

# ارزیابی شرایط خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان طی (۱۴۱۰-۱۳۹۱) با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو

غلامعلی مظفری<sup>۱</sup>

شهاب شفیع<sup>۲</sup>

زهرا تقی‌زاده<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۲۱

\*\*\*\*\*

## چکیده

در چند دهه اخیر افزایش دمای زمین باعث بر هم 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. هدف این مطالعه، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری است که در آن داده‌های سناریوی A2 مدل گردش عمومی جو ECHO-G اجرا می‌شود. برای ارزیابی، تغییرات اقلیمی و خشکسالی استان سیستان و بلوچستان در دوره آماری ۱۳۹۱ تا ۱۴۱۰ توسط مدل LARS-WG ریز مقیاس شدند. در این مطالعه از داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش و بارش مدل ECHO-G و داده‌های واقعی ۷ ایستگاه استان شامل چابهار، ایرانشهر، خاش، سراوان، زابل، زهک و زاهدان استفاده شده است. نتایج کلی بررسی‌ها برای دوره مذکور گویای افزایش ۸ درصدی بارش در استان و کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سلسیوس می‌باشد. بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان ۰/۹ درجه سلسیوس خواهد بود. همچنین تعداد روزهای خشک در شهرستان سراوان افزایش و در بقیه شهرستان‌ها کاهش می‌یابد و بطور کلی خشکسالی‌های این استان در دوره ۱۳۹۱-۱۴۱۰ کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریز مقیاس نمایی، مدل گردش عمومی جو، سیستان و بلوچستان.

\*\*\*\*\*

۱- دانشیار آب و هواشناسی گروه جغرافیای دانشگاه یزد [gmozafari@yazd.ac.ir](mailto:gmozafari@yazd.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه یزد [shafieshabab@gmail.com](mailto:shafieshabab@gmail.com)

۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه یزد [gmail.com@ztaghzade95](mailto:gmail.com@ztaghzade95)

## ۱- مقدمه

و زمانی مورد نیاز در مدل‌های بررسی‌کننده تأثیر تغییر اقلیم با خروجی مدل‌های GCMs و نیاز به بررسی روند تغییر در پارامترهای حدی هواشناسی در مقیاس منطقه‌ای باعث شده است تا تکنیک‌های ریز مقیاس‌نمایی مختلفی توسعه یابند (سیدکابلی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۷۷). به عبارتی این مدل‌ها با استفاده از، خروجی مدل‌های GCM و بکارگیری سناریوی خاص مدل تولیدکننده داده‌های آب و هوایی داده‌های گردش عمومی در مقیاس درشت را به مقیاس‌های ریزتر تبدیل می‌کنند. مهمترین نقطه قوت این مدل‌ها ارزان بودن، سرعت بالا و امکان استفاده از آن‌ها، بدون نیاز به ابر رایانه‌ها و یا رایانه‌های بسیار سریع می‌باشد (مشکواتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۲). ریز مقیاس‌نمایی را می‌توان به دو روش دینامیکی و آماری انجام داد. روش آماری ریز مقیاس کردن در مقیاسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر و عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. انواع مدل‌های ریز مقیاس‌نمایی عبارتند از: USCLIMATE، LARS-WG، CLIMGEN، SDSM.ROLL & MET (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱۹). این مدل‌ها توانایی محاسبه متغیرها در سطح قابل قبول برای ایستگاه‌ها را دارند، ولی در شرایط مقادیر تاریخی (برون‌یابی) مقادیر محاسباتی غیر واقعی به دست می‌آید (رسولی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۰). در این مطالعه به منظور شناسایی و پیش‌بینی خشکسالی و روزهای خشک استان سیستان و بلوچستان از روش ریز مقیاس‌نمایی آماری با استفاده از یک مدل مولد داده‌های هواشناسی به نام LARS-WG استفاده شده است. از مدل LARS-WG برای ریز مقیاس‌گردانی مدل‌های گردش عمومی به منظور پیش‌بینی تغییر اقلیم و اثرات آن استفاده زیادی صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از آنان اشاره می‌شود. تامسون و مولان<sup>۳</sup> (۱۹۹۵) در ارتباط با مدل‌سازی ۳۰ سال اقلیم ایستگاه‌های هواشناسی در نیوزلند پرداخته‌اند، همچنین مک کی<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۵) توانمندی

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث بر هم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده که به آن پدیده تغییر اقلیم<sup>۱</sup> اطلاق می‌شود. مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم افزایش میانگین دمای کره زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، طوفان، تگرگ، طوفان‌های حاره‌ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب شدن یخ‌های قطبی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام خواهد بود (حق طلب و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۸). به علت وقوع پدیده تغییر اقلیم، بسیاری از سامانه‌های محیط زیست طبیعی مانند منابع آب تحت تأثیر قرار گرفته‌اند، بطوری‌که بهره‌برداری از مخازن آب، تولید محصولات کشاورزی، فرایند فرسایش، تولید رواناب و بسیاری دیگر از فرایندهای هیدرولوژیکی دچار دگرگونی شده‌اند (سیدکابلی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۷۹). اما آنچه در مطالعات تغییر اقلیم ضروری بنظر می‌رسد افزایش آگاهی کمی و کیفی میزان تغییرات آینده و همچنین ارزیابی پیامدهای آن بر بخش‌های مختلف است، جنبه‌هایی که کمتر مورد توجه قرار گرفته است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۴۸). مدل‌های اقلیمی ابزارهای نوینی هستند که بیشتر از سی سال از ارائه آن‌ها نمی‌گذرد. در هر مدل اقلیمی تلاش شده تا فرآیندهایی که بر اقلیم مؤثرند شبیه‌سازی گردد و براساس آن وضعیت اقلیم برای سال‌های آینده پیش‌بینی شود. چون پیش‌بینی در شرایط اقلیم آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به طور قطعی ممکن نیست، راه حل جایگزین، مشخص کردن امکان رخدادهای گوناگون برای آن است که سناریوی اقلیمی نامیده می‌شود (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳: ۸۳۶). شناخت اثرات تغییر اقلیم و توسعه استراتژی‌های سازگار با اقلیم، نیاز به ابزاری جهت تولید سناریوهای اقلیمی در آینده دارد. امروزه مدل‌های گردش عمومی<sup>۲</sup> GCM مناسب‌ترین ابزار برای توسعه سناریوهای اقلیمی آینده می‌باشند. اما خروجی این مدل‌ها اغلب دارای مقیاس زمانی ماهانه و مکانی در حدود ۳۰۰ کیلومتر می‌باشند. عدم تطابق مقیاس مکانی

3- . Thompson C.S., and Mullan A.B

4- . McKee T.B at all

1- Climate Change

2- (General Circulation Models-GCMs)

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۵)**  
ارزیابی شرایط خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان ... / ۱۰۳

دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۶۱) مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل لارس متغیرهای بارش، دمای حداقل و حداکثر را در سه ایستگاه مشهد، سبزواری و بیرجند کمتر از مقادیر واقعی شبیه سازی نموده است.

عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ی تغییرات اقلیمی، خراسان جنوبی را در دوره زمانی ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ با استفاده از مدل LARS-WG مورد بررسی قرار دادند. مشکواتی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۹۳ پرداخته‌اند، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بطور کلی عملکرد مدل لارس در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی ایستگاه‌های تحت بررسی مناسب است و می‌توان از آن جهت بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها در دوره گذشته و یا تطویل این داده‌ها به دوره آینده بهره جست. همچنین می‌توان از آن در جهت ارزیابی اقلیم آینده‌ی استان در مقیاس محلی استفاده نمود. آبابایی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ی عملکرد مدل LARS-WG را در ۴ ایستگاه ساحلی شمالی و ۸ ایستگاه ساحلی جنوبی ایران در رابطه با شبیه سازی سری روزهای خشک و مرطوب، بارندگی، دما، تابش خورشیدی و نیز شبیه سازی وقایع حدی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G و نرم افزار LARS-WG اقلیم استان یزد در دوره آماری ۲۰۳۰ - ۲۰۱۱ بررسی شده و وضعیت خشکسالی آن در دوره مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

زهرایی (۱۳۹۱)، در پژوهش خود به شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی (GCMS) برنامه - برای دوره اقلیمی آینده (۲۰۳۵ - ۲۰۱۰) پرداخته‌اند. در این پژوهش داده‌ها را با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی A1 جهت ریزگردانی بر روی ۴ ایستگاه منتخب استان شامل زاهدان، زابل، ایرانشهر و چابهار مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. برای تجزیه و تحلیل رفتار

مدل CLIMGEN را برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های انتاریوی جنوبی در کانادا مورد مطالعه قرار دادند. جانسون<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۶) دو مدل مختلف تولید داده‌های هواشناسی به نام‌های USCLIMATE و CLIGEN را مورد بررسی قرار داد. زمیف و بارو<sup>۲</sup> (۲۰۰۲) در مطالعه‌ی شبیه سازی داده‌ها با استفاده از مدل LARS-WG را در انگلستان مورد مطالعه قرار داد. علاوه بر آن زمیف در مطالعه دیگری سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بررسی نمود. در این تحقیق از مدل LARS-WG برای ساختن سناریوهای اقلیمی روزانه استفاده گردیده است. بابائیان و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ی تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ را مورد ارزیابی قرار دادند. الشمی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی اثرات هیدرولوژی تغییر اقلیم بوسیله مدل‌های گردش عمومی جو و یک مدل کوچک مقیاس کننده آنالوگ در جنوب انگلستان را مورد بررسی قرار داده‌اند. 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 ریزمقیاس می‌کند. خان<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۶) سه مدل LARS-WG، SDSM و شبکه عصبی مصنوعی را مورد آزمون قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که مدل SDSM در سطح اطمینان ۹۵ درصد داده‌های مشاهداتی را بهتر از سایر مدل‌ها توانسته است در مقادیر ریزمقیاس شده حفظ نماید. زمیف (۲۰۰۷) در مطالعه‌ی تغییرات اقلیمی کشور کره جنوبی را با استفاده از مدل LARS-WG در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ را مورد ارزیابی قرار داد.

بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵) توانایی مدل LARS-WG را برای شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی استان خراسان در

1- Johnson G.L and etal

2- Semenov M.A., and Barrow E.M

3- Elshamy M.E and etal

4- Khan

و در بین ایستگاه‌ها نیز برآورد متفاوت به دست آمد. صالح نیا و همکاران (۱۳۹۳)، در مطالعه خود به مقایسه دو مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و ASD در پیش بینی بارش و دما تحت شرایط تغییر اقلیم و در وضعیت‌های آب و هوایی متفاوت پرداخته. نتایج نشان داده که مدل ASD با میانگین خطای، ۰/۱۱، ۰/۰۱، ۰/۰۲، به ترتیب برای ایستگاه نسبت به مدل LARS از دقت بیشتری برخوردار است. پیش بینی تغییرات بارش در این مدل در هر سه ایستگاه نسبت به مدل LARS کمتر است.

پژوهش حاضر نیز با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G و نرم افزار LARS-WG اقلیم استان سیستان و بلوچستان را در دوره آماری ۱۳۹۱ تا ۱۴۱۰ بررسی قرار داده که همچنین وضعیت خشکسالی آن در دوره مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- 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 (راسکو و همکاران، ۱۹۹۱:۳۰). نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست در سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه‌ی ارزیابی ریسک کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. در این مدل از روش زنجیره‌ی مارکف برای مدل‌سازی رخداد بارش استفاده می‌شود. زنجیره مارکف همیشه قادر نیست به طور صحیح طول دوره خشکی را شبیه سازی نماید. طول دوره‌ی خشکی برای ارزیابی عملکرد محصولات کشاورزی در مناطق مختلف جهان بسیار مهم است. کارایی دو مدل LARS-WG و WGEN در ۱۸ ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا توسط زمنف بررسی شد. نتایج مدل LARS-WG در مقایسه با WGEN همخوانی بیشتری با داده‌های دیده‌بانی

و تغییرات دمای کمینه و بیشینه روزانه، از داده‌های بارش روزانه و میزان تابش دریافتی ایستگاه‌ها جهت شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی استفاده شده است. تحلیل داده‌های تولید شده در دوره اقلیمی آینده و مقایسه آن با دوره گذشته حاکی از افزایش بارش در ایستگاه‌ها و همچنین افزایش فراوانی تعداد بارش‌های سنگین در محدوده‌های ایستگاه‌ها بود. در دوره اقلیمی آینده مؤلفه کمینه دما بیش از بیشینه افزایش یافته که منجر به کاهش دامنه شبانه روزی دما و کاهش آسایش دمایی در سال‌های آتی برای استان است.

عباسی و همکاران (۱۳۹۱)، به ارزیابی تغییر اقلیم ایران در ده‌های آینده ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو پرداخته‌اند. نتایج اجرای مدل با داده‌های HadCM2 کاهش ۲/۵ درصدی بارش تا دهه ۲۱۰۰ است. در حالی که برای دوره مشابه در مدل ECHAM بارش‌های کشورمان ۱۹/۸ درصد افزایش می‌یابد. تحلیل مکانی نتایج مدل HadCM2 نشان می‌دهد که در دهه‌های آینده استان‌های مازندران، گلستان خراسان شمالی، شمال خراسان رضوی و سمنان، تهران و بخش‌هایی از گیلان و قزوین با افزایش بارش مواجه خواهند شد، در حالی که مدل ECHAM4 برای مناطق مذکور کاهش بارش را پیش‌بینی کرده است. در هر حال در هر دو مدل تمامی استان‌های کشور با افزایش دما در آینده مواجه‌اند. رضایی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک پرداخته‌اند. نتایج نشان داد میزان بارش سالانه تا سال ۲۰۲۹ در ایستگاه کرمان در سناریوهای A2 و B2 به ترتیب (۱/۳) و (۰/۳) میلی متر کاهش و در ایستگاه بم حدود (۴/۵۶) (۵/۴۶) میلی متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. رسولی و همکاران (۱۳۹۳)، به بررسی اثر عوامل مرفو - اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل LARS-WG پرداخته و نتایج نشان داد که دقت مدل در ایستگاه‌های منتخب متفاوت بوده ولی شبیه‌سازی دما با دقت مناسب‌تری انجام گرفت. مدل در برآورد بارش از دقت کمتری برخوردار بوده

