

## پیش بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G

فاطمه عباسی<sup>۱\*</sup> - شراره ملبوسی<sup>۲</sup> - ایمان بابائیان<sup>۳</sup> - مرتضی اثمیری<sup>۴</sup> - رضا برهانی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۱/۶

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۲۲

### چکیده

در این مقاله داده‌های سناریوی A1 مدل گردش عمومی جو ECHO-G که هم اکنون در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز تحقیقات هواشناسی کره جنوبی اجراء می‌شود، برای ارزیابی تغییرات اقلیمی، خشکسالی، یخبندان استان خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی توسط مدل آماری LARS-WG ریز مقیاس شدند. در این تحقیق از داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش و بارش مدل ECHO-G و داده‌های واقعی شش ایستگاه استان شامل بیرجند، نهبندان، فردوس، قائن، بشرویه و خور بیرجند استفاده شد. نتایج کلی بررسی‌ها برای دوره مذکور حاکی از افزایش ۴ درصدی بارش در استان، کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سانتیگراد می‌باشد که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سانتیگراد خواهد بود. همچنین تعداد روزهای خشک در شهرستان‌های شمالی این استان شامل بشرویه، فردوس و قائن افزایش و در شهرستان‌های جنوبی آن شامل بیرجند، خوربیرجند و نهبندان کاهش می‌یابد و بطور کلی خشکسالی‌های این استان در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ کاهش می‌یابند.

**واژه‌های کلیدی:** مدل گردش عمومی جو، LARS-WG، خراسان جنوبی، تغییر اقلیم

### مقدمه

سال اخیر دچار کاهش شدیدی شده و با افزایش شوری و املاح، کیفیت آب کاهش یافته است. از اینرو، پیش بینی‌های اقلیمی جهت استفاده در برنامه ریزی‌های کلان کشور خصوصاً در رابطه با بلایای طبیعی ضروری به نظر می‌رسند. معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل‌های جفت شده جوی-اقیانوسی می‌باشد. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تایید شده IPCC<sup>6</sup> مدلسازی نمایند. اما ضعف عمده این مدل‌ها قدرت تفکیک مکانی کم و ساده سازی‌هایی است که برای فرآیندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند. برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک پایین لازم است خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریز مقیاس<sup>۷</sup> شوند. ریز مقیاس نمایی را می‌توان به دو روش دینامیکی و آماری انجام داد. در ریز مقیاس نمایی آماری می‌توان از روش‌های متداول آماری مانند رگرسیون و همچنین مدل‌های مولد هواشناسی<sup>۸</sup>

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن باعث برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این پدیده می‌تواند بر بخش‌های مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. کمترین تغییر در میزان بارش و درجه حرارت ضربه‌های شدیدی به بخش‌های کشاورزی و اقتصادی می‌زنند. در سال‌های اخیر نیز خشکسالی در کشور خسارات زیادی ببار آورده است. منابع آب سطحی و زیرزمینی جنوب خراسان طی چند

۱- مربی دانشگاه جامع علمی کاربردی و عضو گروه پژوهشی تغییر اقلیم پژوهشکده اقلیم شناسی

(\*) - نویسنده مسئول: (Email: abbasi9999@yahoo.com)

۲ - گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی کشور

۳- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه تبریز و مربی گروه پژوهش تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی

۴- کارشناس ارشد، اداره کل هواشناسی خراسان جنوبی

6- Inter-Governmental Panel on Climate Change

7- Downscaling

8- Weather Generator

تابش روزانه به کار رود (۱۹) و (۱۷). مک کاک<sup>۶</sup> و همکاران (۱۲) توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه سازی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های ایتاریوی جنوبی در کانادا مورد مطالعه قرار دادند. در مطالعه ای مارتین دوبروسکی<sup>۷</sup> در جمهوری چک ارزیابی مدل MET& ROLL را انجام داد. این مدل داده‌های دمای بیشینه و کمینه، تابش خورشیدی و بارش را بر روی یک ایستگاه هواشناسی مدل سازی می‌نماید (۶ و ۸). زمنف در مطالعه ای شبیه سازی داده‌ها را با استفاده از مدل LARS-WG در انگلستان مورد مطالعه قرارداد (۱۶). علاوه بر آن زمنف در مطالعه دیگری سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بررسی نمود. در این تحقیق از مدل LARS-WG برای ساختن سناریوهای اقلیمی روزانه استفاده گردید. همچنین تاثیر تغییر اقلیم بر رشد دو گونه گندم Avalon و Mercia تا سال ۲۰۸۰ مورد بررسی قرار گرفت (۱۴). در مطالعه ای تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ مورد ارزیابی قرار گرفت (۵). در این مطالعه با استفاده از داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G و نرم افزار LARS-WG اقلیم استان خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ بررسی شده و وضعیت خشکسالی آن در دوره مذکور بررسی می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی مدل

LARS-WG یکی از معروفترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه برای اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود (۱۳ و ۱۶). اولین نسخه آن در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس نمایی آماری ابداع شد (۱۳). LARS-WG برای مدلسازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را بکار می‌برد. مبنای این مدل برای مدلسازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی می‌باشد. سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدلسازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌رود. مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیدبانی شده به دست می‌آیند، در تحلیل خود همبستگی زمانی داده‌های مینیمم و ماکزیمم مورد استفاده قرار

استفاده کرد، در روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی معادلات حاکم بر بسته هوا در شبکه‌های ریز تری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روش‌های آنالیز عددی از قبیل تفاضل محدود حل می‌شوند که در صورت کاربست این روش می‌توان به نقیصه دوم مدل‌های گردش عمومی جو یعنی ساده سازی فرآیندهای جوی نیز فائق آمد (۱۰). روش آماری ریزمقیاس کردن در مقایسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریعتر عوامل موثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. انواع مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری عبارتند از: SDSM, CLIMGEN, LARS-WG, USCLIMATE, GEM, MET& Roll و... (۱). در این تحقیق به منظور شناسایی و پیش بینی نوسانات اقلیمی استان خراسان جنوبی از روش ریزمقیاس نمایی آماری با استفاده از یک مدل مولد داده‌های هواشناسی به نام LARS-WG استفاده شده است.

تاکنون مطالعات و پژوهش‌های زیادی در زمینه ی مدلسازی رفتار اقلیم مناطق مختلف جهان با استفاده از مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مقاله تامسون<sup>۱</sup> در ارتباط با مدل سازی ۳۰ سال اقلیم ایستگاه‌های هواشناسی در نیوزلند اشاره کرد (۱۸). همچنین جانسون<sup>۲</sup> دو مدل مختلف تولید داده‌های هواشناسی به نام‌های USCLIMATE و CLIGEN را مورد بررسی قرارداد (۱۱). در تحقیقی اثرات هیدرولوژی تغییر اقلیم بوسیله مدل‌های گردش عمومی جو و یک مدل کوچک مقیاس کننده آنالوگ در جنوب انگلستان توسط الشمی<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار گرفت (۹). در این مطالعه چگونگی تبدیل داده‌های ماهانه به روزانه توسط تکنیک تولید داده مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که این روش داده‌های هواشناسی روزانه را بهتر از داده‌های فصلی کوچک مقیاس می‌کند. ویلبی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۲) مدل SDSM را برای ریزمقیاس نمایی اطلاعات بارش و دما با استفاده از روش‌های آماری ابداع کردند. ویلبی در تحقیقی کوچک مقیاس کردن بارش فصلی با استفاده از پارامترهای تولید شده در انگلستان را مورد بررسی قرارداد (۲۲). ویلکس<sup>۵</sup> و همکاران روشی را برای کاربرد سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل WGEN که یک مدل مولد داده‌های هواشناسی است، ابداع کردند (۲۰). این مدل می‌تواند برای تولید مقادیر روزانه دمای بیشینه، کمینه، بارندگی و

- 1- C.S.Thompson
- 2- G.L.Johnson
- 3- M.L.Elshamy
- 4- Wilby
- 5- R.D.Wilks

6- MC.Kague

7- Dubrovsky

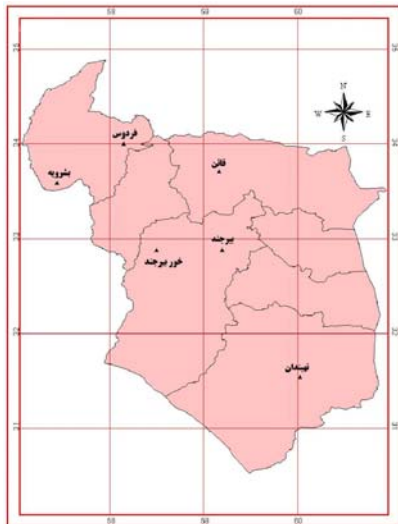
مقدار میانگین است. دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد. ویژگی دیگر SPI این است که می‌توان به کمک آن آستانه خشکسالی را برای هر دوره زمانی تعیین کرد. بنابر این بر اساس این شاخص علاوه بر محاسبه شدت خشکسالی، مدت آن نیز تعیین می‌شود (۴).

