‌تواند به‌تنهایی دلیلی قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد، بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌کند (قره‌خانی و قهرمان، ۱۳۸۹). این ویژگی ناشی از متعدد بودن عوامل کنترل‌کننده سامانه اقلیم است. روش من‌کندال یکی از روش‌های تحلیل روند سری‌های زمانی است که تغییرات داده‌ها را شناسایی کرده و نوع و زمان آنها را مشخص می‌کند. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شود و نیز، کاربرد این روش برای سری‌هایی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، از مزایای این روش به‌شمار می‌رود. فرض صفر این آزمون، بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک آزمون (رد فرض صفر)، دال بر وجود روند در سری داده‌ها است (قره‌خانی و قهرمان، ۱۳۸۹). در اینجا برای انجام آزمون روند فراسنج مورد نظر (برای نمونه دما)، فرض می‌کنیم دما تابعی خطی از زمان است. بنابراین مدل تغییرات به‌صورت رابطه ۴ خواهد بود.

1. Observed
2. Simulation
3. Mann-Kendall and Sin's Estimator

$$\text{رابطه ۴)} \quad \text{Temperature} = \alpha + Q \text{ Tim}$$

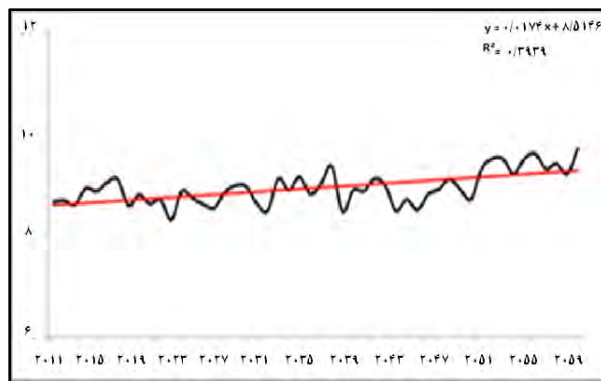
روشن است که در روش من‌کندال و سنس، یک مقدار مثبت برای Q افزایش دما با زمان را نشان می‌دهد و یک مقدار منفی برای Q نشانگر کاهش دما با زمان است. برای $Q=0$ فرض وجود روند تأیید نمی‌شود، اما از آنجا که مقدار Q نامعلوم است، یک برآورد از Q با اطمینان ۹۵ درصد از رابطه ۵ به دست می‌آید (باتاچاریا و جانسون، ۱۹۷۷: ۴۲۰).

$$\text{رابطه ۵)} \quad Q = \frac{x_{i'} - x_i}{i' - i}$$

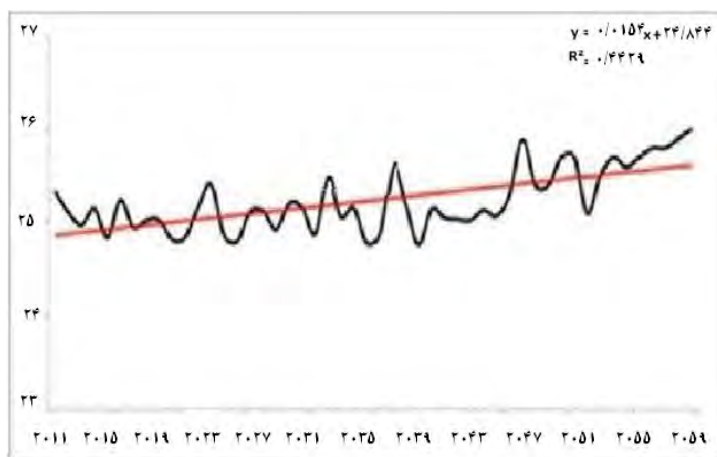
اگر حد بالا و پایین Q که در دو سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ به دست می‌آید هر دو مثبت باشند، فرض وجود روند افزایشی در دما رد نمی‌شود. اگر حد بالا و پایین Q هر دو منفی باشند، فرض وجود روند کاهشی در دما ثابت می‌شود و اگر حد بالا و پایین مختلف‌العلامه باشند، فرض وجود روند تأیید نمی‌شود (مسعودیان، ۱۳۸۳)، اما در روش رتبه‌ای من‌کندال، اگر نقاط U و U در حالت معناداری روند، خارج از محدوده $+1/96$ یکدیگر را قطع کنند و در خلاف جهت هم حرکت کنند، به آن جهش می‌گویند و اگر روند وجود نداشته باشد، این دو دنباله به صورت موازی خواهند بود. در مواقعی که $-1/96 < U < +1/96$ باشد، سری تصادفی بوده و دارای روند خاصی نیست؛ در حالیکه $U < +1/96$ نشان‌دهنده روند مثبت و $U > +1/96$ نشان‌دهنده روند منفی است.

یافته‌های پژوهش

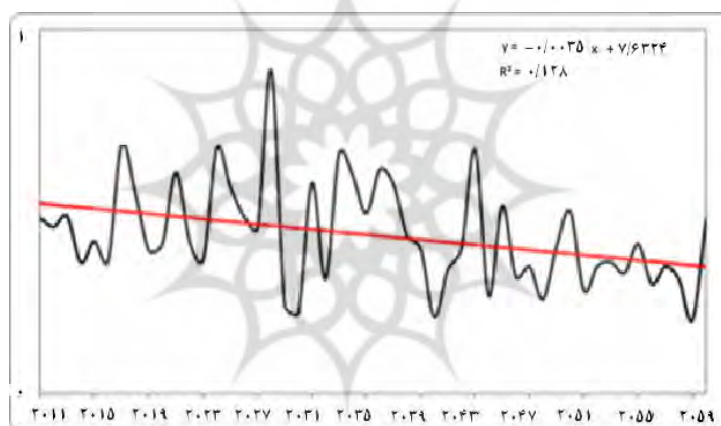
نتایج اولیه نشان داد که مدل BCM۲-A۱B در شهرهای بیرجند، بشرویه، فردوس، خور، نهبندان، طبس و مدل IPCM۴-A۱B در قائن، دارای کمترین اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده است. پس از انتخاب مدل اصلی برای هر ایستگاه، مقادیر دما، بارش، تابش و تبخیر و تعرق برای سال‌های ۲۰۶۰-۲۰۱۱ شبیه‌سازی شد که شکل‌های ۲ تا ۶ این مدل‌سازی را برای شهر بیرجند نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش و تبخیر و تعرق ایستگاه بیرجند طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۱ به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۰۹، ۰/۴۴، ۰/۰۵ و ۰/۱۳ افزایش داشته و بارش در این دوره به میزان ۰/۱۲ کاهش خواهد داشت.