سناریوی خاص مدل LARS-WG تدوین می‌شود. برای تدوین این سناریو بایستی داده‌های شبکه‌ای مدل ECHO-G در دوره‌ی آینده با داده‌های دوره‌ی پایه مقایسه شوند. در این مطالعه دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۰ و دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱ 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. سپس این مدل با دریافت فایل محتوی رفتار اقلیم گذشته ایستگاه و فایل سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش روزانه را در آینده محاسبه می‌کند. مکانیسم عمل مدل به این صورت است که 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. که در آن  $F_{obs}$ ،  $F_{GCM}^{base}$  و  $F_{GCM}^{fut}$  به ترتیب نشان دهنده پارامتر هواشناسی پیش بینی شده بر روی ایستگاه هواشناسی، پارامتر هواشناسی دیده بانی شده در همان ایستگاه، پارامتر هواشناسی پیش بینی شده بر روی شبکه‌ی مدل در دوره آینده و پارامتر هواشناسی مدل شده بر روی شبکه‌ی مدل در دوره گذشته می‌باشند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آنها را مطابق فرمول:

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

تغییر می‌دهد (بابائیان و همکاران، ۱۴۰:۱۳۸۱) که در آن  $STD$  انحراف معیار پارامتر هواشناسی تحت بررسی است. در این تحقیق جهت پایش و مطالعه پدیده خشکسالی شاخص SPI انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. SPI (شاخص بارش استاندارد)، 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

دارد (زمنف و بروکس، ۱۹۹۹:۱۴۰). 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. در توزیع نیمه تجربی فاصله‌ها به طور مساوی بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم سری ماهانه تقسیم می‌شوند:

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i, \dots, i=0, 1, 2, \dots, 10\}$$

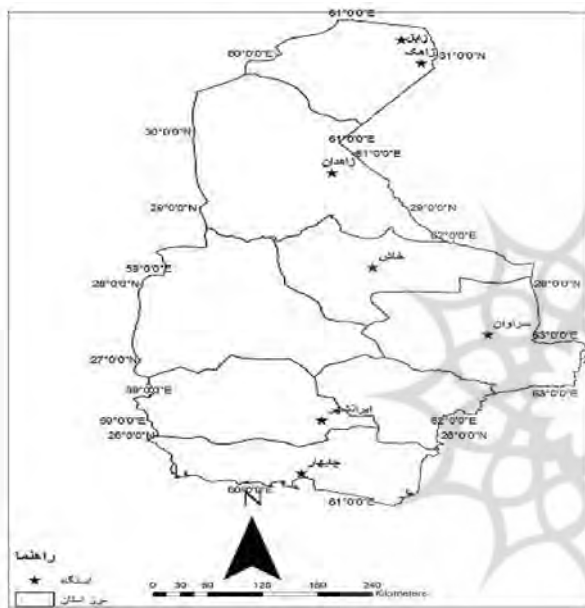
در اینجا EMP یک هیستوگرام با ده بازه با شدت‌های مختلف بارش است.

$a_{i-1} = a_i$   
 $h_i$  تعداد رخداد بارش در  $i$  مین فاصله را نشان می‌دهد. فاصله‌ها برای طول روزهای تر و خشک و بارش افزایشی هستند. در این مدل تابش بطور مستقل از درجه حرارت مدل شده است و به جای آن می‌توان از ساعات آفتابی نیز استفاده کرد. مقدار بارش یک روز تر از توزیع نیمه تجربی بارش ماه مورد نظر و مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۹:۱۳۸۱).

در این مدل 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 همبستگی زمانی داده‌های مینیمم و ماکزیمم مورد استفاده قرار می‌گیرند (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۶:۱). خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشند. تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. در این مدل ابتدا 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 ECHO-G یک

نظیر آب‌های سطحی و آب‌های زیر زمینی فراهم می‌سازد (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳:۲۳۳). 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 میانگین است. دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر و منفی و به مقدار -۱ یا کمتر برسد. ویژگی دیگر SPI این است که به کمک آن می‌توان آستانه خشکسالی را برای هر دوره زمانی تعیین کرد. بر اساس این شاخص، علاوه بر محاسبه شدت خشکسالی، مدت آن نیز تعیین می‌شود (هدایتی دزفولی و صداقت کردار، ۱۳۸۶:۵).



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- میانگین بارش

با اجرای مدل، سری‌های پیش بینی بارش‌های روزانه ۷ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در دهه ۱۴۰۰ 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 (۱۴۱۰ - ۱۳۹۱) و دوره پایه (۱۳۷۱ - ۱۳۹۰) محاسبه گردید. به غیر از ماه مهر که انحراف معیار بارش دوره آینده آن کمتر از نرمال می‌باشد،

در سایر ماه‌های سال انحراف معیار بارش بیشتر از دوره

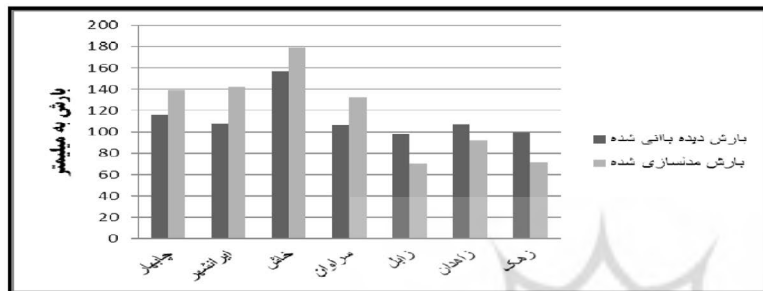
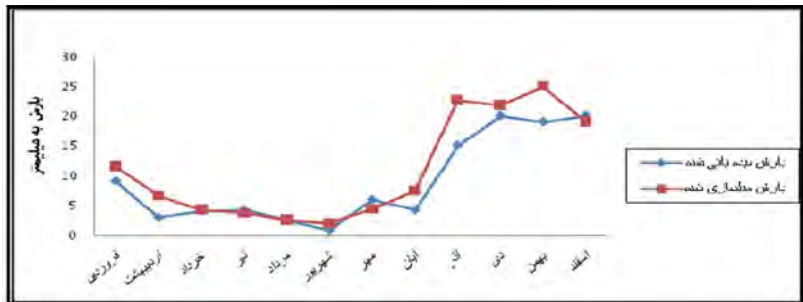
جدول ۱: مقادیر SPI.