(جدول ۱) - مقادیر SPI

توصیف وضعیت طبقات شاخص SPI	
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۲-
خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-
خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-
تقریباً نرمال	۰/۹۹- تا ۰/۹۹+
تر سالی متوسط	۱/۴۹ تا ۱
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹+
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر

#### داده‌ها، منطقه و دوره مورد مطالعه

مطالعه حاضر بر روی ۶ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان جنوبی شامل بیرجند، خور بیرجند، قائن، بشرویه، نهبندان، فردوس انجام شده است و دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۸۷ میلادی به عنوان دوره پایه لحاظ گردید. قبل از اجرای مدل، نرمال بودن و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای همگنی داده‌های ۶ ایستگاه هواشناسی، از آزمون RUN-TEST استفاده شد که تصادفی بودن آنها در سطح ۹۵ درصد قابل قبول بود (۲).



(شکل ۱) - موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان جنوبی

داده‌های مورد استفاده در این مقاله، داده‌های دیدبانی

می‌گیرند (۱). خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشند. تولید داده توسط مدل در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. در این مدل داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به صورت روزانه استخراج شده و برای هر شبکه مدل گردش عمومی جو یک سناریوی خاص مدل LARS-WG تدوین می‌شود. برای تدوین این سناریو داده‌های شبکه‌ای مدل ECHO-G در دوره پیش بینی یا مورد مطالعه با دوره پایه مقایسه می‌شوند (۱۵). در اینجا دوره پایه ۲۰۰۶-۱۹۸۷ و دوره آینده ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در نظر گرفته شده است. برای اجرای مدل LARS-WG علاوه بر سناریوی تدوین شده برای هر شبکه محاسباتی، به فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاه‌های واقع در داخل آن شبکه نیز نیاز است. مکانیسم عمل مدل به اینصورت است که آن در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که در برگزیده رفتار اقلیم پایه می‌باشد، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق فرمول:

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (1)$$

پریشیده می‌کند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آنها را مطابق فرمول:

$$STD_{fut} = \frac{STD_{fut}^{GCM}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{base}^{OBS} \quad (2)$$

تغییر می‌دهد (۱). خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشند.

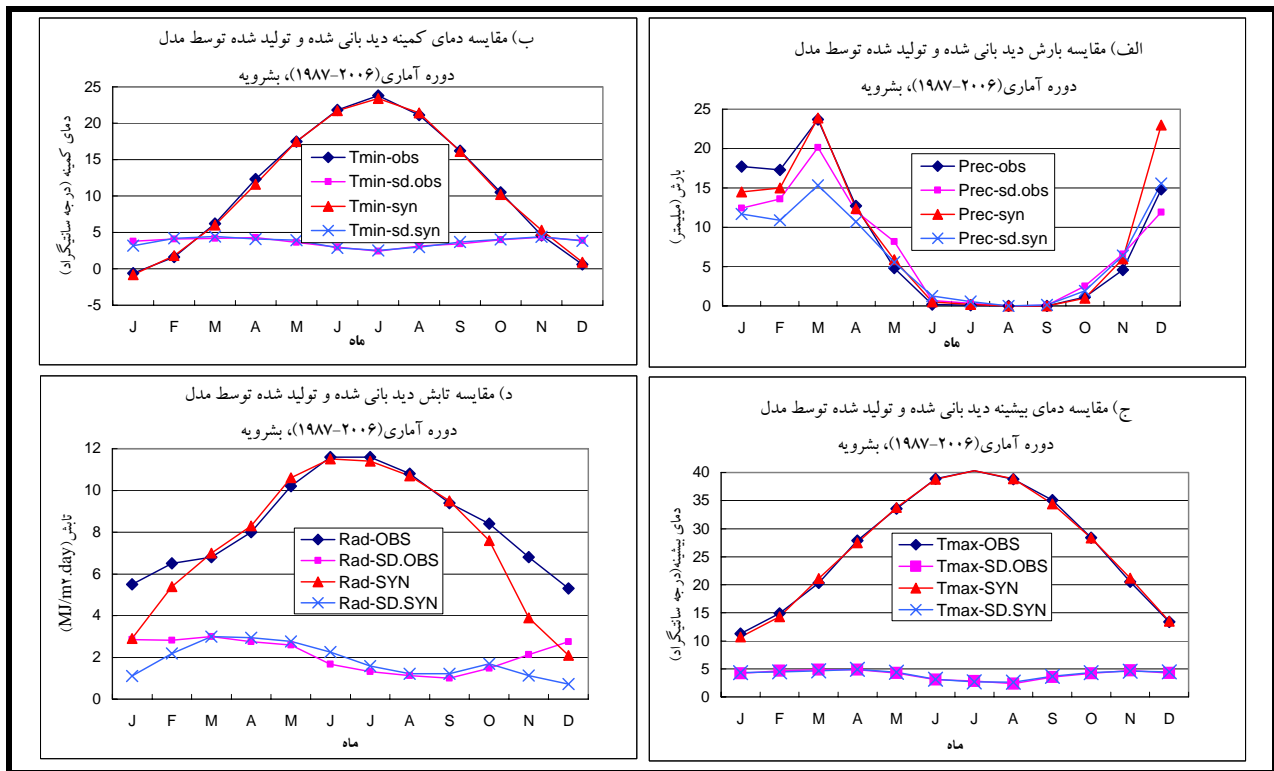
در این تحقیق جهت پیش و مطالعه پدیده خشکسالی شاخص SPI انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص برای اولین بار بوسیله مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ پیشنهاد گردید. SPI شاخصی است که بر اساس احتمال بارش برای هر بازه زمانی قابل محاسبه است. این شاخص امکان پایش خشکسالی را برای مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت نظیر رطوبت خاک و نیز برای مقیاس‌های دراز مدت نظیر آب‌های سطحی و آب‌های زیر زمینی فراهم می‌سازد (۱۲).

نتایج تحقیقات بسیاری از دانشمندان نشان می‌دهد که مناسبترین تابع توزیع احتمال برای برازش داده‌های بارندگی بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک تابع توزیع گاما می‌باشد. از این رو محاسبه SPI شامل برازش تابع توزیع احتمال گاما به توزیع فراوانی مقادیر بارندگی یک ایستگاه می‌باشد سپس پارامترهای مربوط به این تابع برای هر مقیاس زمانی دلخواه برآورد می‌گردد. در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه و به یک تابع توزیع تجمعی نرمال جهت محاسبه SPI تبدیل می‌گردد.

در جدول ۱ مقادیر SPI نشان داده شده است. مقدار SPI مثبت بیانگر بارش بیشتر از میانگین و مقدار SPI منفی بیانگر بارش کمتر از

ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش به صورت روزانه و داده‌های سناریوی A1 مدل گردش عمومی جو ECHO-G می‌باشند. برای ارزیابی تغییرات اقلیمی ۶ ایستگاه استان در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ از روش ریز مقیاس نمایی آماری و مدل تولید داده LARS-WG استفاده گردید. به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۶ تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید، سپس خروجی‌های مدل که شامل دمای کمینه و بیشینه روزانه، بارش، تابش و انحراف می‌باشند، با داده‌های ۲۰ سال دیدبانی شده ۶ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان جنوبی مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولیدشده توسط مدل با استفاده از

آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه ای انجام شد. با تحلیل نتایج بدست آمده از آزمون‌های آماری ( نظیر آزمون دو نمونه ای T زوجی) برای ۶ ایستگاه خراسان جنوبی ملاحظه می‌شود که اختلاف معناداری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر واقعی آنها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. همچنین مقادیر همبستگی پیرسن بین داده‌های مدل‌سازی شده و واقعی در سطح معناداری ۰/۰۱ قابل قبول می‌باشند. در شکل ۲ مقایسه مقادیر دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش تولید شده توسط مدل و مقادیر دیدبانی شهرستان بشرویه به عنوان نمونه آورده شده است. به طور کلی نتایج نشان دادند که مدل LARS-WG توانمندی مدل‌سازی اقلیم دوره گذشته ایستگاه‌های تحت مطالعه استان خراسان جنوبی را بر اساس یک سناریوی حالت پایه دارا است.