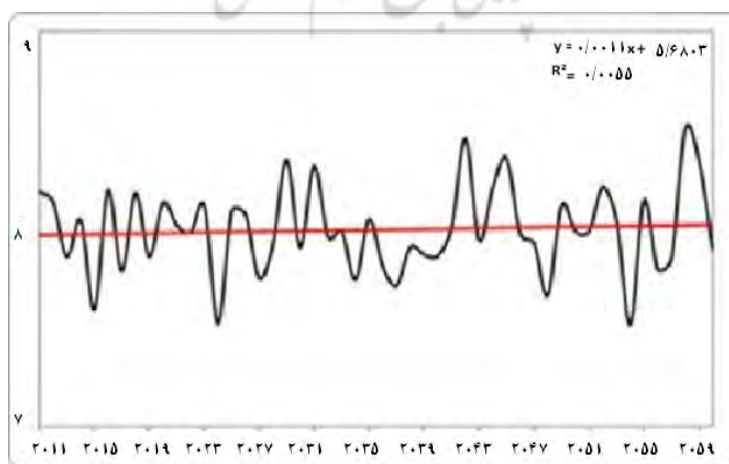
شکل ۲. مدل‌سازی دمای کمینه بیرجند (برحسب درجه سانتی‌گراد) در دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۱ با مدل BCM۲-A۱B



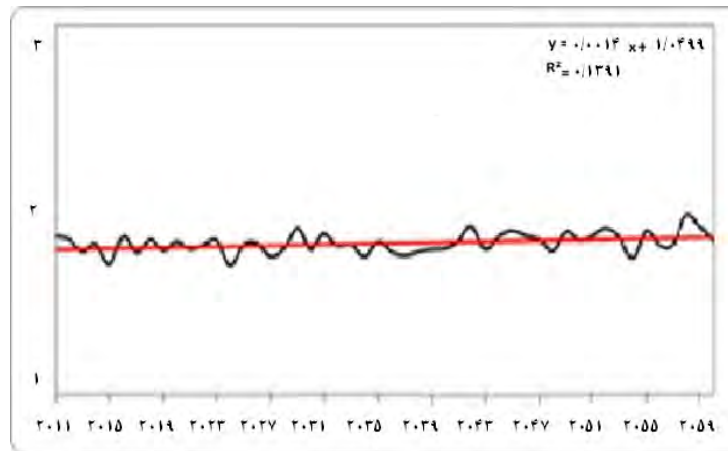
شکل ۳. مدل سازی دمای بیشینه بیرجند (برحسب درجه سانتی گراد) در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ با مدل A1B BCM2



شکل ۴. مدل سازی بارش بیرجند (برحسب درجه سانتی گراد) در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ با مدل A1B BCM2

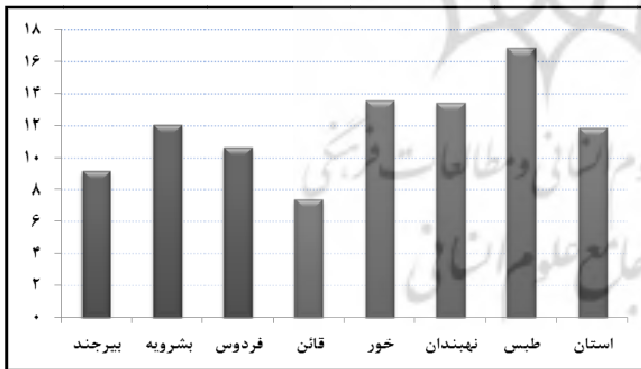


شکل ۵. مدل سازی ساعات آفتابی بیرجند در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ با مدل A1B BCM2



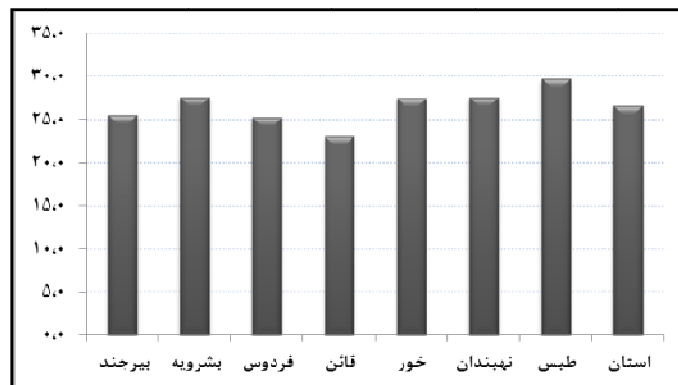
شکل ۶. مدل‌سازی تبخیر و تعرق بیرجند (بر حسب میلی‌متر) در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ با مدل BCM۲ A)B

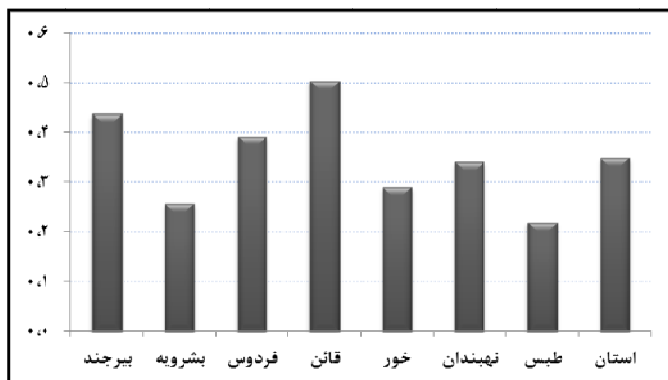
طبق شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته توسط مدل لارس برای پنجاه سال آینده، میانگین کمینه دما در بین ایستگاه‌های همدید استان از ۷/۵ درجه در قائن تا ۱۷ درجه در طبس نوسان خواهد داشت. همچنین میانگین بیشینه دما از ۲۳ درجه در قائن تا ۳۰ درجه در طبس متغیر خواهد بود. میانگین کمینه دما در استان خراسان جنوبی ۱۲ درجه و میانگین بیشینه دما در استان خراسان جنوبی ۲۶/۶ خواهد بود (شکل‌های ۷ و ۸). واضح است که شهرهای قائن و بیرجند با توجه به میانگین دمای کمتری که دارند، نسبت به شهرهای دیگر بارش بیشتری خواهند داشت (شکل ۹).



شکل ۷. میانگین کمینه دما بر حسب درجه سانتی‌گراد در ایستگاه‌های همدید استان خراسان جنوبی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰

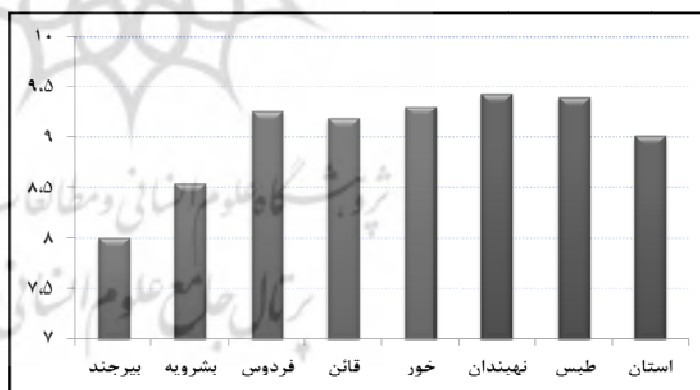
شکل ۸. میانگین بیشینه دما بر حسب درجه سانتی‌گراد در ایستگاه‌های همدید استان خراسان جنوبی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰



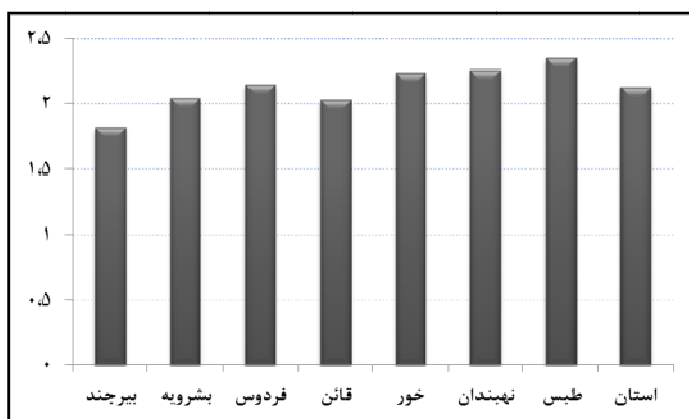


شکل ۹. میانگین بارش بر حسب میلی‌متر در ایستگاه‌های همدید استان خراسان جنوبی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۲۰