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
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر

#### ۲-۲- داده‌ها، منطقه و دوره مورد مطالعه

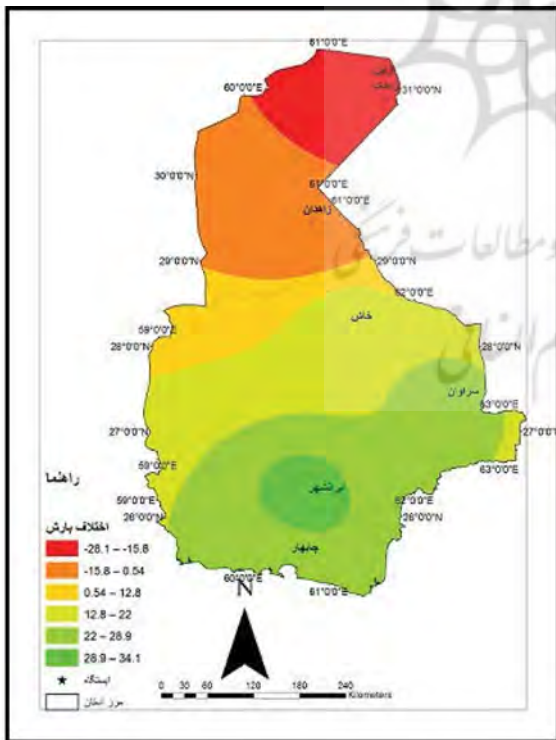
در این مطالعه ابتدا داده‌های دمای حداقل، حداکثر، بارندگی و تابش آفتاب مربوط به ۷ ایستگاه سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان که دارای آمار مشترک و بلند مدت

نگاره ۲: مقایسه میانگین بارش ماهانه استان سیستان و بلوچستان در دوره ۱۳۹۱ تا ۱۴۱۰ (دهه ۲۰۲۰) با دوره آماری پایه



نگاره ۳: مقایسه بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در دهه ۱۴۰۰ و دوره آماری پایه

استان در دهه ۱۴۰۰ نسبت به دوره آماری ۶ درصد افزایش می‌یابند. در نگاره (۴) توزیع مکانی تفاوت بارش‌های دهه ۱۴۰۰ نسبت به دوره آماری آورده شده است.



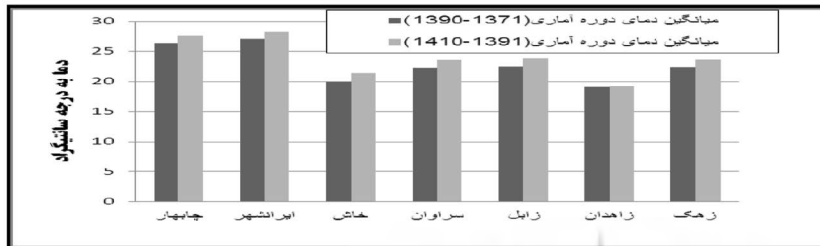
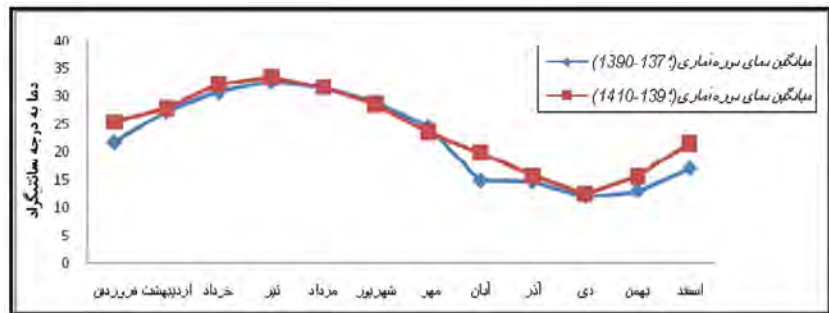
نگاره ۴: تفاوت بارش‌های سالانه استان در دهه ۱۴۰۰ با دوره آماری پایه

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 نگاره (۳) میانگین ماهانه بارش استان آورده شده است. ملاحظه می‌شود که میانگین بارش استان بجز در ماه‌های مهر و اسفند در مقایسه با نرمال کاهش یافته، در سایر ماه‌های سال بیشتر از نرمال می‌باشند.

میزان کاهش بارندگی نسبت به نرمال در ماه مهر به میزان ۳ درصد خواهد بود. بنظر می‌رسد که الگوی بارش حاکی از افزایش بارش‌های زمستانه و بهار کشورمان در بخش‌های جنوب شرقی می‌باشد. نگاره (۳) میزان بارندگی طی دوره آماری و همچنین مقدار آن‌ها را در دهه ۱۴۱۰ به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در سال‌های پیش‌بینی شده در شهرستان‌های چابهار، ایرانشهر، خاش و سراوان بارندگی‌ها در مقایسه با دوره آماری افزایش خواهند یافت.

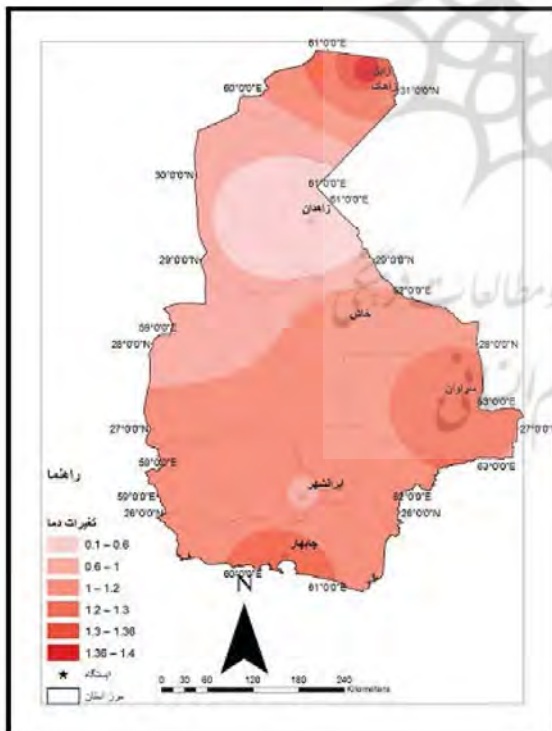
بیشترین افزایش بارندگی در ایستگاه ایرانشهر به میزان ۳۴ درصد و بیشترین کاهش آن در ایستگاه زابل و زهک به میزان ۳۰ درصد رخ خواهد داد. در مجموع بارش‌های سالانه

نگاره ۵: میانگین دمای ماهانه استان سیستان و بلوچستان در دوره ۱۳۹۱ تا ۱۴۱۰ و دوره پایه



نگاره ۶: مقایسه میانگین دمای ایستگاه‌های استان در دهه ۱۴۰۰ با دوره آماری پایه

غربی 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.