(شکل ۲) - مقایسه مقادیر مدل شده و دیدبانی برای پارامترهای الف. بارش، ب. دمای کمینه، ج. دمای بیشینه و د. تابش در ایستگاه سینوپتیک بشرویه برای دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۷

(جدول ۲) - مقایسه میانگین و انحراف معیار بارش (میلی متر) در دوره پایه و دهه ۲۰۲۰ در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	پارامتر	دوره آماری
۱۹/۶	۵/۴	۱/۸	۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۵	۴/۴	۱۴/۸	۳۵	۲۶	۲۶/۲	میانگین بارندگی	۲۰۱۰-۲۰۲۰ دهه
۲/۶	۱/۱۶	۰/۶۶	۰/۲	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۹	۲/۲	۳/۷	۳/۳	۲/۷	انحراف معیار	
۲۱/۹	۵/۱	۱/۹	۰/۵	۰/۵	۰/۲	۰/۷	۵	۱۸/۴	۴۰/۴	۲۵/۹	۱۹/۵	میانگین بارندگی	۲۰۱۰-۲۰۲۰ دهه
۲/۷	۱/۱۹	۰/۷۴	۰/۳	۰/۳	۰/۱۴	۰/۲۸	۱/۱	۲/۹	۴/۱	۳/۵	۲/۳	انحراف معیار واقعی مدل	
۲/۳	۱/۱	۰/۶	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۲۴	۰/۸	۲/۲	۴/۸	۳/۴	۱/۹	انحراف معیار تبدیل یافته مدل	

سالانه با و بدون اعمال این نسبت نشان داده شده است. مقادیر مشخص شده با دایره تو خالی، مقدار بارش را با لحاظ فرمول ۲ نشان می‌دهند.

براساس جدول فوق، بارش‌های فصل زمستان در آینده در مقایسه با نرمال ۱/۵ درصد کاهش می‌یابد، اما علیرغم کاهش بارش‌های فصل زمستان نسبت به نرمال، در سایر فصل‌های سال بارندگی‌ها افزایش خواهند یافت که بیشترین افزایش بارندگی مربوط به تابستان و بهار می‌باشد. بطوریکه در تابستان بارشها تقریباً دو برابر نرمال و در فصل بهار بارندگی ۲۲ درصد نسبت به دوره آماری افزایش می‌یابد. همانطوریکه مشاهده می‌شود کاهش بارندگی در فصل زمستان عمدتاً مربوط به ماه ژانویه می‌باشد.

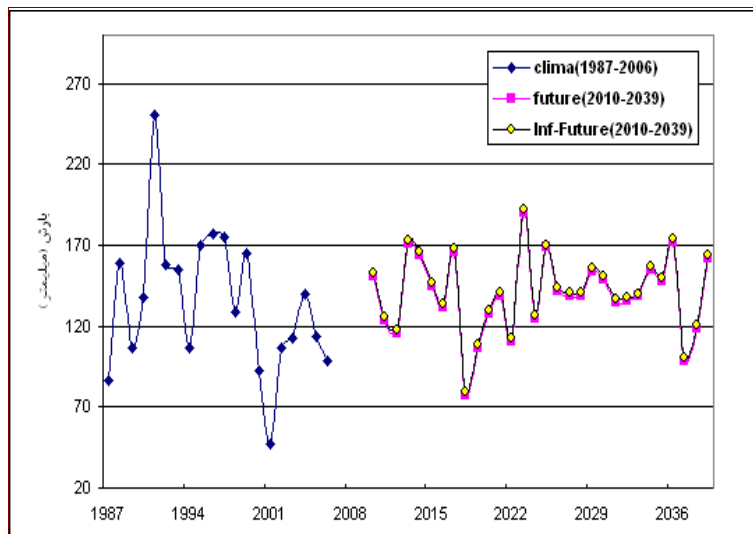
در شکل ۴ نمودار میانگین ماهانه بارش استان آورده شده است. ملاحظه می‌شود که میانگین بارش استان بجز در ماه‌های ژانویه، فوریه و نوامبر که در مقایسه با نرمال کاهش یافته، در سایر ماه‌های سال بیشتر از نرمال می‌باشند. بیشترین کاهش بارندگی نسبت به نرمال در ماه ژانویه به میزان ۲۶ درصد خواهد بود و میزان کاهش در فوریه و نوامبر قابل ملاحظه نمی‌باشد. بنظر می‌رسد که الگوی بارش به سوی انتهای فصل سرد و بهار جابجا شده است و افزایش بارش‌های فصل تابستان حاکی از افزایش بارش‌های تابستانه کشورمان در بخش‌های جنوب شرقی می‌باشد. شکل ۵ میزان بارندگی طی دوره آماری و همچنین مقدار آنها را در دهه ۲۰۲۰ به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در دهه ۲۰۲۰ در شهرستان‌های بشرویه، نهبندان، بیرجند بارندگی‌ها در مقایسه با دوره آماری افزایش خواهند یافت.

در ادامه کار، برای ارزیابی نوسانات اقلیمی استان خراسان جنوبی، سناریوهای تغییر اقلیم را بر روی ۳ شبکه محاسباتی، بر مبنای مقایسه خروجی‌های مدل ECHO-G در دوره‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ تدوین کرده و با اعمال این سناریوها به داده‌های دوره پایه ۲۰۰۶-۱۹۸۷، تغییرات اقلیمی آینده را به دست می‌آوریم. سپس تغییرات پارامترهای دمای بیشینه، کمینه، بارش، بی‌نظمی‌های بارش، تابش، روزهای داغ و یخبندان روزهای تر و خشک و خشکسالی در ایستگاه‌های خراسان جنوبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، روز داغ به روزی گفته می‌شود که دمای بیشینه آن از ۳۰ درجه سانتیگراد بیشتر باشد (۱۴).

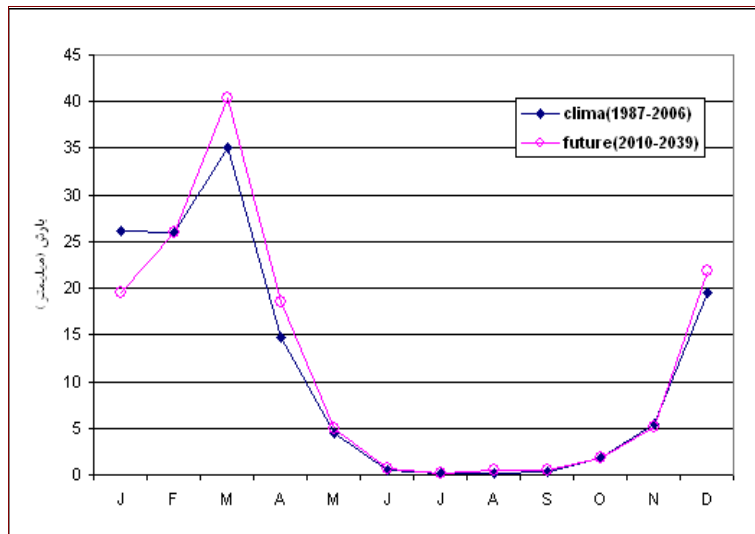
## نتایج و بحث

### میانگین بارش

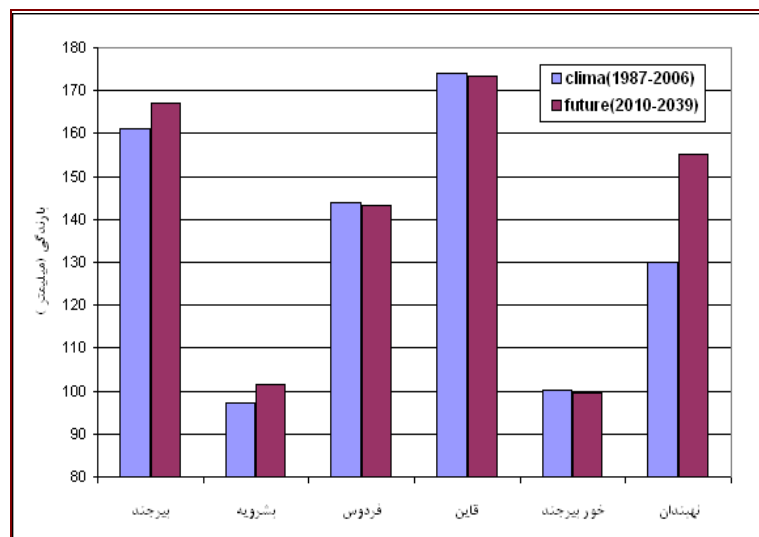
با اجرای مدل، سری‌های پیش بینی بارش‌های روزانه ۶ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در دهه ۲۰۲۰ تولید گردیدند. سپس با استفاده از این خروجی‌ها و همچنین داده‌های دوره آماری مقادیر میانگین ماهانه بارش استان و همچنین انحراف معیار آنها برای دو دوره، آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰) و دوره پایه (۲۰۰۶-۱۹۷۶ میلادی) محاسبه گردید (جدول ۱). ملاحظه می‌شود بجز ماه ژانویه که انحراف معیار بارش دوره آینده آن کمتر از نرمال می‌باشد، در سایر ماه‌های سال انحراف معیار بارش بیشتر از دوره نرمال است. برای رفع نقیصه انحراف معیار با استفاده از فرمول (۲)، ضمن حفظ میانگین‌ها، انحراف معیار آنها به نسبت انحراف معیار دو سری داده‌های مدل گردش عمومی جو آینده به دوره پایه افزایش داده شد (فرمول ۲). در شکل ۳ مقادیر بارش



شکل ۳- میانگین بارش سالانه خراسان جنوبی تا سال ۲۰۳۹ میلادی



(شکل ۴) - مقایسه میانگین ماهانه بارش خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ (دهه ۲۰۲۰) با دوره آماری