از نظر میانگین تابش، شهرهای طبس، نهبندان و خور دارای بیشترین تابش بوده و بیرجند کمترین تابش را دریافت می‌کند، طبس بیشترین میزان تبخیر و تعرق را داشته و بیرجند، دارای کمترین میزان تبخیر و تعرق خواهد بود (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که این استان نیز همانند دیگر مناطق جهان از عواقب گرمایش جهانی به دور نخواهد ماند. گرمایش جهانی از یک‌سو معلول افزایش دما و کاهش بارش بوده و از سوی دیگر، یکی از دلایل تبخیر و تعرق است. درنهایت به‌دلیل افزایش دما و گرمایش ایجاد شده، بیشتر بارش‌ها به‌صورت مایع خواهد بود و در مناطق کوهستانی و مرتفع نیز برف‌ها زودتر از موعد ذوب خواهند شد، بنابراین احتمال افزایش سیلاب و کاهش یخبندان به‌وجود خواهد آمد که نتیجه این امر، کاهش پوشش گیاهی، کاهش رطوبت خاک و درنهایت توانایی بالقوه منطقه برای فرسایش را به همراه خواهد داشت.



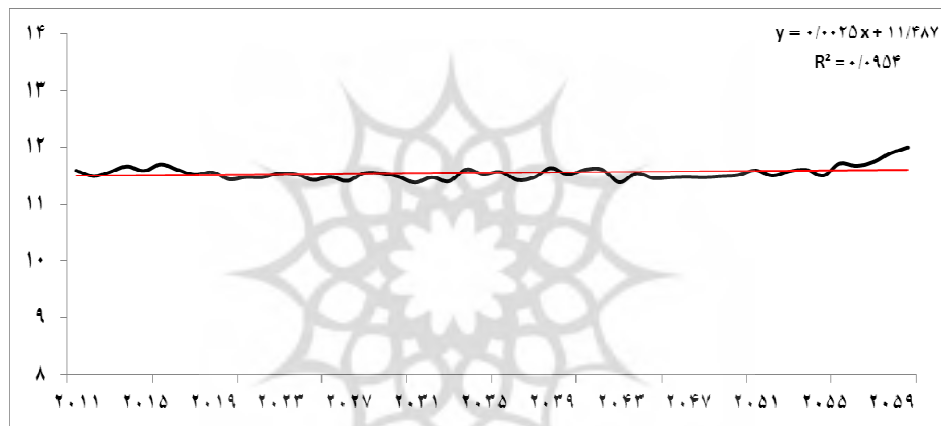
شکل ۱۰. میانگین ساعات آفتابی ایستگاه‌های همدید استان خراسان جنوبی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۲۰



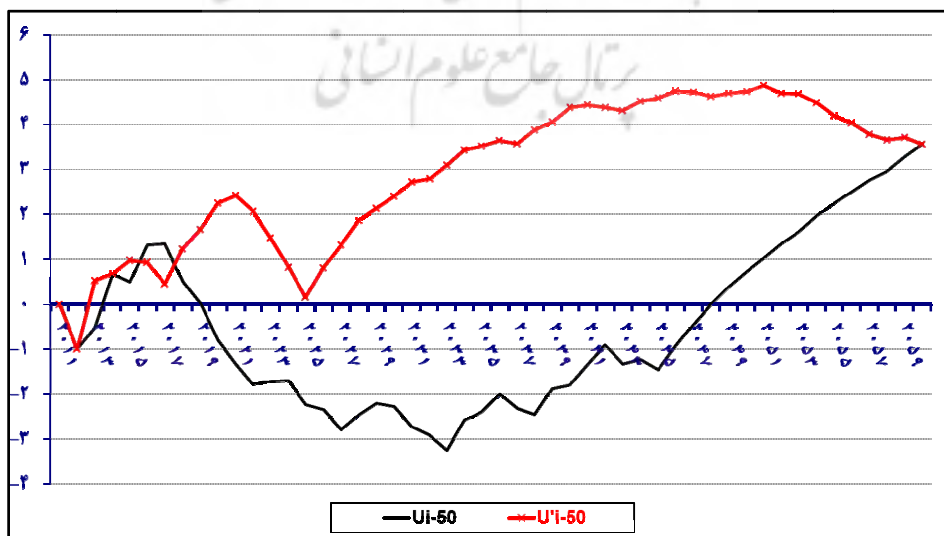
شکل ۱۱. میانگین تبخیر و تعرق بر حسب میلی‌متر در ایستگاه‌های همدید استان خراسان جنوبی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۲۰

تحلیل روند تغییر اقلیم

توزیع سالانه دمای کمینه شبیه‌سازی شده طی سال‌های ۲۰۶۰-۲۰۱۱، نشان می‌دهد که دمای کمینه در استان خراسان جنوبی به میزان ۰/۰۲ در سال با ضریب تعیین ۰/۰۹ در حال افزایش است و کمینه دما طی پنج دهه آینده، بین ۱۱/۴ تا ۱۲/۹ درجه متغیر خواهد بود (شکل ۱۲). تعیین نقاط جهش پنجاه‌ساله میانگین دمای کمینه استان خراسان جنوبی به روش رتبه‌ای من‌کنندال، نشان می‌دهد که در سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۱ چندین تغییر جهت در دمای کمینه وجود خواهد داشت و یک جهش معنی‌دار با حاکمیت روند مثبت در سال ۲۰۱۸ دیده می‌شود (شکل ۱۳). همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، به دلیل اینکه حد بالا و پایین کران اطمینان هر دو مثبت هستند، فرض وجود روند افزایشی در دما رد نمی‌شود و در تمام استان، روند افزایشی دمای کمینه در سطح ۹۹ درصد وجود دارد.



شکل ۱۲. توزیع سالانه دمای کمینه شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان خراسان جنوبی



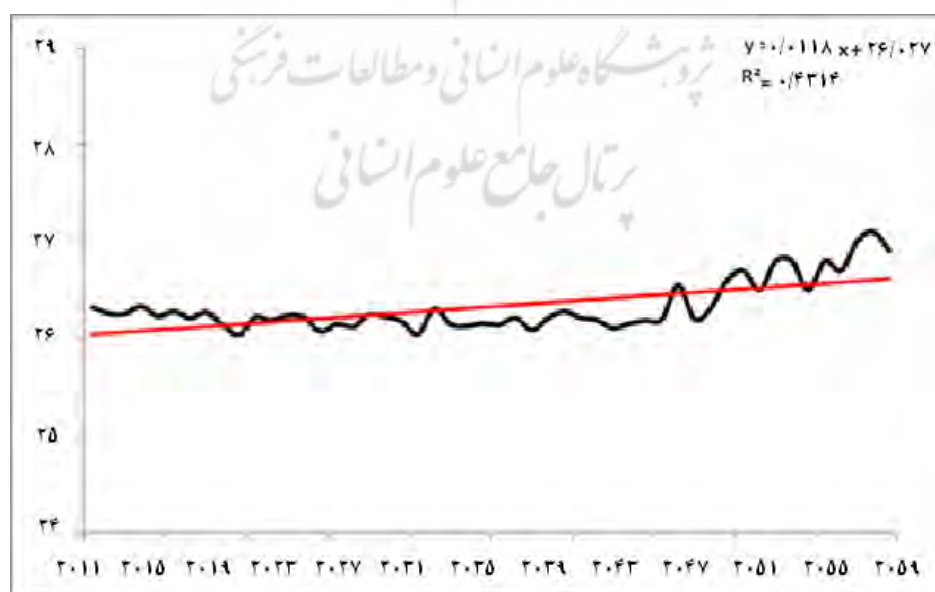
شکل ۱۳. نقاط جهش پنجاه‌ساله میانگین دمای کمینه استان خراسان جنوبی به روش رتبه‌ای من‌کنندال