نگاره ۷: توزیع مکانی اختلاف میانگین دمای دوره آینده (۱۴۱۰-۱۳۹۱) نسبت به دوره آماری میانگین دما در ایستگاه‌های منتخب استان در دهه ۱۴۰۰ و دوره آماری پایه

### ۲-۳ میانگین دما

نتایج مدل نشان می‌دهد که میانگین دمای استان در دوره ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۰ در مقایسه با دوره آماری به جز ماه‌های مرداد، شهریور و مهر در سایر ماه‌های سال افزایش می‌یابد. نگاره (۵) میانگین ماهانه دمای استان را دهه ۱۴۰۰ و دوره آماری نشان می‌دهد بیشترین افزایش دما در ماه اسفند می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین افزایش میانگین دما نسبت به دوره آماری در فصل زمستان به میزان ۱/۱ درجه سلسیوس رخ می‌دهد و پس از آن در فصل پاییز قرار دارد. به عبارت دیگر افزایش دمای فصل سرد سال، بیشتر از سایر فصل‌ها می‌باشد. به طور کلی میانگین دمای استان در دهه ۱۴۰۰ به میزان ۰/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. در نگاره (۶) میانگین دمای دوره پایه و دهه ۱۴۰۰ به تفکیک ایستگاه‌ها نشان داده شده است. بیشترین افزایش دما مربوط به ایستگاه زابل و زحک به میزان ۱/۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. میانگین دمای بیشینه و کمینه استان نیز در دهه ۱۴۰۰ افزایش خواهد یافت. در نگاره (۷) توزیع مکانی اختلاف بین میانگین دمای آینده و گذشته ارائه گردیده است. ملاحظه می‌شود که در دوره مورد مطالعه آینده (۱۴۱۰-۱۳۹۱) تمامی مناطق استان با افزایش دما مواجه خواهند بود که بیشترین افزایش دما در نواحی شرقی، جنوبی و شمالی استان رخ می‌دهد و نواحی



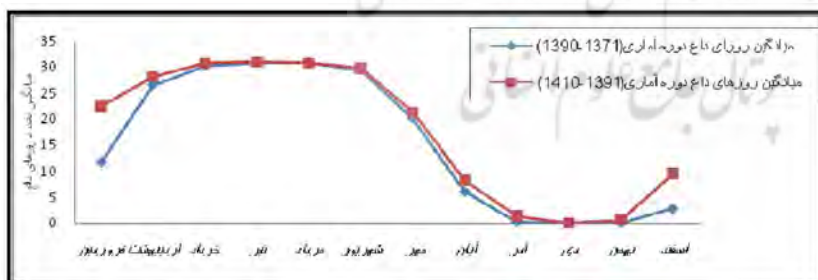
### ۳-۳- روزهای داغ و یخبندان

تعداد روزهای یخبندان به تفکیک ایستگاه‌های منتخب طی دوره ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ و دوره پایه ۱۳۹۰-۱۳۷۱ نشان داده شده است. مطابق نگاره مذکور، تعداد روزهای یخبندان بجز چابهار و ایرانشهر که تغییری نکرده‌اند در سایر ایستگاه‌ها نسبت به دوره آماری کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش تعداد روزهای یخبندان مربوط به زاهدان می‌باشد.

براساس تعریف، روز داغ به روزی گفته می‌شود که دمای بیشینه آن از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر باشد و روز یخبندان عبارت از روزی است که در آن دمای کمینه صفر یا کمتر از آن باشد (زمنف و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۲۳). بر اساس این تعاریف، تعداد روزهای داغ و یخبندان برای دو دوره گذشته (۱۳۹۰-۱۳۷۱) و آینده (۱۴۱۰-۱۳۹۱) محاسبه شدند. نتایج نشان دادند که میانگین تعداد روزهای داغ آینده در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، آبان، آذر و اسفند در مقایسه با دوره پایه افزایش می‌یابد و بیشترین افزایش روزهای داغ در آینده مربوط به ماه فروردین با میانگین ۴ روز می‌باشد، بجز ماه‌های مذکور در سایر ماه‌های سال میانگین تعداد روزهای داغ تغییری نخواهد یافت. نگاره (۸) میانگین تعداد روزهای داغ استان را بطور ماهیانه در دوره ۱۳۹۱ تا ۱۴۱۰ و همچنین دوره آماری نشان می‌دهد. بطور کلی میانگین روزهای داغ در دهه ۱۴۰۰ نسبت به میانگین آن در دوره آماری در استان سیستان و بلوچستان افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان دادند که تعداد روزهای یخبندان در استان در دهه ۱۴۰۰ نیز در مقایسه با دوره آماری کاهش می‌یابد، بیشترین کاهش در ماه اسفند رخ می‌دهد که بطور میانگین حدود ۳ روز است. در نگاره (۹) میانگین

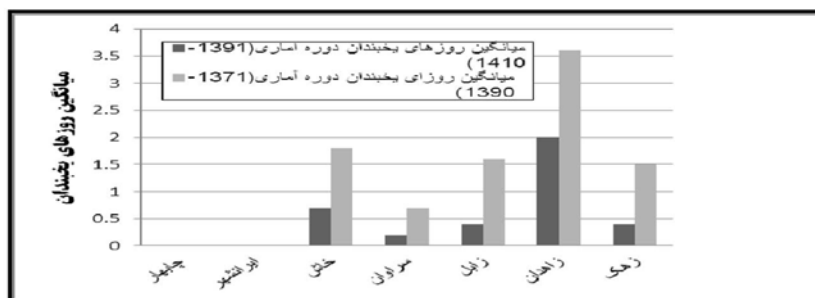
### ۳-۴- روزهای تر و خشک

روز خشک به روزی گفته می‌شود که مقدار بارش آن کمتر از ۰/۱ میلیمتر است و در روز تر مقدار بارش بیشتر از ۰/۱ میلیمتر است (زمنف، ۲۰۰۲). 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 فروردین، آبان، آذر، دی، بهمن و فروردین، اردیبهشت و شهریور افزایش می‌یابد، در ماه‌های خرداد و مرداد تغییر چندانی نمی‌یابد، در ماه‌های مهر و اسفند تعداد روزهای تر کاهش خواهند یافت. بیشترین افزایش تعداد روزهای تر در ماه آذر می‌باشد اما بطور کلی میانگین سالانه روزهای تر در استان افزایش خواهد یافت. در نگاره‌های (۱۰ و ۱۱) توزیع مکانی تغییرات روزهای تر و خشک آینده نسبت

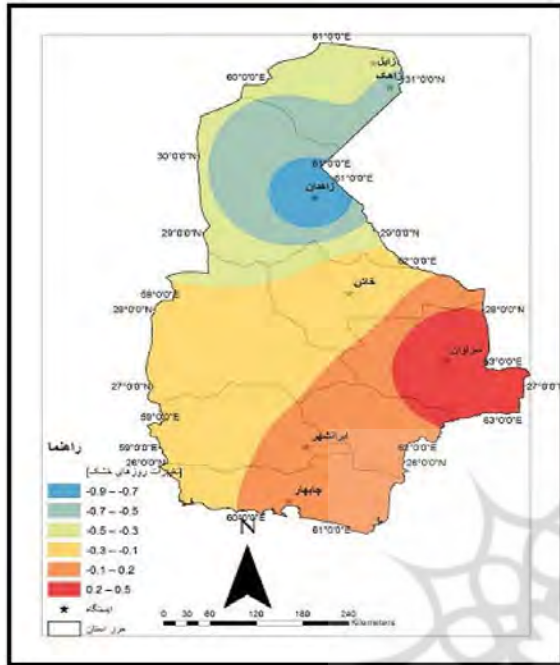


نگاره ۸: میانگین ماهانه تعداد روزهای داغ (یا بیشینه دمای بیش از ۳۰ درجه سلسیوس) استان سیستان و بلوچستان در دهه ۱۴۰۰ و دوره آماری پایه