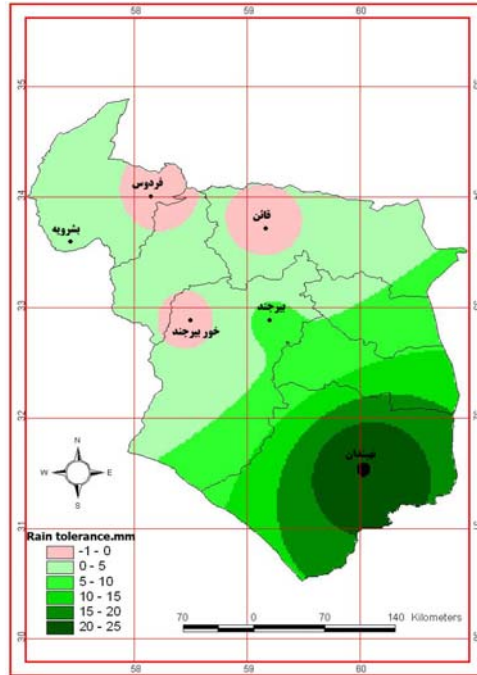


(شکل ۵) - مقایسه بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۲۰۲۰ و دوره آماری

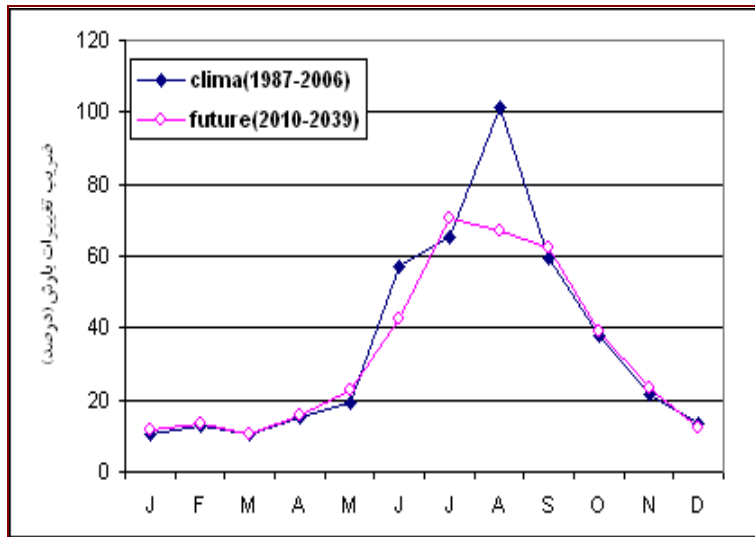
### تغییر پذیری بارش‌ها

ویژگی‌های اصلی بارش‌های ایران تغییر پذیری آنهاست و به همین دلیل منابع آب نیز از توزیع یکنواختی برخوردار نیستند. هرچه تغییرات مکانی بارش کوچکتر باشد همگنی و میزان اعتماد پذیری به منابع آب نیز بیشتر می‌شود. از سوی دیگر هر چه تغییر پذیری بارش کمتر باشد منابع آب نیز با ثبات تر خواهند بود. به همین دلیل تغییر پذیری زمانی بارش در ارزیابی منابع آب در مقیاس محلی و منطقه ای اهمیت زیادی دارد (۳). از اینرو، ضریب تغییرات بارش  $CV = \frac{STD}{X}$  برای دوره آماری و دوره آینده با استفاده از خروجی‌های مدل محاسبه گردیدند که نتایج در شکل ۷ آورده شده است.

بیشترین افزایش بارندگی در ایستگاه نهبندان به میزان ۱۹ درصد و بیشترین کاهش آن در ایستگاه خوربیرجند با ۰/۶ درصد رخ خواهد داد. در مجموع بارشهای سالانه استان در دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره آماری ۴ درصد افزایش می‌یابند. در شکل ۶ توزیع مکانی تفاوت بارش‌های دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره آماری آورده شده است. نواحی جنوب و جنوب شرق استان بیشترین افزایش بارش را در دهه ۲۰۲۰ خواهند داشت. در دوره مورد بررسی بخش‌های شمالی، شمال شرقی و غرب استان با کاهش جزئی بارندگی مواجه خواهند بود.



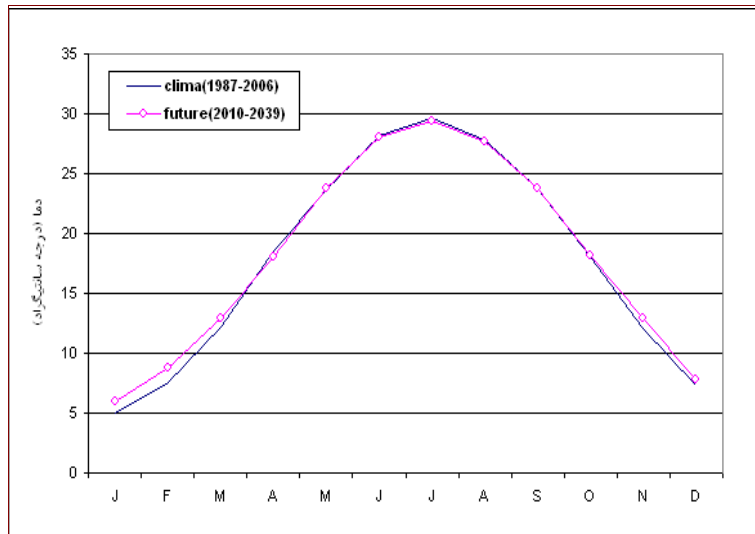
(شکل ۶) - تفاوت بارش‌های سالانه استان در دهه ۲۰۲۰ با دوره آماری



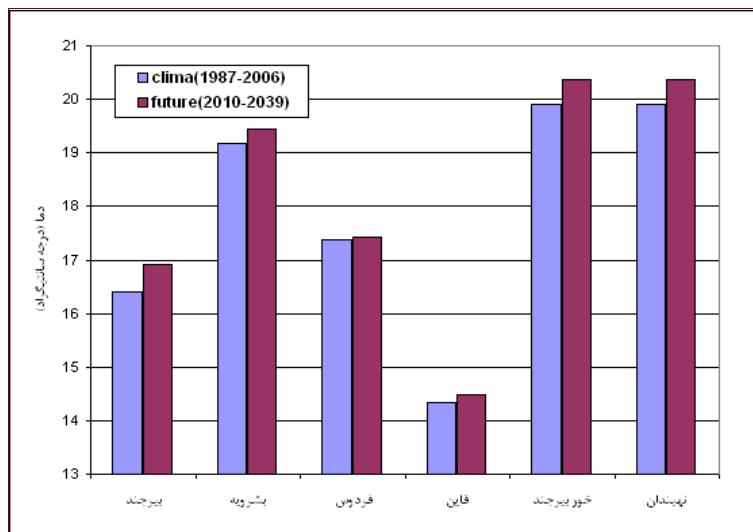
(شکل ۷) - مقایسه ضریب تغییرات بارش ماهانه دوره آماری با دهه ۲۰۲۰ در استان خراسان جنوبی

(جدول ۳) - مقایسه میانگین و انحراف معیار دما (درجه سانتیگراد) در دوره پایه و دهه ۲۰۲۰ در استان خراسان جنوبی

دوره آماری	پارامتر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دوره آماری	میانگین دما	۵/۱	۷/۶	۱۲/۱	۱۸/۵	۲۳/۶	۲۸/۱	۲۹/۶	۲۷/۸	۲۳/۸	۱۸	۱۲/۱	۷/۳
	انحراف معیار	۴/۳	۴/۵	۴/۶	۴/۸	۴/۵	۳/۹	۳/۹	۳/۸	۴/۳	۴/۴	۴/۸	۴/۲
دهه ۲۰۲۰	میانگین دما	۶	۸/۸	۱۳	۱۸/۱	۲۳/۸	۲۸	۲۹/۴	۲۷/۷	۲۳/۸	۱۸/۲	۱۲/۹	۷/۸
	انحراف معیار واقعی	۴/۲	۴/۲	۴/۱	۴/۵	۴/۲	۳/۸	۳/۸	۴/۱	۴/۱	۴/۲	۴/۳	۴/۲
	انحراف معیار تعدیل یافته مدل	۴/۶	۴/۷	۴/۷	۵	۴/۳	۳/۸	۳/۹	۳/۷	۴/۱	۴/۵	۴/۹	۴/۵



شکل ۸- میانگین دمای ماهانه استان خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و دوره پایه



شکل ۹- مقایسه میانگین دمای ایستگاه‌های استان در دهه ۲۰۲۰ با دوره آماری

در مقایسه با دوره آماری به جز ماههای آوریل، ژوئیه، جولای و آگوست در سایر ماههای سال افزایش می‌یابد. شکل ۸ میانگین ماهانه دمای استان را در دهه ۲۰۲۰ و دوره آماری نشان می‌دهد بیشترین افزایش دما در ماه فوریه در حدود ۱/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین افزایش میانگین دما نسبت به دوره آماری در فصل زمستان به میزان ۱ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد. پس از آن فصل پاییز قرار دارد که میانگین دمای آن در مقایسه با دوره آماری ۰/۵ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. به عبارت دیگر افزایش دمای فصل سرد سال، بیشتر از سایر فصلها می‌باشد. بطور کلی میانگین دمای استان در دهه ۲۰۲۰ به میزان ۰/۳ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. در شکل ۹ میانگین دمای دوره پایه و دهه ۲۰۲۰ به تفکیک ایستگاه‌ها نشان داده شده است. بیشترین افزایش

همانطور که مشاهده می‌گردد ضریب تغییرات بارش در دهه ۲۰۲۰ در ماههای مارس، ژوئیه، دسامبر و به ویژه در آگوست در مقایسه با دوره آماری کاهش یافته است، اما در سایر ماهها میزان تغییر پذیری بارش ماهانه افزایش یافته و موجب عدم اطمینان و اعتماد، به خصوص به بارش‌های پاییزه، می‌گردد.