جدول ۲. مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند دمای کمینه استان خراسان جنوبی در ۲۰۶۰-۲۰۱۱

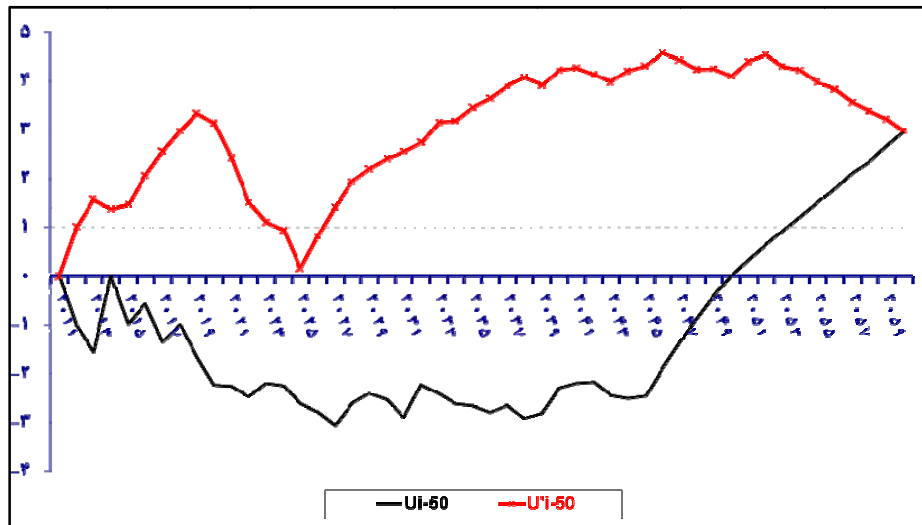
نام ایستگاه	آزمون Z	سطح معناداری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۵ درصد
بیرجند	۴/۸۰	***	۰/۰۳۰	۰/۰۱۶	۰/۰۴۱	۰/۰۲۰	۰/۰۳۹
بشرویه	۳/۴۷	***	۰/۰۲۲	۰/۰۰۶	۰/۰۳۴	۰/۰۱۰	۰/۰۳۱
فردوس	۴/۶۵	***	۰/۰۲۴	۰/۰۱۱	۰/۰۳۵	۰/۰۱۴	۰/۰۳۲
قائن	۳/۷۸	***	۰/۰۳۲	۰/۰۱۰	۰/۰۴۶	۰/۰۱۶	۰/۰۴۳
خور	۳/۳۷	***	۰/۰۲۳	۰/۰۰۶	۰/۰۳۴	۰/۰۱۰	۰/۰۳۲
نهبندان	۴/۳۸	***	۰/۰۲۵	۰/۰۱۲	۰/۰۳۷	۰/۰۱۶	۰/۰۳۵
طبس	۳/۹۸	***	۰/۰۲۵	۰/۰۰۹	۰/۰۳۷	۰/۰۱۳	۰/۰۳۴

*** معناداری روند در سطح ۰/۹۹

دمای بیشینه استان خراسان جنوبی در سال‌های ۲۰۶۰-۲۰۱۱، به میزان ۰/۰۱ در سال با ضریب تعیین ۰/۴۳ در حال افزایش است و بیشینه دما در این مدت بین ۲۶ تا ۲۷/۷ درجه تغییر خواهد کرد (شکل ۱۴). از سال ۲۰۱۱ حاکمیت روند افزایشی مشاهده می‌شود (شکل ۱۵). به دلیل اینکه حد بالا و پایین کران اطمینان هر دو مثبت هستند، فرض وجود روند افزایشی در دمای بیشینه رد نمی‌شود و ایستگاه‌های بیرجند، بشرویه، فردوس، قائن، خور و طبس، در سطح ۹۹ درصد و ایستگاه نهبندان در سطح ۹۵ درصد دارای روند افزایشی ضعیف است (جدول ۳).



شکل ۱۴. توزیع سالانه دمای بیشینه شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان خراسان جنوبی



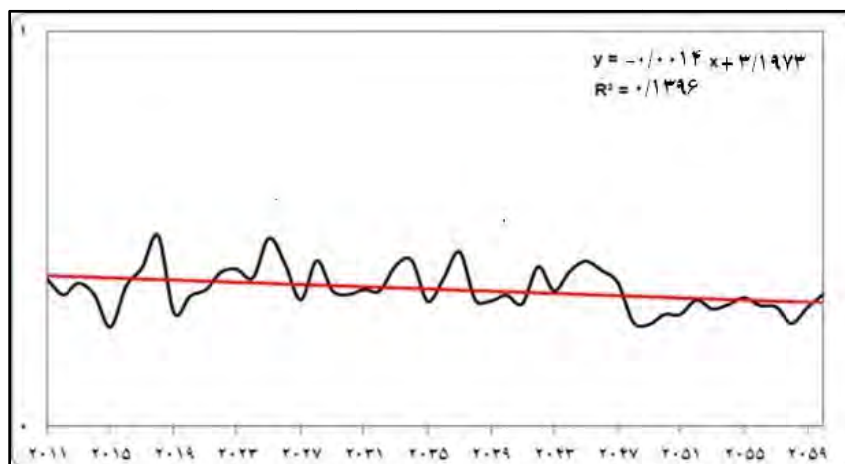
شکل ۱۵. نقاط جهش پنجاه‌ساله میانگین دمای بیشینه استان خراسان جنوبی به روش رتبه‌ای من‌کندال

جدول ۳. تعیین مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند بیشینه دمای استان خراسان جنوبی

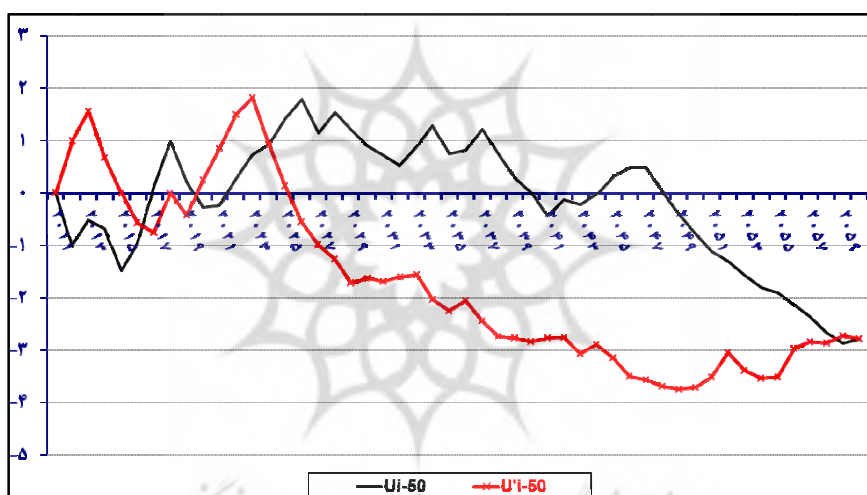
نام ایستگاه	آزمون Z	سطح معناداری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۵ درصد
بیرجند	۴/۳۴	***	۰/۰۳۲	-۰/۰۱۰	-۰/۰۴۴	۰/۰۱۴	۰/۰۴۲
بشرویہ	۳/۶۶	***	۰/۰۲۵	-۰/۰۰۶	-۰/۰۴۰	۰/۰۱۰	۰/۰۳۶
فردوس	۳/۶۶	***	۰/۰۲۶	-۰/۰۰۶	-۰/۰۴۰	۰/۰۱۱	۰/۰۳۶
قائن	۴/۰۹	***	۰/۰۳۳	-۰/۰۱۲	-۰/۰۴۷	۰/۰۱۹	۰/۰۴۴
خور	۴/۳۰	***	۰/۰۲۸	-۰/۰۱۲	-۰/۰۴۳	۰/۰۱۷	۰/۰۴۰
نهبندان	۲/۴۱	*	۰/۰۲۲	-۰/۰۰۱	-۰/۰۳۷	۰/۰۰۴	۰/۰۳۳
طبس	۴/۲۹	***	۰/۰۳۱	-۰/۰۱۱	-۰/۰۴۵	۰/۰۱۶	۰/۰۴۱