نگاره ۹: میانگین تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه‌های منتخب استان در دوره ۱۳۹۱ تا ۱۴۱۰ و دوره آماری پایه



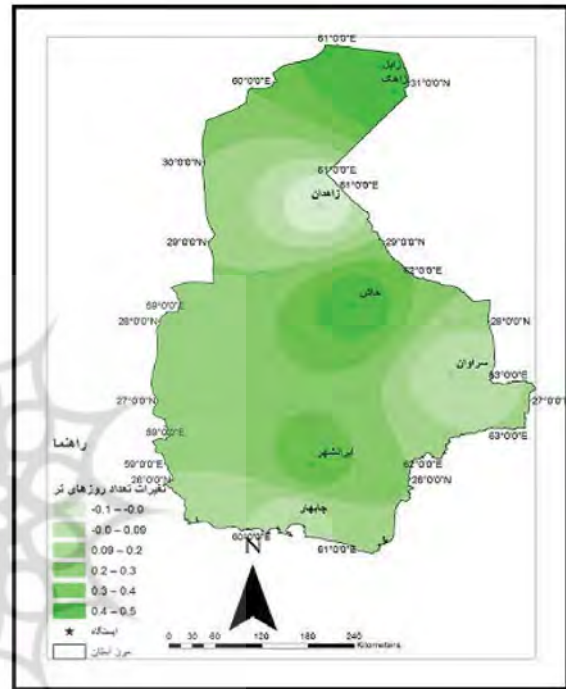
و بسیاری از رویدادهای خشکسالی در زمهره خشکسالی های شدید بشمار می آیند.



نگاره ۱۱: تغییرات تعداد روزهای خشک در دوره آماری ۱۳۹۱-۱۴۱۰ نسبت به دوره آماری پایه

در دوره آماری، نمونه های حاد و شدید خشکسالی وجود دارند. یک نمونه از آن در سال ۱۳۸۲ بوده که تمام ایستگاهها درگیر خشکسالی بودند (نگاره ۱۲). طی این سال میانگین بارندگی استان نسبت به دوره آماری ۴۰٪ کاهش داشته است. در صورت پذیرش تعریف خشکسالی با مقادیر کمتر از میانگین، عملاً در دوره پایه ۷ سال استان با خشکسالی مواجه بوده است. بررسی وضعیت خشکسالی ها در دوره آینده با استفاده از خروجی های مدل و محاسبه شاخص SPI نشان می دهند که در تمامی ایستگاه های استان، خشکسالی های بسیار شدید نسبت به دوره آماری کاهش دارد و در اکثر ایستگاه های استان، خشکسالی های ضعیف و متوسط در دوره ۱۳۹۱ تا ۱۴۱۰ شمسی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. ولی بطور کلی در دهه ۱۴۰۰ از شدت خشکسالی ها در استان کاسته خواهد شد و خشکسالی ها نسبت به دوره آماری کاهش می یابند.

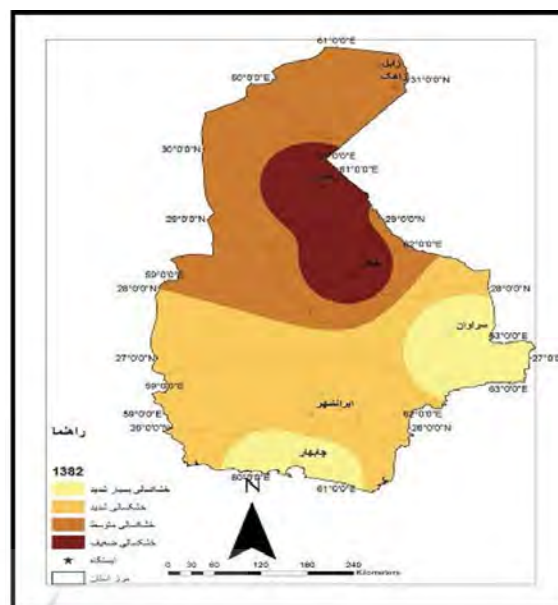
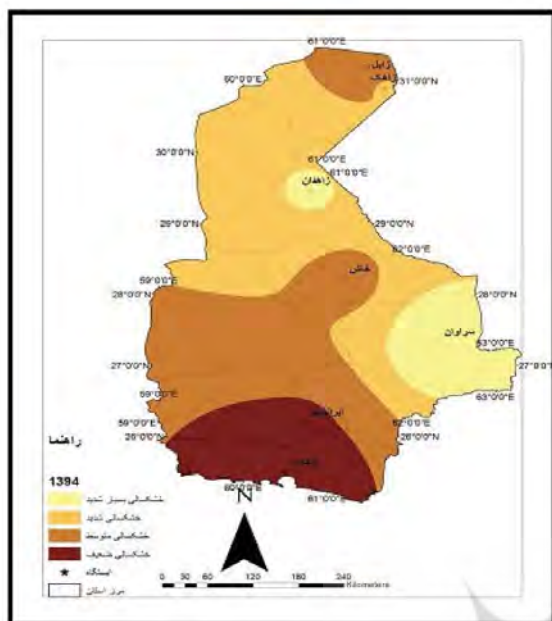
به دوره آماری آورده شده اند. همانطور که ملاحظه می شود بجز ایستگاه های زاهدان و سراوان در سایر ایستگاهها تعداد روزهای تر افزایش می یابد که بیشترین افزایش در شهرستان زابل و زهک با ۱/۴ روز در سال خواهد بود. تعداد روزهای خشک ایستگاه سراوان افزایش یافته است.