#### میانگین دما

در جدول ۳ میانگین و انحراف معیار دمای استان در دوره آماری و دهه ۲۰۲۰ آورده شده است. همانند بارش و با حفظ میانگین‌های دما، انحراف معیار آن به نسبت انحراف معیار مقادیر مدل گردش عمومی جو آینده به دوره پایه افزایش یافته است (فرمول ۲). نتایج مدل نشان می‌دهند که میانگین دمای استان در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹



میانگین آن در دوره آماری در استان خراسان جنوبی کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان دادند که تعداد روزهای یخبندان در استان در دهه ۲۰۲۰ نیز در مقایسه با دوره آماری کاهش می‌یابند، بیشترین کاهش در ماه فوریه رخ می‌دهد که بطور میانگین حدود ۲/۹ روز است. پس از آن در ماههای دسامبر، ژانویه تعداد روزهای یخبندان در حدود ۲/۶ روز کاهش می‌یابد. در شکل ۱۲ میانگین تعداد روزهای یخبندان به تفکیک ایستگاه‌های منتخب طی دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و دوره پایه ۲۰۰۶-۱۹۸۷ نشان داده شده است. مطابق شکل مذکور تعداد روزهای یخبندان در تمامی ایستگاه‌ها نسبت به دوره آماری کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش تعداد روزهای یخبندان مربوط به بیرجند می‌باشد.

### روزهای تر و خشک

روز خشک به روزی گفته می‌شود که مقدار بارش آن کمتر از ۰/۱ میلیمتر و در روز تر مقدار بارش بیشتر از ۰/۱ میلیمتر است (۱۴). بر این اساس تعداد روزهای تر و خشک دوره آینده ایستگاه‌های سینوپتیک استان بر اساس خروجی‌های مدل و داده‌های دوره آماری محاسبه شدند. نتایج نشان دادند که در دوره آینده تعداد روزهای تر در ماههای مارس، ژوئن، سپتامبر و دسامبر افزایش می‌یابند، در ماههای نوامبر و اکتبر تغییر چندانی نمی‌یابند، در سایر ماههای سال تعداد روزهای تر کاهش خواهند یافت. بیشترین افزایش تعداد روزهای تر در ماه مارس می‌باشد اما بطور کلی میانگین سالانه روزهای تر در استان افزایش خواهد یافت.

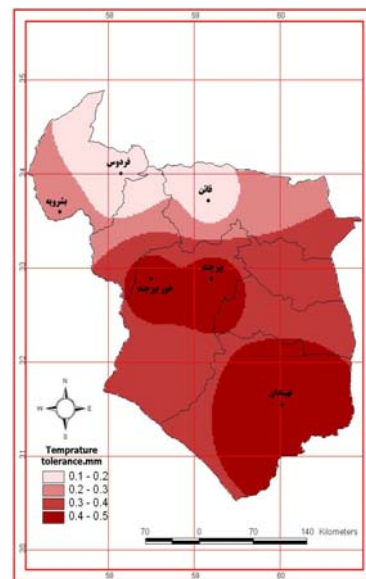
تعداد روزهای خشک بجز در ماههای مارس، ژوئن، دسامبر، سپتامبر، آگوست در سایر ماههای سال در دهه ۲۰۲۰ افزایش می‌یابند که بیشترین افزایش در ماه ژانویه (یک روز) خواهد بود. در ماههای اکتبر و نوامبر افزایش روزهای خشک قابل ملاحظه نیست.

در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ توزیع مکانی تغییرات روزهای تر و خشک آینده نسبت به دوره آماری آورده شده اند. همانطور که ملاحظه می‌شود در ایستگاه‌های بیرجند، خوربیرجند، نهبندان تعداد روزهای تر افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش در جنوب استان و در شهرستان نهبندان در حدود ۵/۸ روز در سال خواهد بود. تعداد روزهای خشک در ایستگاه‌های بشرویه، فردوس و قاین افزایش یافته که بیشترین افزایش در شهرستان قاین رخ می‌دهد.

### تحلیل وقوع خشکسالی

با استفاده از داده‌های بارندگی خروجی مدل LARS-WG در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و همچنین داده‌های واقعی بارندگی دوره پایه ۲۰۰۶-۱۹۸۷ میلادی، وضعیت خشکسالی ۶ ایستگاه سینوپتیک استان بیرجند، خوربیرجند، قائن، فردوس، بشرویه، نهبندان مطالعه گردید.

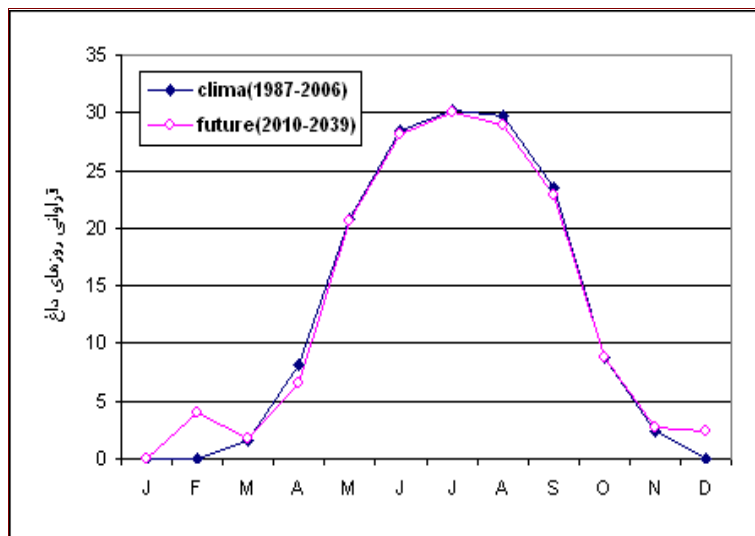
دما مربوط به ایستگاه بیرجند به میزان ۰/۵ درجه سانتیگراد خواهد بود. میانگین دمای بیشینه و کمینه استان نیز در دهه ۲۰۲۰ افزایش خواهد یافت. در شکل ۱۰ توزیع مکانی اختلاف بین میانگین دمای آینده و گذشته ارائه گردیده است. ملاحظه می‌شود که در دوره مورد مطالعه آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۹) تمامی مناطق استان با افزایش دما مواجه خواهند بود که بیشترین افزایش دما در نواحی مرکزی، غرب، جنوب شرق و جنوب استان رخ می‌دهد و نواحی شمالی با افزایش جزئی دما مواجه خواهند شد. با افزایش دما، نسبت بارش‌های مایع به کل بارش سالانه افزایش یافته و از میزان بارش‌های برف استان کاسته می‌شود.



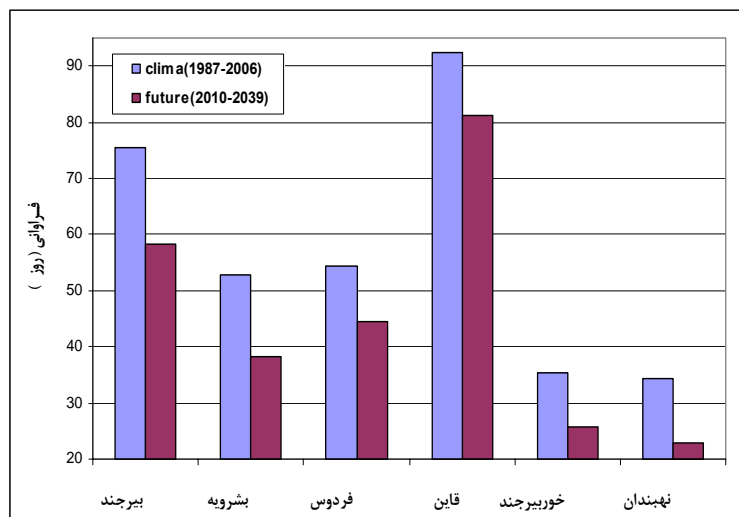
(شکل ۱۰) - توزیع مکانی اختلاف میانگین دمای دوره آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰) نسبت به دوره آماری میانگین دما در ایستگاه‌های منتخب استان در دهه ۲۰۲۰ و دوره آماری