*** معناداری روند در سطح ۰/۹۹ و * روند ضعیف در سطح ۰/۹۵.

طبق مدل‌سازی، بارش طی پنجاه سال آینده ۰/۰۰۱ در هر سال با ضریب تعیین ۰/۱۳ کاهش خواهد یافت و کمترین میزان بارش در دهه پنجاه خواهد بود (شکل ۱۶). در نمودار بارش سالانه استان، یک جهش معنی‌دار با حاکمیت روند منفی در سال ۲۰۲۳ دیده می‌شود (شکل ۱۷). مدل‌سازی بارش استان خراسان جنوبی حاکی از آن است که بارش در شهرهای بیرجند و طبس در سطح ۹۵ درصد و در ایستگاه بشرویہ در سطح ۹۵ دارای روند کاهشی ضعیف است و در ایستگاه قائن نیز روند افزایشی ضعیف مشاهده می‌شود. همچنین بقیه ایستگاه‌ها از روند کاهشی پیروی می‌کنند (جدول ۴).



شکل ۱۶. توزیع سالانه بارش شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان خراسان جنوبی



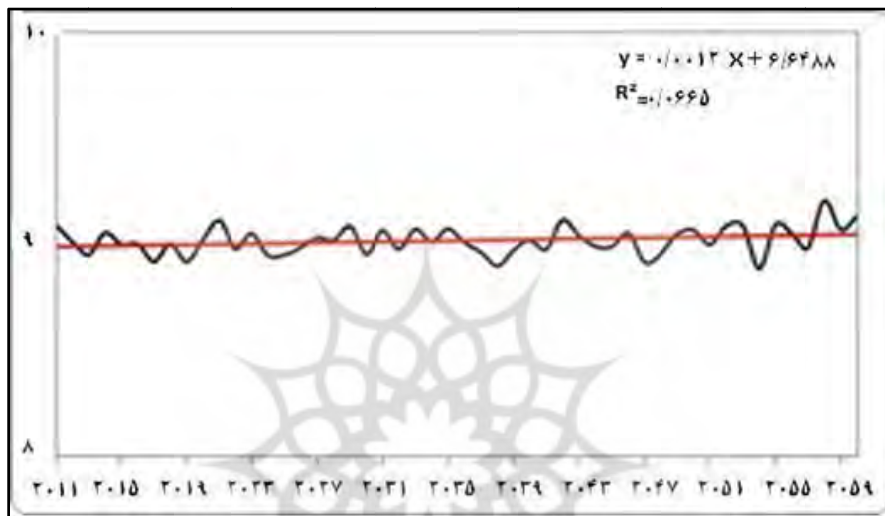
شکل ۱۷. نقاط جهش پنجاه‌ساله میانگین بارش استان خراسان جنوبی به روش رتبه‌ای من‌کنندال

جدول ۴. تعیین مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند بارش استان خراسان جنوبی

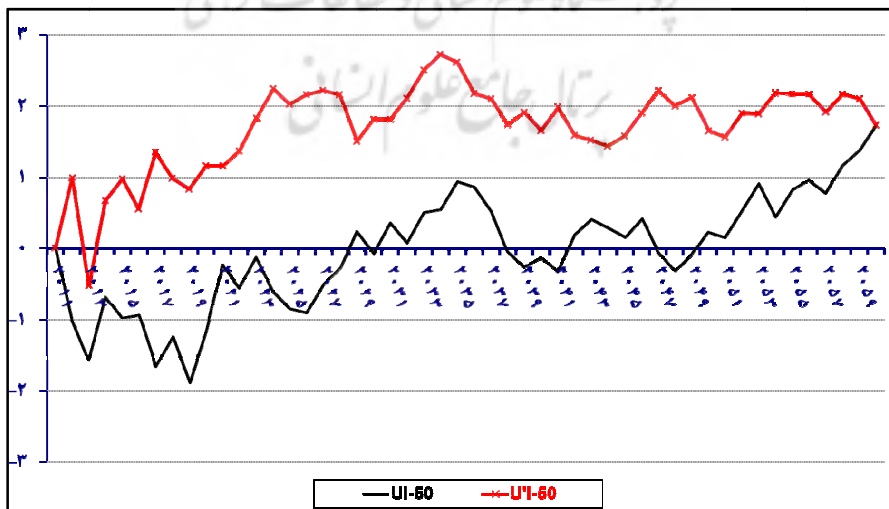
نام ایستگاه	آزمون Z	سطح معناداری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۵ درصد
بیرجند	-۲/۶۶	**	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۶
بشرویه	-۲/۰۹	*	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۴
فردوس	-۱/۲۴		-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵
قائن	۱/۷۱	+	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۰
خور	-۱/۶۴		-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۵
نهبندان	-۰/۹۸		-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۴
طبس	-۲/۸۰	**	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳

** معنی‌داری روند در سطح ۹۵ درصد؛ * روند ضعیف در سطح ۹۵ درصد؛ + روند ضعیف

وضعیت تابش نشان‌دهنده آن است که طی دهه‌های آتی، تابش ۰/۰۰۱۲ در هر سال با ضریب تعیین ۰/۰۶ درصد افزایش خواهد یافت (شکل ۱۸). تابش در استان خراسان جنوبی از سال ۲۰۱۱ به بعد با حاکمیت روند مثبت دیده می‌شود (شکل ۱۹). تابش در تمام شهرها بجز فردوس و قائن افزایش خواهد یافت و این افزایش در شهر طبس بیشتر از بقیه شهرهای استان خواهد بود (جدول ۵).



شکل ۱۸. توزیع سالانه تابش شبیه‌سازی‌شده طی پنجاه سال آینده در استان خراسان جنوبی



شکل ۱۹. نقاط جهش پنجاه‌ساله میانگین تابش استان خراسان جنوبی به روش رتبه‌ای من کندال

جدول ۵. تعیین مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند تابش استان خراسان جنوبی