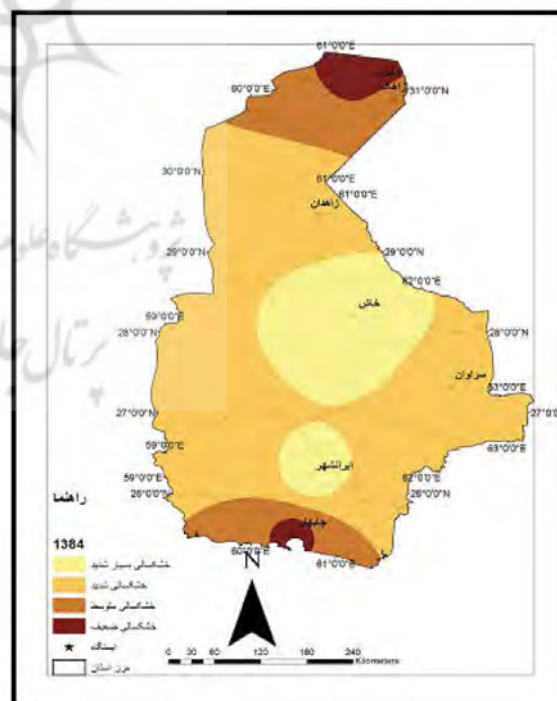
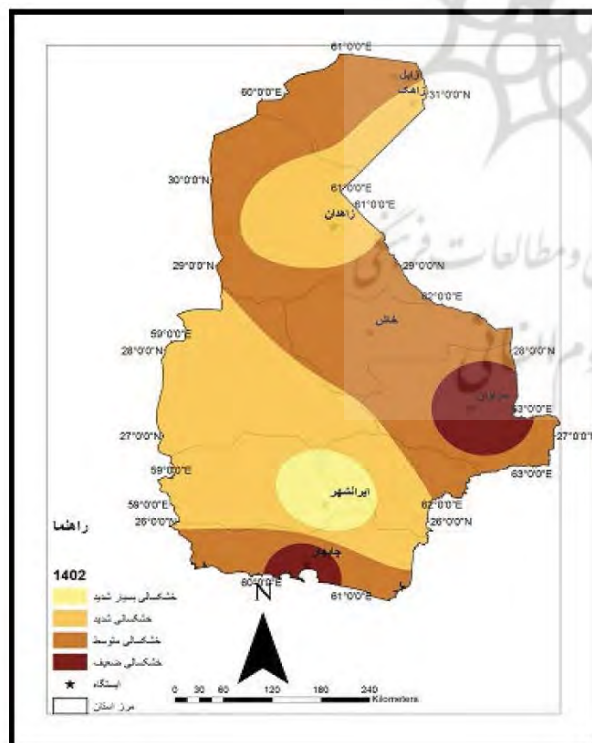
نگاره ۱۰: تغییرات تعداد روزهای تر در دوره آماری ۱۳۹۱-۱۴۱۰ نسبت به دوره آماری پایه

### ۳-۵- تحلیل وقوع خشکسالی

با استفاده از داده های بارندگی خروجی مدل LARS-WG در دوره ۱۳۹۱-۱۴۱۰ و همچنین داده های واقعی بارندگی در دوره پایه ۱۳۹۰-۱۳۷۱ شمسی، وضعیت خشکسالی ۷ ایستگاه سینوپتیک چابهار، ایرانشهر، خاش، سراوان، زابل، زهک و زاهدان مطالعه گردید. برای بررسی وضعیت خشکسالی از شاخص SPI که فقط بر اساس داده های بارندگی می باشد، استفاده شد. مقادیر SPI برای مقیاس زمانی دوازده ماهه ۷ ایستگاه استان سیستان و بلوچستان در دوره پایه و آینده محاسبه و استخراج گردیدند. تحلیل خشکسالی های استان نشان می دهند که پدیده خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان از فراوانی وقوع زیادی برخوردار است



نگاره ۱۲: پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۸۲ شمسی.  
 نگاره ۱۳: پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۸۴ شمسی.



نگاره ۱۴: پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۴ شمسی.  
 نگاره ۱۵: پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۴۰۲ شمسی.

خواهند یافت. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین افزایش میانگین دما نسبت به دوره آماری در فصل زمستان به میزان ۱/۱ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد و پس از آن در فصل پاییز قرار دارد. به عبارت دیگر افزایش دمای فصل سرد سال، بیشتر از سایر فصل‌ها می‌باشد.

بطور کلی میانگین دمای استان در دهه ۱۴۰۰ به میزان ۰/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. بیشترین افزایش دما مربوط به ایستگاه زابل به میزان ۱/۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. میانگین دمای بیشینه و کمینه استان نیز در دهه ۱۴۰۰ افزایش خواهد یافت.

نتایج نشان دادند که میانگین تعداد روزهای داغ آینده در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، آبان، آذر و اسفند در مقایسه با دوره پایه افزایش می‌یابد و بیشترین افزایش روزهای داغ در آینده مربوط به ماه اردیبهشت با میانگین ۴ روز می‌باشد، بجز ماه‌های مذکور در سایر ماه‌های سال میانگین تعداد روزهای داغ تغییری نخواهد یافت.

به طور کلی میانگین روزهای داغ در دهه ۱۴۰۰ نسبت به میانگین آن در دوره آماری در استان سیستان و بلوچستان افزایش می‌یابد.

نتایج نشان دادند که در دوره آینده تعداد روزهای تر در ماه‌های فروردین، آبان، آذر، دی، بهمن و فروردین، اردیبهشت و شهریور افزایش می‌یابند، در ماه‌های خرداد و مرداد تغییر چندانی نمی‌یابند، در ماه‌های مهر و اسفند تعداد روزهای تر کاهش خواهند یافت.

بیشترین افزایش تعداد روزهای تر در ماه آذر می‌باشد اما به طور کلی میانگین سالانه روزهای تر در استان افزایش خواهد یافت و همچنین به جز ایستگاه‌های زاهدان و سراوان در سایر ایستگاه‌ها تعداد روزهای تر افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش در شهرستان زابل با ۱/۴ روز در سال خواهد بود. تعداد روزهای خشک ایستگاه سراوان افزایش یافته است.

تحلیل خشکسالی‌های استان نشان می‌دهند که پدیده

با توجه به محاسبه و تعیین شاخص SPI در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو دوره پایه و دوره آینده نقشه پهنه‌بندی 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 از روی خروجی‌های مدل LARS-WG وقوع خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۴۰۲ را در اکثر مناطق استان نشان می‌دهد. (نگاره‌های ۱۴ و ۱۵) پهنه‌بندی خشکسالی استان را با استفاده از شاخص SPI در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۴۰۲ میلادی نشان می‌دهند.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی A2 به منظور ارزیابی تغییر اقلیم استان سیستان و بلوچستان در دوره آماری ۱۴۱۰-۱۳۹۱ بر روی ۷ ایستگاه استان سیستان و بلوچستان ریزمقیاس شدند. همچنین از داده‌های دوره آماری ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۰ ایستگاه‌های چابهار، ایرانشهر، خاش، سراوان، زابل، زهک و زاهدان برای کالیبره کردن مدل آماری LARS-WG استفاده شد که مهمترین نتایج آن بشرح زیر می‌باشد:

میانگین بارش استان بجز در ماه‌های مهر و اسفند در مقایسه با نرمال کاهش یافته، در سایر ماه‌های سال بیشتر از نرمال می‌باشند.

میزان کاهش بارندگی نسبت به نرمال در ماه مهر به میزان ۳ درصد خواهد بود. بنظر می‌رسد که الگوی بارش حاکی از افزایش بارش‌های زمستانه و بهاره کشورمان در بخش‌های جنوب شرقی می‌باشد.

نگاره (۳) میزان بارندگی طی دوره آماری و همچنین مقدار آن‌ها را در دهه ۱۴۱۰ به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در سال‌های پیش‌بینی شده در شهرستان‌های چابهار، ایرانشهر، خاش و سراوان بارندگی‌ها در مقایسه با دوره آماری افزایش

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۱۳)**  
ارزیابی شرایط خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان ... / ۱۱۳

علیرضا؛ ۱۳۹۳، بررسی اثر عوامل مورفو- اقلیمی بر دقت ریز  
مقیاس گردانی مدل LARS-WG، علوم و مهندسی آبخیزداری  
ایران، سال ۸، شماره ۲۴، کرج، صص ۹-۱۸.