### روزهای داغ و یخبندان

بر اساس تعریف، روز داغ به روزی گفته می‌شود که دمای بیشینه آن از ۳۰ درجه سانتیگراد بیشتر باشد و روز یخبندان عبارتست از روزی که در آن دمای کمینه صفر یا کمتر از آن باشد (۱۴). بر اساس این تعاریف، تعداد روزهای داغ و یخبندان برای دو دوره گذشته (۲۰۰۶-۱۹۸۷) و آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۹) محاسبه شدند. نتایج نشان دادند که میانگین تعداد روزهای داغ آینده در ماههای فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر در مقایسه با دوره پایه افزایش می‌یابد و بیشترین افزایش روزهای داغ در آینده مربوط به ماه فوریه با میانگین ۴ روز می‌باشد. در ماه ژانویه همانند دوره نرمال روز داغی وجود نداشته و بجز ماههای مذکور در سایر ماههای سال میانگین تعداد روزهای داغ کاهش خواهد یافت. شکل ۱۱ میانگین تعداد روزهای داغ استان را بطور ماهیانه در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و همچنین دوره آماری نشان می‌دهد. بطور کلی میانگین روزهای داغ در دهه ۲۰۲۰ نسبت به



شکل ۱۱- میانگین ماهانه تعداد روزهای داغ (با بیشینه دمای بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد) استان خراسان جنوبی در دهه ۲۰۲۰ و دوره آماری



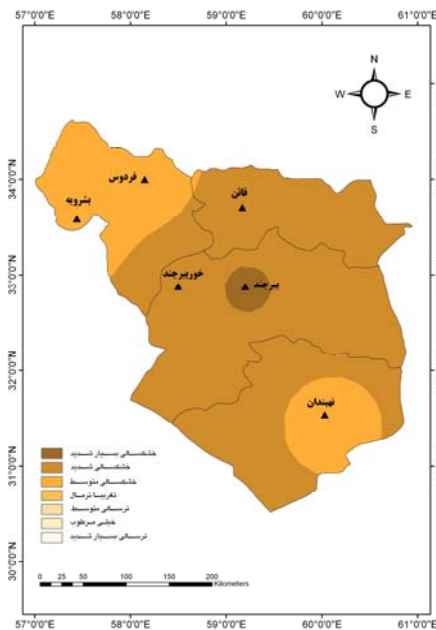
شکل ۱۲- میانگین تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه‌های منتخب استان در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و دوره آماری

می‌آیند. در دوره آماری نمونه‌های حاد و شدید خشکسالی وجود دارند بطوریکه در سالهای ۲۰۰۱-۲۰۰۰ خشکسالیهای شدیدی در استان حاکم بوده است به ویژه در سال ۲۰۰۱ که تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه درگیر خشکسالی شدید و بسیار شدید بودند (شکل ۱۵). طی این سال میانگین بارندگی استان نسبت به دوره آماری ۶۵٪ کاهش داشته است. در صورت پذیرش تعریف خشکسالی با مقادیر کمتر از میانگین، عملاً در دوره پایه ۱۰ سال استان با خشکسالی مواجه بوده است در این دوره سال ۱۹۹۱ به عنوان مرطوبترین سال می باشد.

برای بررسی وضعیت خشکسالی از شاخص SPI که فقط بر اساس داده‌های بارندگی می باشد، استفاده شد. مقادیر SPI برای مقیاسهای زمانی یک، سه، دوازده و بیست و چهار ماهه ۶ ایستگاه خراسان جنوبی در دوره پایه و آینده محاسبه و استخراج گردیدند که به دلیل کثرت محاسبات نتایج مربوط به SPI دوازده ماهه در اینجا آورده شده اند. جدول ۴ فراوانی و میانگین فراوانی رخداد خشکسالی طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ و دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان میدهد.

تحلیل خشکسالی‌های استان نشان می دهند که پدیده خشکسالی در استان خراسان جنوبی از فراوانی وقوع زیادی برخوردار است و بسیاری از رویدادهای خشکسالی در زمره خشکسالی‌های شدید بشمار

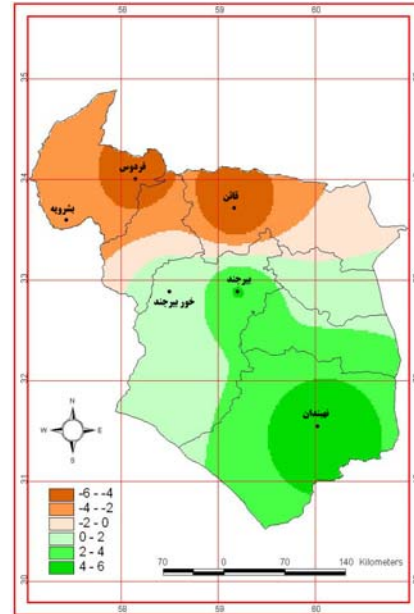
دوره پایه افزایش جزئی خواهند داشت. ولی بطور کلی در دهه ۲۰۲۰ از شدت خشکسالیها در استان کاسته خواهد شد و خشکسالیها نسبت به دوره آماری کاهش می‌یابند. خشکسالیها در دوره آینده بیشتر در مرکز و شمال استان رخ داده و با توجه به افزایش بارشها در مناطق جنوبی، جنوب استان وضعیت بهتری نسبت به سایر مناطق خواهد داشت.



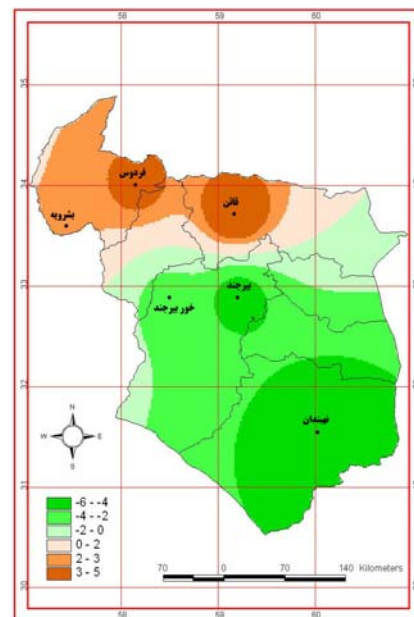
(شکل ۱۵) - پهنه بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI (۱۲) ماهه) در استان خراسان جنوبی در سال ۲۰۰۱ میلادی

با توجه به محاسبه و تعیین شاخص SPI در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو دوره پایه و دوره آینده نقشه پهنه بندی این شاخص بر روی استان برای هر سال مورد نظر بدست می‌آید، که به کارگیری این نقشه‌ها در سیستم مدیریت ریسک بلایای اقلیمی مفید می‌باشند. محاسبه شاخص SPI دوازده ماهه از روی خروجی‌های مدل LARS-WG وقوع خشکسالی را در سالهای ۲۰۲۲، ۲۰۱۹، و ۲۰۳۵ را در اکثر مناطق استان خراسان جنوبی نشان می‌دهد. اشکال ۱۶ تا ۱۹ به ترتیب پهنه بندی خشکسالی استان با استفاده از شاخص SPI دوازده ماهه را در سالهای ۲۰۱۵، ۲۰۱۲، ۲۰۱۹، و ۲۰۲۲ میلادی نشان می‌دهند.

همچنین می‌توان سری‌های زمانی SPI محاسبه شده را برای ایستگاه‌های مذکور به تصویر کشید. این سریها نمایش بهتری از دوره‌های خشک و مرطوب را به نمایش می‌گذارند. به عنوان نمونه شکل ۲۰ سری‌های زمانی SPI محاسبه شده در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی را برای ایستگاه بیرجند نشان می‌دهد. در این شکل شاخص SPI دوازده ماهه، ۷ دوره خشک و ۷ دوره مرطوب قابل

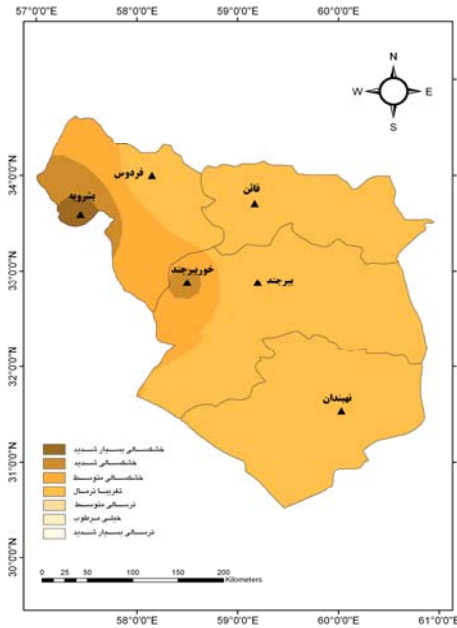


(شکل ۱۳) - تغییرات تعداد روزهای تر در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ نسبت به دوره آماری