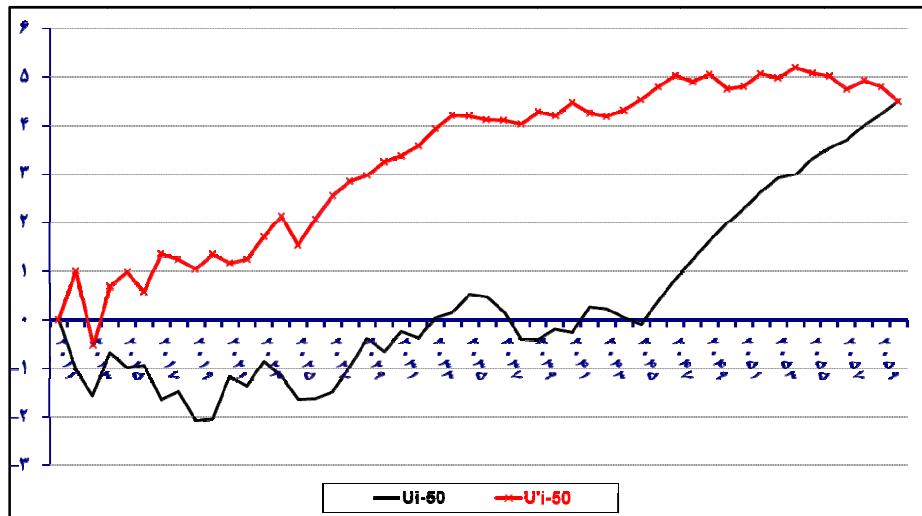
نام ایستگاه	آزمون Z	سطح معناداری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۵ درصد
بیرجند	۰/۱۲		۰/۰۰۰	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۷	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
بشرویه	۱/۲۷		۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
فردوس	-۰/۳۰		۰/۰۰۰	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
قائن	-۰/۱۵		۰/۰۰۰	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
خور	۰/۹۷		۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
نهبندان	۰/۶۷		۰/۰۰۲	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۵
طیس	۲/۰۵	*	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶

* روند ضعیف در سطح ۰/۹۵

نمودار تبخیر و تعرق حاکی از افزایش ۰/۰۰۰۱ در سال است که دارای ضریب تعیین ۰/۴۸ خواهد بود (شکل ۲۰). نقاط جهش پنجاه‌ساله میانگین تبخیر و تعرق استان خراسان جنوبی به روش رتبه‌ای من‌کندال، حاکی از روند افزایشی است (شکل ۲۱). همچنین تبخیر و تعرق در شهرهای بشرویه، قائن، خور و طیس، در سطح ۹۹ درصد و در شهرهای بیرجند، فردوس و نهبندان در سطح ۹۵ درصد دارای روند افزایشی خواهد بود (جدول ۶).



شکل ۲۰. توزیع سالانه تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان خراسان جنوبی



شکل ۲۱. نقاط جهش پنجاه‌ساله میانگین تبخیر و تعرق استان خراسان جنوبی به روش رتبه‌ای من‌کنندال

جدول ۶. تعیین مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند تبخیر و تعرق استان خراسان جنوبی

نام ایستگاه	آزمون Z	سطح معناداری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹ درصد	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵ درصد	کران اطمینان بالا در سطح ۹۵ درصد
بیرجند	۲/۲۸	*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
بشرویه	۳/۷۵	***	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
فردوس	۲/۴۳	*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
قائن	۴/۱۷	***	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
خور	۳/۷۱	***	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
نهندان	۲/۸۴	**	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
طیس	۳/۶۸	***	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰

*** معنادار، روند در سطح ۰/۹۹، ** معنادار، روند در سطح ۰/۹۵ و * روند ضعیف در سطح ۰/۹۵.

بحث و نتیجه‌گیری

اقلیم و تغییرات آن نقش مهمی در تمام ابعاد زندگی انسان ایفا می‌کند. تغییرات اقلیم در ۱۵۰ سال گذشته و به‌ویژه در دهه‌های اخیر، به یکی از دغدغه‌های انسان تبدیل شده است. به همین منظور در این نوشتار به بررسی تغییر اقلیم استان خراسان جنوبی طی چند دهه آینده پرداخته شده است. ابتدا با توجه به داده‌های روزانه موجود در هر یک از ایستگاه‌ها، آمار ۱۰ سال استان در مرحله صحت‌سنجی واکاوی شده است. با توجه به نتایج ارزیابی خطای مقادیر تولیدشده و مشاهده‌شده از بین دو مدل اجرایی در سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، مدل پایه که دارای کمترین خطای مقادیر بود، مدل اصلی برای شبیه‌سازی داده‌ها در دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۱ برگزیده شد. در اکثر پژوهش‌ها از جمله بذرافشان و همکاران (۱۳۸۸)، خلیلی‌اقدم و همکاران

(۱۳۹۱)، آبابایی، میرزائی و سهرابی (۱۳۹۰) و مشکواتی و همکاران (۱۳۸۹)، از مزیت مدل لارس در مقایسه با دیگر مدل‌ها و همچنین از توانایی این مدل و دقت بالای آن در شبیه‌سازی فراسنج‌های اقلیمی نام برده شده است. نتایج اولیه پژوهش حاضر نیز نشان داد که مدل BCM2-A1B در شهرهای بیرجند، بشرویه، فردوس، خور، نهبندان و طبس و مدل IPCM4-A1B در قائن، دارای کمترین اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده است. با کسب اطمینان از کارایی مدل در تولید داده‌های مربوط به فراسنج‌های اقلیمی مورد نظر، مدل پایه برای هر ایستگاه هم‌دید انتخاب شد و سپس از مقادیر دما، بارش، تابش و تبخیر و تعرق برای سال‌های ۲۰۶۰-۲۰۱۱ مدل‌سازی به عمل آمد. طبق شبیه‌سازی‌های مدل لارس طی پنجاه سال آینده، در شهرهای قائن و بیرجند نسبت به بقیه شهرها، دمای کمینه و بیشینه افزایش کمتری خواهند داشت. چنین به نظر می‌رسد که تغییر نه‌چندان شدید فراسنج‌ها در این دو ایستگاه، به دلیل موقعیت ویژه جغرافیایی و قرارگیری این دو در ارتفاع بالاتر و ویژگی‌های توپوگرافی خاص منطقه است که باعث می‌شود آثار منطقه‌ای، نقش تغییر اقلیم جهانی را در این ایستگاه‌ها کم‌رنگ‌تر جلوه دهند. همچنین بیرجند در مقایسه با سایر شهرها دارای کمترین میزان تبخیر و تعرق بوده و طبس از بیشترین میزان افزایش دما و بالطبع کمترین میزان بارش برخوردار خواهد بود. قائن نیز بارش زیادی را شاهد نخواهد بود، اما نسبت به بقیه ایستگاه‌ها روند افزایشی بسیار ضعیفی را در پی خواهد داشت.

همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها در مکنز، سنس‌استیمیتور و من‌کندال، نشان داد که دمای کمینه، دمای بیشینه و تبخیر و تعرق در کلیه ایستگاه‌های استان خراسان جنوبی طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۶۰ دارای روند افزایشی است و بجز قائن که افزایش بسیار جزئی بارش را خواهد داشت، بقیه شهرها روند کاهشی بارش را شاهد خواهند بود. از سویی دیگر، بجز قائن و فردوس که روند کاهش تابش در آنها بسیار جزئی خواهد بود، در بقیه ایستگاه‌ها روند تابش افزایشی خواهد شد که باز هم نقش توپوگرافی این ایستگاه‌ها سهم مهمی در تغییرات فراسنج‌های اقلیمی آنها خواهد داشت. نتایج این پژوهش با دستاوردهای برخی از محققان همخوانی دارد. برای نمونه، پژوهش هارمسن و همکاران (۲۰۰۹) در زمینه کاهش بارش، افزایش دما و تبخیر و تعرق در پورتریکو؛ مطالعه ایران‌منش، جلال‌کمالی و یوسفی (۱۳۹۰) در مورد افزایش مؤلفه‌های دمایی کرمان؛ مطالعه عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در خراسان جنوبی؛ مطالعه مساح‌بوانی و مریدی (۱۳۸۴) در مورد کاهش بارش و افزایش دما در حوضه زاینده‌رود در دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰؛ مطالعه خسروانینان و همکاران (۱۳۸۹) در زمینه افزایش مؤلفه‌های دمایی حوضه قره‌سو؛ مطالعه بابائیان، نجفی‌نیک، عباسی، حبیبی نوخندان، ادب و ملبوسی مربوط به افزایش مؤلفه‌های دما و کاهش بارش در ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور در سال ۱۳۸۸ و افزایش مؤلفه‌های دمایی خلیلی‌اقدام و همکاران در سال ۱۳۹۱ با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. همچنین توانایی لارس در تولید داده‌های بارندگی و تابش در کار بذرافشان و همکارانش در سال ۱۳۸۸ نشان داده شده است.