۶- رضایی، نهتانی، مقدم‌نیا، آبکار، رضایی؛ مریم، محمد، علیرضا،  
علیجان؛ ۱۳۹۳، بررسی کارایی مدل ریز مقیاس‌نمایی آماری  
در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک، نشریه آب  
و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۴، مشهد،  
صص ۸۳۶ - ۸۴۵.

۷- زهرایی، اکبر (۱۳۹۱)، شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی استان سیستان  
و بلوچستان با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی  
جو (GCMs) برای دوره اقلیمی (۲۰۰۹ - ۲۰۴۰)، طاوسی، تقی،  
خسروی، محمود، پایان‌نامه کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه  
سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی.

۸- سیدکابلی، آخوند علی، مساح بوانی، رادمنش؛ حسام،  
سیدمحمد، علیرضا، فریدون؛ ۱۳۹۱، ارائه مدل ریزمقیاس‌نمایی  
داده‌های اقلیمی براساس روش ناپارامتریک نزدیکترین همسایگی  
(K-NN)، نشریه آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۴، مشهد، صص  
۷۷۹ - ۸۰۸.

۹- صالح‌نیا، علیزاده، سیاری؛ نسرين، امین، نسرين؛ ۱۳۹۳،  
مقایسه دو مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و ASD در  
پیش‌بینی بارش و دما تحت شرایط تغییر اقلیم و در وضعیت‌های  
آب و هوایی متفاوت، آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، ج ۸،  
تهران، صص ۲۳۳ - ۲۴۵.

۱۰- عباسی، بابائیان، اثمري، برهانی؛ فاطمه، ایمان، مرتضی،  
رضا؛ ۱۳۹۱، ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵-  
۲۱۰۰) با استفاده از ریز مقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش  
عمومی جو، تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۱، اصفهان،  
صص ۲۰۵-۲۲۹.

۱۱- عباسی، ملبوسی، بابائیان، اثمري، برهانی؛ فاطمه، شراره،  
ایمان، مرتضی، رضا؛ ۱۳۸۹، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان  
جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریز مقیاس  
نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G، نشریه آب و خاک،  
جلد ۲۴، شماره ۲، مشهد، صص ۲۱۸-۲۳۳.

۱۲- مشکواتی، کرد جزی، بابائیان؛ امیرحسین، محمد، ایمان؛  
۱۳۸۹، بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های

خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان از فراوانی وقوع  
زیادی برخوردار است و بسیاری از رویدادهای خشکسالی  
در زمره خشکسالی‌های شدید بشمار می‌آیند.

در دوره آماری نمونه‌های حاد و شدید خشکسالی  
وجود دارند. بررسی وضعیت خشکسالی‌ها در دوره آینده با  
استفاده از خروجی‌های مدل و محاسبه شاخص SPI نشان  
می‌دهند که در تمامی ایستگاه‌های استان خشکسالی‌های  
بسیار شدید و شدید نسبت به دوره آماری کاهش دارد و  
در اکثر ایستگاه‌های استان خشکسالی‌های ضعیف و متوسط  
در دوره ۱۳۹۱ تا ۱۴۱۰ شمسی نسبت به دوره پایه افزایش  
خواهد داشت. ولی بطور کلی در دهه ۱۴۰۰ از شدت  
خشکسالی‌ها در استان کاسته خواهد شد و خشکسالی‌ها  
نسبت به دوره آماری کاهش می‌یابند.

## منابع و مأخذ

۱- آبابایی، میرزایی، سهرابی؛ بهنام، فرهاد، تیمور؛ ۱۳۹۰، ارزیابی  
عملکرد مدل LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی  
ایران، مجله پژوهشی آب ایران، سال پنجم، شماره نهم، شهر  
کرد، صص ۲۱۷ - ۲۲۲.

۲- اسماعیلی، عطایی، فلاح؛ رضا، هوشمند، غلام‌عباس؛ ۱۳۹۰،  
ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر امکان توسعه دو گونه هسته‌دار  
بادام و زردآلو (مطالعه موردی: خراسان رضوی)، نشریه دانش  
کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲/۲۱، شماره ۱، تبریز، صص  
۱۴۵ - ۱۶۲.

۳- بابائیان، نجفی نیک؛ ایمان، زهرا؛ مدلسازی اقلیم ایران در  
دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹، ۱۳۸۸، پروژه خاتمه یافته پژوهشکده اقلیم  
شناسی، مشهد، صص ۱۳-۵ و ۱۰۷.

۴- حق‌طلب، گودرزی، حبیبی نوخندان؛ نفیسه، محسن،  
مجید؛ ۱۳۹۲، مدل سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران  
با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه تغییرات آن  
در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی، فصلنامه علوم  
و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۵، شماره ۱، تهران، صص  
۳۷ - ۴۹.

۵- رسولی، رضایی، بنفشه، مساح بوانی؛ علی‌اکبر، مجید،

resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK." *Agricultural and Forest Meteorology* 144, no. 1, Pp 127-138.

23- Thompson, C. S., and A. B. Mullan, 1995, "Weather generators." *The Effects of Climate Change and Variation in New Zealand* Pp 115- 120.

هواشناسی استان گلستان در دوره (۱۹۹۳-۲۰۰۷) میلادی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۶، شماره ۱۹، تهران، صص ۸۱-۹۶.

۱۳- هدایتی دزفولی، صداقت کردار؛ اکرم، عبدالله؛ ۱۳۸۶، مقایسه تطبیقی سه شاخص خشکسالی در اقلیم‌های مختلف ایران، مجله علمی و فنی نیوار، شماره‌های ۶۶ و ۶۷، تهران، صص ۶۵.

14- 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*, pp 98.

15- Elshamy, Mohamed Ezzat, Howard S. Wheeler, Nicola Gedney, and Chris Huntingford, 2006, "Evaluation of the rainfall component of a weather generator for climate impact studies." *Journal of Hydrology*, 326, no. 1, Pp 1-24.

16- Johnson, Gregory L., Clayton L. Hanson, Stuart P. Hardegree, and Edward B. Ballard, 1996, "Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models." *Journal of Applied Meteorology* 35, no. 10, Pp 1878-1896.

17- Khan, Mohammad Sajjad, Paulin Coulibaly, and Yonas Dibike, 2006, "Uncertainty analysis of statistical downscaling methods." *Journal of Hydrology* 319, no, 1, 357-382.

18- McKee, Thomas B., Nolan J. Doesken, and John Kleist, 1995, "Drought monitoring with multiple time scales." In *Ninth Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Boston. Pp 233-236.

19- Racsco, P., L. Szeidl, and M. Semenov, 1991, "A serial approach to local stochastic weather models." *Ecological modelling* 57, no. Pp 1 27-41.

20- Semenov, M. A., and E. M. Barrow, 2002, "LARS-WG: a stochastic weather generator for use in climate impact studies: user manual. Rothamsted Research, Harpenden. Version3.0.

21- Semenov, Mikhail A., and Roger J. Brooks, 1999, "Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain." *Climate Research* 11, no. 2, Pp137-148.

22- Semenov, Mikhail A, 2007, "Development of high-