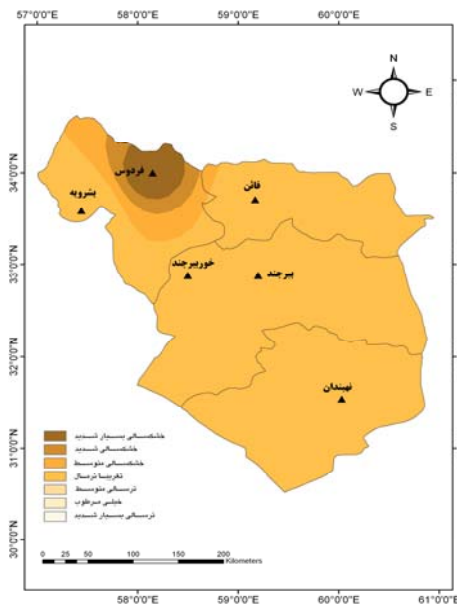


(شکل ۱۴) - تغییرات تعداد روزهای خشک در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ نسبت به دوره آماری

بررسی وضعیت خشکسالیها در دوره آینده با استفاده از خروجی‌های مدل و محاسبه شاخص SPI (دوازده ماهه) نشان می‌دهند که در تمامی ایستگاه‌های استان خشکسالی‌های متوسط نسبت به دوره آماری کاهش می‌یابند و میانگین خشکسالی‌های شدید در استان نیز روند کاهشی دارد و در اکثر ایستگاه‌های استان خشکسالی‌های بسیار شدید در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی نسبت به



(شکل ۱۸) - پهنه بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI (۱۲ ماهه) در استان خراسان جنوبی در سال ۲۰۱۹ میلادی

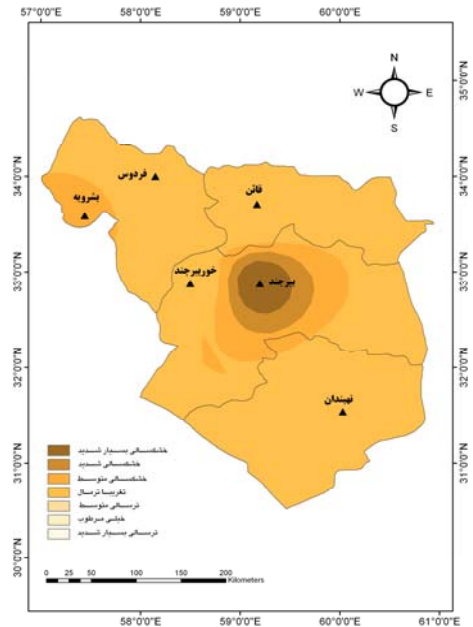


(شکل ۱۹) - پهنه بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI (۱۲ ماهه) در استان خراسان جنوبی در سال ۲۰۲۲ میلادی

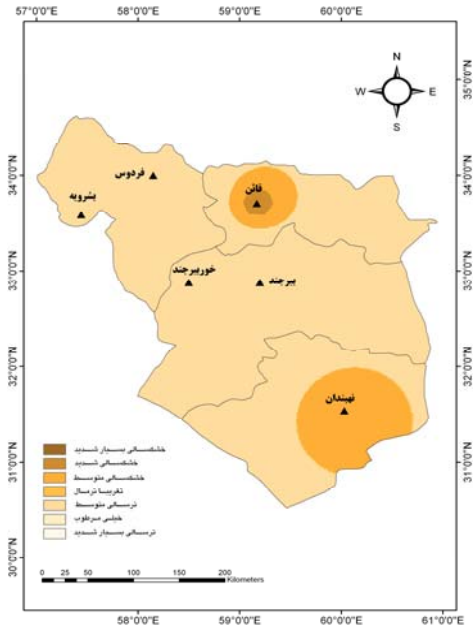
### نتیجه گیری

در این مقاله خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی A<sub>1</sub> به منظور ارزیابی تغییر اقلیم استان خراسان جنوبی در افق ۱۴۰۰ (۲۰۳۹-۲۰۱۰) بر روی ۶ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان جنوبی ریز مقیاس شدند. همچنین از داده‌های دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۶ ایستگاه‌های بیرجند، خوربیرجند، قاین، نهندان،

توجه را نشان میدهد که دوره‌های مرطوب به مراتب طولانی تر بوده و از دوام بیشتری برخوردار می‌باشند. همچنین در میان دوره‌های خشکسالی، دوره ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ بیشترین شدت را داراست.



(شکل ۱۶) - پهنه بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI (۱۲ ماهه) در استان خراسان جنوبی در سال ۲۰۱۵ میلادی



(شکل ۱۷) - پهنه بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI (۱۲ ماهه) در استان خراسان جنوبی در سال ۲۰۱۲ میلادی

۱ درجه سانتیگراد در فوریه خواهد بود. همچنین تعداد روزهای یخبندان (روزهای با دمای حداقل مساوی یا کمتر از صفر درجه سانتیگراد) در استان کاهش می‌یابد که بیشترین کاهش در ماه فوریه به تعداد ۲/۹ روز خواهد بود. بیشترین کاهش تعداد روزهای یخبندان مربوط به بیرجند می‌باشد.

- تعداد روزهای تر (روزهای با بارش بیشتر از ۰/۱ میلی متر) در کل استان افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش روزهای تر در جنوب استان و در شهرستان نهبندان می‌باشد. تعداد روزهای خشک (روزهای فاقد بارش یا بارش کمتر از ۰/۱) در شهرستانهای بشرویه، فردوس و قاین افزایش و در بیرجند، خوربیرجند و نهبندان کاهش می‌یابند. بطور کلی در استان تعداد روزهای بدون بارش کاهش می‌یابند.

بررسی خشکسالی‌های استان در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ براساس شاخص SPI نشان می‌دهد که خشکسالی‌های متوسط و شدید کاهش یافته ولی خشکسالی‌های بسیار شدید افزایش جزئی خواهد داشت. بطور کلی خشکسالی‌های استان در دوره مذکور کاهش خواهند یافت.

### پیشنهادات

هر چند پیش بینی شده است بارش استان در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ به میزان ۴ درصد افزایش می‌یابد، اما بارش های زمستانه این استان کاهش یافته و بارش های تابستانه افزایش می‌یابند. همزمان دمای استان نیز به میزان ۰/۳ درجه سانتیگراد افزایش خواهد داشت.

بشرویه، فردوس برای کالیبره کردن مدل آماری LARS-WG استفاده شد که مهمترین نتایج آن بشرح زیر می‌باشد:

- بطور کلی در استان خراسان جنوبی، میانگین بارش در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ به میزان ۴ درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش در شهرستان نهبندان واقع در جنوب و جنوب شرق استان خواهد بود، شهرستانهای فردوس، قاین و خوربیرجند با کاهش جزئی بارندگی مواجه خواهند بود. علیرغم افزایش میانگین بارش در کل استان، بارش فصل زمستان در مقایسه با دوره پایه کاهش می‌یابد، اما در مقابل بارشهای تابستانه بیشترین افزایش را خواهند داشت،

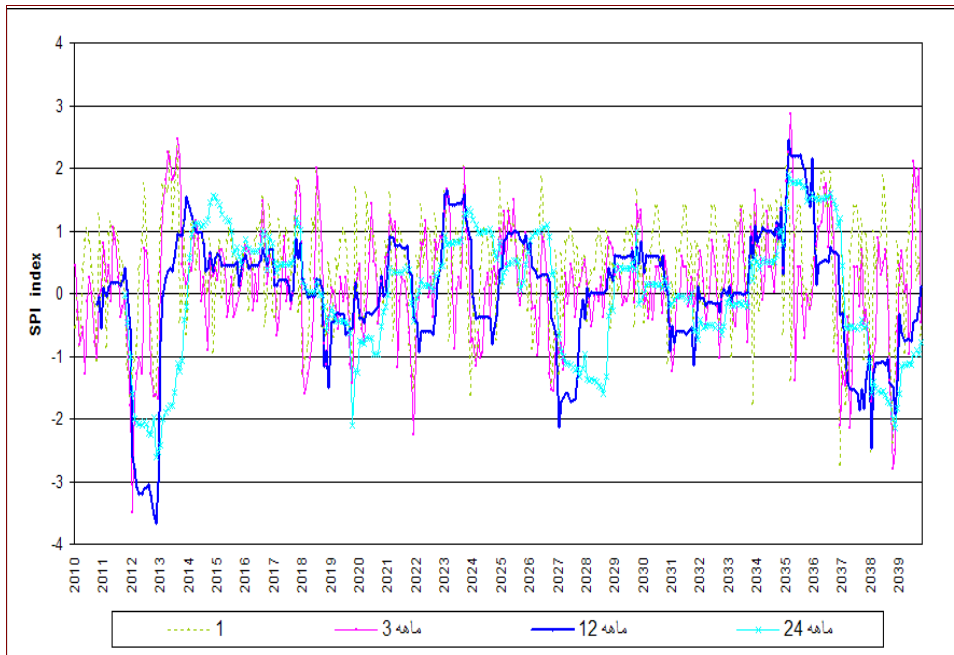
- میانگین دما در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی بطور متوسط ۰/۳ درجه سانتیگراد در مقایسه با دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۶ افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش در فصل زمستان به میزان ۱ درجه سانتیگراد خواهد بود. کمترین افزایش دما در ایستگاه فردوس می‌باشد،

- میانگین دمای بیشینه استان ۰/۳ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش دمای بیشینه عمدتاً در ماههای سرد سال یعنی ژانویه، نوامبر، فوریه و مارس رخ می‌دهد. همچنین تعداد روزهای داغ (با دمای بیشینه بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد) بجز در نهبندان در سایر شهرستانها نسبت به دوره آماری کاهش می‌یابند.