منابع

- آبابایی، ب؛ میرزائی، ف. و سهرابی، ت. (۱۳۹۰). ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران، مجله پژوهش آب ایران، دوره ۵، شماره ۹، ص. ۲۲۲-۲۱۷.
- ایران‌منش، ر.؛ جلال‌کمالی، ن.؛ جلال‌کمالی، ا. و یوسفی، م. (۱۳۹۰). پیش‌بینی تأثیر تغییرات اقلیمی بر دمای حداکثر و حداقل در

- ایستگاه کرمان در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG و خروجی مدل‌های CSMK3 و BCM2.0، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان، اسفندماه ۱۳۹۰.
- بابائیان، ا؛ کوآن، وی و ایم، س. (۱۳۸۳)، کاربرد تکنیک‌های آب و هوایی به منظور ارزیابی تغییر اقلیم کره، مؤسسه تحقیقات اقلیمی کره، آزمایشگاه تحقیقات اقلیمی.
- بابائیان، ا. و نجفی‌نیک، ز. (۱۳۸۵)، معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۲۰۳۰-۱۹۶۱، مجله نیوار، شماره ۶۳-۶۲، ص. ۳۰-۲۴.
- بابائیان، ا؛ نجفی‌نیک، ز؛ زابل عباسی، ف؛ حبیبی نوخندان، م؛ ادب، ح. و ملبوسی، ش. (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص. ۱۵۲-۱۳۵.
- بذرافشان، ج؛ خلیلی، ع؛ هورفر، ع؛ ترابی، ص. و حجام، س. (۱۳۸۸)، بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل (LARS-WG و ClimGen) در شبیه‌سازی فراسنج‌های هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۵، شماره ۱، ص. ۴۴-۵۷.
- خسروانیان، ج؛ اونق، م. و گودرزی، م. (۱۳۹۱)، ارزیابی تغییر اقلیم حوضه آبخیز قره‌سو با استفاده از داده‌های سناریو AIB مدل HADCM3 دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران.
- خلیلی اقدم، ن؛ مساعدی، ا؛ سلطانی، ا. و کامکار، ب. (۱۳۹۱)، ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سندانج، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۱۹، شماره ۴، ص. ۸۵-۱۰۳.
- خورانی، ا. و منجد مروتستی، ش. (۱۳۹۳)، بررسی آثار تغییر اقلیم بر میزان بازدید از جزیره هنگام، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۶، شماره ۱، ص. ۱۰۹-۱۲۲.
- رسولی، ع؛ ساری‌صراف، ب. و محمدی، غ. (۱۳۸۹)، تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گردوغبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری، فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۳، شماره ۹، ص. ۱۶-۲۸.
- طاووسی، ت؛ خسروی، م. و زهرایی، ا. (۱۳۹۱)، پیش‌بینی تغییرات یخبندان شهر زابل بر پایه شبیه‌سازی مدل گردش عمومی جو، مجله مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره ۲، ص. ۲۹-۴۸.
- ظهرابی، ن؛ مساح‌بوانی، ع؛ تلوری، ع. و صدقی، ح. (۱۳۸۹)، آشکارسازی تغییر اقلیم در حوضه بریز کارون بزرگ، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، ص. ۲۹-۲۱.
- عباسی، ف؛ ملبوسی، ش؛ بابائیان، ا؛ اثمیری، م. و برهانی، ر. (۱۳۸۸)، پیش‌بینی تغییر اقلیم در جنوب خراسان در ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های GCM (ECHO-G)، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۲۴، شماره ۲، ص. ۲۳۳-۲۱۸.
- عساکره، ح. (۱۳۸۶)، تغییر اقلیم، چاپ اول، زنجان، انتشارات دانشگاه زنجان.
- علیزاده، ا؛ سیاری، ن؛ حسامی کرمانی، م؛ بنایان اول، م. و فریدحسینی، ع. (۱۳۸۹)، بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود)، نشریه آب و خاک، دوره ۲۴، شماره ۴، ص. ۸۱۵-۸۳۵.
- قره‌خانی، ا. و قهرمان، ن. (۱۳۸۹)، بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه رطوبت نسبی و نقطه شبنم در چند نمونه اقلیمی در ایران، نشریه آب و خاک، دوره ۲۴، شماره ۴، ص. ۶۶۶-۶۳۶.
- محمدنژاد، ش. و شرفی، س. م. (۱۳۸۳)، تغییرات آب و هوا، تهران، انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران.
- مساح‌بوانی، ع. و مریدی، س. (۱۳۸۴)، اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۹، شماره ۴، ص. ۱۷-۲۸.
- مسعودیان، س. ا. (۱۳۸۳)، بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۲، شماره ۳، ص. ۸۹-۱۰۶.