- همانند دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه ماهانه نیز در مقایسه با دوره آماری افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش ماهانه آن

(جدول ۴) - فراوانی و میانگین فراوانی رخدادهای خشکسالی براساس شاخص SPI (دوازده ماهه) ایستگاههای مورد مطالعه طی دوره پایه و آینده

ردیف	ایستگاه	پارامتر	دوره آماری (۱۹۸۶-۲۰۰۵)			دوره آینده (۲۰۱۰-۲۰۳۹)		
			خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	بسیار شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	بسیار شدید
۱	فراوانی	۱۲	۲۲	۷	۱۶	۱۴		
۲	میانگین فراوانی	۰/۶۳	۱/۱۵	۰/۳۷	۰/۵۵	۰/۴۸		
۳	فراوانی	۱۱	۱۹	۲	۱۵	۲۱		
۴	میانگین فراوانی	۰/۵۷	۱	۰/۱	۰/۴۸	۰/۷۲		
۵	فراوانی	۲۵	۷	۸	۱۷	۱۵		
۶	میانگین فراوانی	۱/۳	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۵۹	۰/۵۱		
۷	فراوانی	۲۹	۱۳	۲	۲۶	۱		
۸	میانگین فراوانی	۱/۵	۰/۶۸	۰/۱	۰/۹۲	۰/۰۳		
۹	فراوانی	۱۷	۲۱	۶	۱۰	۱۲		
۱۰	میانگین فراوانی	۰/۸۹	۱/۱	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۴۱		
۱۱	فراوانی	۲۵	۰	۳	۱۶	۱۳		
۱۲	میانگین فراوانی	۱/۳۲	۰	۰/۱۶	۰/۵۵	۰/۴۵		



(شکل ۲۰) - سری زمانی شاخص SPI ایستگاه سینوپتیک بیرجند برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی

یخبندان و افزایش میانگین دمای حداقل عملکرد محصول استراتژیک زعفران که در دوره رشد و محصول دهی نیاز به سرما دارد، کاهش می یابد. همچنین با تغییرات پارامترهای هواشناسی پهنه های اقلیمی موجود نیز دچار تغییرات می گردند که بدنبال آن شرایط اقلیم کشاورزی استان نیز دچار تغییر می گردند. بنابراین لازم است مسئولین و برنامه ریزان استان در بخش های حوادث غیر مترقبه، کشاورزی و منابع آب راهکارهای لازم برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب وهوایی جدید را اتخاذ نمایند.

این موضوع دو پیامد کاهش بارش های برف و افزایش بارش های سنگین و سیل آسا را بدنبال دارد که می تواند موجب کاهش ذخیره و تامین منابع آبی استان از طریق ذوب تدریجی برف در مناطق کوهستانی ونیز افزایش خسارات ناشی از وقوع بارش های سنگین و نیز شسته شدن خاکهای حاصلخیز را بدنبال داشته باشد، لذا تاکید و توجه به منابع طبیعی، آبخیزداری و آبخوانداری و تقویت مراتع برای کاهش اثرات بارش های سیل آسا مفید می باشد. افزایش دمای استان می تواند باعث کاهش دوره رشد محصولات کشاورزی گردد که موجب کاهش عملکرد آنها می گردد. با کاهش تعداد روزهای

## منابع

- ۱- بابائیان ا. و نجفی نیک ز. ۱۳۸۶. مدل سازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹، پروژه خاتمه یافته پژوهشکده اقلیم شناسی، صص ۱۳-۵ و ۱۰۷
- ۲- علیزاده ا.، موسوی ف.، کمالی غ. و موسوی بایگی م. ۱۳۸۵. هوا و اقلیم شناسی، چاپ نهم، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، صص ۳۰۱-۳۰۹.
- ۳- مسعودیان س.ا. ۱۳۸۵. مرزبندی مناطق آبی ایران به کمک شاخص آشفستگی بارش، مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، شماره ۱، صفحه ۱-۲:
- ۴- هدایتی دزفولی ا.، و صداقت کردار ع. ۱۳۸۶. مقایسه تطبیقی سه شاخص خشکسالی در اقلیم های مختلف ایران، مجله علمی وفنی نیوار، شماره های ۶۶ و ۶۷، پاییز و زمستان ۱۳۸۶، صص ۶۵
- 5- Babaeian I., Kwon W.T., and Im E.S. 2004. Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research lab., 98pp.
- 6- Dubrovsky M. 1998: Estimating climate change impacts on crop yields with use of crop growth model and weather generator. Proc. 14th Conf. Prob. Stat., AMS.
- 7- Dubrovsky M. 1996: Met&Roll: the stochastic generator of daily weather series for the crop growth model.

- Meteorological Bulletin 49, 97-105.
- 8- Dubrovsky M. 1996. Validation of the stochastic Weather Generator Met&ROLL, Meteorologickeo Zpravy, Vol49, pp. 12q – 1380.
  - 9- Elshamy M.E., Wheater H.S., Gedney N., and Huntingford C. 2005: Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *Journal of Hydrology*, 326:1-24.
  - 10- Haltiner G. and Williams R. 1980. *Numerical Prediction and Dynamic Meteorology*, John Wiley&Sons, 115-120.
  - 11- Johnson G.L., Hanson C.L., Hardegree S.P., and Ballard E.B. 1996: Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. *J. Applied Meteorology* 35, 1878-1896.
  - 12- McKee T.B. Doesken N.J. and Kleist J. 1995. "Drought Monitoring with Multiple Time Scales" . In Proc,9th Conf.on Applied Climatology, January 15-20,American Meteorological Society, Massachusetts,pp.233-236.
  - 13- Rasco P., Szeidl L., and Semenov M.A. 1991: A serial approach to local stochastic models. *J. Ecological Modeling* 57, 27-41.
  - 14- Semenov M.A., 2007: Developing of high-resolution UKCUP02-based climate
  - 15- change scenarios in the UK. *Agricultural and forest meteorology*, 144:127-
  - 16- Semenov M.A., and Barrow E.M. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
  - 17- Semenov M.A. and Brooks R.J. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climate Research* 11: 137-148.
  - 18- Semenov M.A., Brooks R.J., Barrow E.M., and Richardson C.W. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates. *Climate Research* 10, 95-107.
  - 19- Thompson C.S., and Mullan A.B. 1995: *Weather Generators*. NIWA Internal report, 115- 120.
  - 20- Wilks D.S. and Wilby R.L. 1999: The weather generation game: a review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography* 23, 329-357.
  - 21- Wilks D.S. 1992. Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Climate Change*. 22, 67-84.
  - 22- Wilby R.L., Conway D., and Jones P.D. 2002. Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters, hydrological processes, 16:1215-1234.
  - 23- Wilby R.L, Dawson C.W, and Barrow E.M. 2001. SDSM Version 3.1 –A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts.



## Climate Change Prediction of South Khorasan Province During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Data

F. Abbasi<sup>1\*</sup> - S. Malbusi<sup>2</sup> - I. Babaeian<sup>3</sup> – M. Asmari<sup>4</sup> – R. Borhani<sup>5</sup>

### Abstract

In this research, four meteorological set of data including maximum temperature, minimum temperature, precipitation and radiation from ECHO-G, under A1scenario have been used for climate change detection over south khorasan. ECHO-G is a General circulation model that currently is used in Hamburg university and Korea meteorological research institute. In this research climate change assessment has been studied for the period of 2010-2039. Analysis of downscaled meteorological parameters by Lars-WG model over six meteorological stations of South khorasan have been performed. The results showed that annual mean of precipitation will increase by 4 percent. Annual mean temperature are projected to increase by 0.3 °C, with maximum temperature increase of 1°C in winters. Our results revealed that the number of dry days in northern stations including Boshruyeh, Ferdous and Ghayen will increase in Comparison to the their normal values but it will decrease in the southern stations of Birjand, Khor and Nehbandan.

**Keywords:** General Circulation model, Lars-WG, South Khorasan, Climate Change

---

1- Member of Climate Change Lab, Climatologically Research Institute University of applied Science Technology  
(\* - Corresponding author E-mail: abbasi9999@yahoo.com)

2- Expert of Climate Change Lab., Climatologically Research Institute

3-PhD Student of climatology, Tabriz University and Member of Climate Change Lab Climatologically Research Institute

4- Expert of Mashhad Forecasting Center, Khorasan – Razavi Meteorology of fice

5- South Khorasan Meteorological office