- مشکواتی، ا.؛ کردجزی، م. و بابائیان، ا. (۱۳۸۹). بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه سازی داده های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۶، شماره ۱۹، ص. ۸۱-۹۶.
- হারدی، جی. تی. (۱۳۸۷). تغییر اقلیم علل، اثرات و راه‌حل‌ها، ترجمه لیلی خزانهداری، منصوره کوهی، شهرزاد قندهاری و مهدی آسیائی، تهران، انتشارات پاپلی.
- Ababae, B., Mirzaee., F. and Sohrabi, T., 2009, **Estimate LARS-WG Model in 12 coast weather Station**, Iran Water Research Journal, Vol. 5, No.9, PP. 217-222.
- Abbasi, F., Malbosi, SH., Babaeian, I., Asmari, M. and Borhani, R., 2007, **Climate Change Forecast in KHORASAN southern in 2010-2039 by GCM Data downscaling (ECHO-G)**, Journal of Geography and Development, Vol. 24, No .2, PP. 218-233.
- Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami Kermani, MR., Banayan Aval, M. and Farid Hosseini, A., 2008, **Climate Change Effects Survey in Agriculture Water Source (Sample Study: Kashafrud River)**, Journal of Water and Soil, Vol. 24, No. 4, PP. 815-835.
- Asakereh, H., 2005, **Climate Change**, One Edition, University of Zanjan, Zanjan.
- Babaeian, I. and Najafinik, Z., 2004, **Presentation and Estimate LARS-WG Model toward Weather Parameters Modelling in Khorasan Jonubi State in 1961-2003**, Nivare Journal, No. 62-63, PP. 24-30.
- 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.
- Babaeian, I., Najafinik, Z., Zabolabbasi, F., Habibi Nokhandan, M., Adab, H. and Malboosi, Sh., 2007, **Assessment of Climate Change in the Period 2010-2039 with Use General Circulation Model ECHO-G Data**, Journal of Geography and Development, No. 16, PP. 135-152.
- Bazrafshan, J., Khalili, A., Horfar, A., Torabi, S and Hejam, S., 2007, **Survey and Comparison Work ClimGen and LARS-WG Models in Weather Parameter Simulation in Iran climate Various Qualification**, Water Resources Association, Vol. 5, No.1, PP.44-57.
- Bhattacharyya, G., Richard, K., Johnson, A., 1977, **Statistical Concepts and Methods**, John Wiley and Sons.
- Cowden, J.R., Watkins, Jr., Mihelcic, J.R., 2008, **Stochastic Rainfall Modeling in West Africa: Parsimonious Approaches for Domestic Rainwater Harvesting Assessment**, Journal of Hydrology, Vol. 361, No. 1-2, PP. 64-77.
- Dibike, Y.B., Coulibaly, P., 2005, **Hydrologic Impact of Climate Change in the Saguenay Watershed: Comparison of Downscaling Methods and Hydrologic Models**. Journal of Hydrology, Vol. 307, No. 1-4, PP. 145-163.
- Ghareh- Khani, A. and Ghahraman, N., 2008, **Annual and Seasonal Change Trend Survey of Relative Humidity and Dewpoint in Iran Climate Sample Several**, Journal of Water and Soil, Vol. 24, No. 4, PP. 636-666.
- Hardi, JT., 2008, **Climate Change: Causes, Effects, and Solutions**, Translate by Khazanehdari, Kuhi, Ghandehari, and Asiyaie, Papoli Press, Tehran.
- Harmesen, E., Miller, N.L., Schlegel, NJ and Gonzalez, J.E., 2009, **Seasonal Climate Change Impacts on Evapotranspiration, Precipitation Deficit and Crop Yield in Puerto Rico**. Journal of Agricultural Water Management, Vol 7, No. 10, PP. 1085– 1095.
- Iranmanesh, R., Jalal kamali, N., Jalal kamali, A. and Yosofi, M., 2009, **Predicted Impacts of Climate Change on Maximum and Minimum Temperatures for the Period 2030-2010 in Kerman Station Began Using a Fine-scale Statistical View of LARS-WG and Output Models CSMK3 and BCM2.0**, 5th National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, Kerman.
- Johnson, G.L., Hanson, C.L., Hardegree, S.P., Ballard, E.B., 1996, **Stochastic Weather Simulation: Overview and Analysis of two Commonly used Models**, Journal of Application Meteorology, Vol. 10, No. 35, PP. 1878-1896.

- Khaliliaqdam, N., Mosaedi, A., Soltani, A. and Kamkar, B., 2013, **Evaluation of Ability of LARS-WG Model for Simulating Some Weather Parameters in Sanandaj**, Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 19, No.4, PP. 85-103.
- Khoorany, A. and Marvdashty, SH., 2014. **Validation Effects Climate Change in Afew Visits on the Hengam Island**, Physical Geography Research Quarterly, Vol. 46, No. 1, PP. 109-122.
- Khosravianian, J., Onogh, M. and Godarzy, M., 2013, **Assessment of Climate Change in Gharehsou Watershed using A1B scenario data from model HADCM3 in the 2099-2080**, 1st National Desert Conference, International Desert Research Center, Tehran University.
- Kilsby, C.G., Jones, P.D., 2007, **A Daily Weather Generator for use in Climate Change Studies**, Environmental Modeling and Software, Vol. 22, No.12, PP. 1705-1719.
- Liang, L., Lijuan, L. and Qiang, L., 2010, **Temporal Variation of Reference Evapotranspiration during 1961-2005 in the Taoer River Basin of Northeast China**, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 150, No.2 PP. 298-306.
- Luo Qanyan, M.A., Williams, J., Belloti, W., Bryan, B., 2003, **Quantative and Visual Assessments of Climate Change Impacts on South Australian Wheat Production**, Agriculture Systems, Vol. 77, No. 3, PP. 173-186.
- Masoodian, S.A., 2002, **Trend Analysis of Temperature in Iran in Past Century Half**, Journal of Geography and Development, Vol. 2, No. 3, PP. 89-106.
- Massah Bavani, A.R. and Morid, S., 2006, **Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rud Basin**, Journal of Science and Technology. Agriculture and Nature Resource, Vol. 9, No. 4, PP. 28-34.
- Mavromatis, T., Hansen, J.W., 2001, **Inter Annual Variability Characteristics and Simulated Crop Response of four Stochastic Weather Generators**, Agricultural and Forest Meteorology, No. 109, PP. 283-296.
- Meshkati, A., Kordjazi, M. and Babaeian, I., 2010, **Analysis LARS-WG Model in Simulation of Weather Data Golestan Province in 1993-2007**, Science Geography using Research, Vol.16, No.19, PP. 81-96.
- Mohammad- nezhad, Sh., Sharafy, S.M., 2008, **Climate Change**, Press Center Training and Industrial Research of Iran, Tehran.
- Racsko, P., Szeidl, L., Semenov, M., 1991, **A Serial Approach to Local Stochastic Weather Models**, Journal of Ecological Modelling, No. 57, PP. 27-41.
- Rasooly, A., Sarisaraf, B. and Mohammady, Gh., 2011, **Analysis of the Climatic Phenomena of Dust in the Iran West in the Past Years 55 Using Nonparametric Statistical Methods**, Physical Geography Research Quarterly, Vol. 3, No. 9, PP. 16-28.
- Richardson, C.W., 1981, **Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature and Solar Radiation**, Water Resources Research, Vol. 17, No. 1, PP. 182- 190.
- Richardson, C.W., Wright D.A., 1984, **WGEN: A Model for Generating Daily Weather Variables**, Report, United States Department of Agriculture, Agriculture Research Service, ARS-8. PP. 83.
- Richter, G.M and Semenov, M.A., 2004, **Modelling Impacts of Climate Change on Wheat Yields in England and Wales**, Assessing Drought Risks, Agriculture Systems, Vol. 84, No. 1, PP. 77-97.
- Sajjad Khan, M., Coulibaly, P., Dibike, Y., 2006, **Uncertainty Analysis of Stochastically Downscaling Methods**, Journal of Hydrology, Vol. 319, PP. 357-382.
- Semenov, M.A and Barrow, E.M., 2002, **A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies**, User's manual, Version3.0.
- Semenov, M.A and Stratonovitch, P., 2009, **The use of Multi-model Ensembles from Global Climate Models for Impact Assessments of Climate Change**, Journal of Climate Researches, Vol. 41, No. 1, PP. 1-14.
- 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**, Journal of Climate Researches, Vol. 10, No. 2, PP. 95–107.
- Semenov, M.A., Donatelli, M., Stratonovitch, P., Chatzidaki, E. and Baruth, B., 2010, **ELPIS: a Dataset of Local-Scale Daily Climate Scenarios for Europe**, Journal of Climate Researches, Vol. 1, No. 44, PP. 3–15.
- Semenov, M.A., Pilkington-Bennett, S. and Calanca, P., 2013, **Validation of ELPIS 1980–2010 baseline scenarios using the observed European Climate Assessment data set**, Journal of Climate Researches, Vol. 57, No.1, PP. 1-12.
- Tavoosi, T., Khosravi, M. and Zahraee, A., 2010, **Glacial Change Forecast Zabol by Simulation of Atmospheric General Circulation Model**, Journal of Environmental Hazards, Vol. 1, No.2, PP. 29-48.
- Williams, A.G., 1991, **Modelling Future Climates: from GCMs to Statistical Downscaling Approaches**, University of Toronto at Scarborough.
- Zahrabi, N., Massah Bouani, A., Taloori, A. and Sedghi, H., 2008, **Climate Change Revelation in Karoon Big River**, 4th Regional Conference on Climate Change, PP. 21-29.

