



مدلسازی تغییر اقلیم و وضعیت خشکسالی در ناحیه البرز جنوبی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG (مطالعه موردی: گرمسار، قزوین، تهران)

فردین قدمی

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی *

Fardin.ghadami@gmail.com

مهناز عزیز ابراهیم

دانشجوی دکتری آب و هوا شناسی، دانشگاه خوارزمی

mahnazazizebrahim@yahoo.com

مریم نقوی

دانشجوی دکتری آب و هوا شناسی، دانشگاه خوارزمی

Naghavi66clima@yahoo.com

سعید بلیانی

دانش آموخته دکتری آب و هوا شناسی، دانشگاه خوارزمی

Ybalyani52@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق از داده های دما و بارش ایستگاههای سینوپتیک قزوین، مهرآباد تهران و گرمسار در طول دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۶ میلادی به عنوان دوره پایه جهت ریز مقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل LARS-WG اقدام شده است. در همین راستا اقدام به تولید داده های ایستگاهها با توجه به روند موجود در سری زمانی داده های مشاهداتی کرده و در نهایت با استفاده از آزمونهای آماری به مقایسه بین دو گروه داده ها پرداخته شده است. پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه سازی داده های هواشناسی، در ادامه کار این مدل جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده های مصنوعی برای دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۱۰ با استفاده از سناریو منطقه ای B2 اجر اشد و مقادیر روزانه پارامترهای مذکور برای آینده تولید شد. در نهایت از طریق تفسیر این نمودارها به پیش بینی وضعیت اقلیم این مناطق طی سی سال آینده پرداخته و وقوع خشکسالی ها و ترسالی های احتمالی در آینده نیز از طریق شاخص SPI مشخص شد. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG5 در شبیه سازی متغیرهای اقلیمی دارای توانایی بالایی است. از نمودارهای تولید شده آمار آینده این سه ایستگاه چنین برداشت شد که تغییر اقلیم ایستگاه ها گرایش به جابه جایی فصول دارد. همچنین خشکسالی ها در ایستگاه تهران و گرمسار برخلاف ایستگاه قزوین، اکثرا مربوط به دهه دوم زمان پیش بینی شده هستند و نسبت به این ایستگاه شدت و تداوم بیشتری دارند.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم - خشکسالی - LARS-WG5 - HadCM3 - SPI



مقدمه

نتیجه آخرین گزارش IPCC (۲۰۱۶) حاکی از نقش اصلی انسان در گرم شدن کره زمین به ویژه در بیست سال اخیر می باشد. تغییرات مشاهده شده در سامانه آب و هوا و ارزیابی های علمی در این زمینه نشان دهنده گرم شدن اتمسفر و اقیانوس ها، کاهش مقادیر برف و یخ، بالا آمدن میانگین سطح آب دریاها و افزایش غلظت گازهای گلخانه ای است. تغییر در اقلیم، احتمال تجربه امواج گرمایی پایدارتر و خشکسالی های شدیدتر را در مناطق خشک و بارش های رگباری نامتعارف را در مناطق مرطوب و بطور کلی تجربه رخدادهای فرین آب و هوایی را در نواحی مختلف جهان بیشتر می کند. با توجه به روند پیش رو و نیز لزوم برنامه ریزی و مدیریت بحران های احتمالی مسئله پیش بینی های آب و هوایی بیش از پیش اهمیت یافته است. از این رو مطالعات بسیاری جهت مدل سازی اقلیمی، توسط پژوهشگران متعدد و به دنبال آن استفاده از این مدل ها، به منظور بررسی و پیش بینی اقلیم در نواحی مختلف صورت گرفته است. مدل های تولید کننده وضع آب و هوا در سال های اخیر کاربرد فراوانی پیدا کرده اند. از جمله داده های آب و هوایی تولید شده، با بکارگیری سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه ای، مربوط به مدل های گردش عمومی جو می باشد. لازم به ذکر است که با استفاده از تولید کننده های وضع آب و هوا، می توان خروجی مدل های گردش عمومی جو را ریزمقیاس نمود (مشکواتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۱). شبکه های محاسباتی مدل های گردش عمومی جو (GCM)، به دلیل بزرگ مقیاس بودن و قدرت تفکیک کم، برای استفاده در ابعاد یک ایستگاه مناسب نیستند و باید ریزمقیاس شوند. از این رو از مدل های هواشناسی برای ریزمقیاس کردن استفاده می شود و از این طریق با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی و مدل های هواشناسی، می توان اقلیم منطقه را شبیه سازی نمود (هاشمی نسب خبیصی و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۳). در این بین روش آماری ریزمقیاس کردن، موثرتر و دارای مزیت ها و قابلیت های بیشتری نسبت به روش های دینامیکی می باشد. خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد. یکی از این روش های ریزمقیاس نمایی آماری مدل LARS-WG می باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۱). که در بسیاری از تحقیقات از آن استفاده شده است. بطور نمونه می توان به پژوهش های افرادی چون هاشمی نسب خبیصی و همکاران (۱۳۹۲) اشاره کرد که با استفاده از مدل LARS-WG، خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 با سه سناریو A1B، A2 و B1 را جهت بررسی در استان کرمان، ریزمقیاس نموده است که نتایج حاصله بدین ترتیب بوده که در بیست سال آینده اگرچه در فصل زمستان بارش رو به کاهش می باشد، اما در مجموع میانگین بارش در تمامی ایستگاه ها رو به افزایش است. همچنین بابائیان و همکاران (۱۳۸۶) که از داده های سناریو A1 مدل ECHO-G، جهت ارزیابی تغییرات اقلیمی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور با استفاده از مدل LARS-WG بهره برده و پس از تجزیه و تحلیل نتایج آن بر روی ایستگاه های مطالعاتی مورد نظر دریافتند که نتایج کلی بررسی ها برای دهه ۲۰۲۰ حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کشور و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۵ درجه سانتیگراد می باشد. که بیشترین افزایش ماهانه دما، مربوط به ماه های سرد سال است. همچنین استان های خراسان شمالی، آذربایجان غربی و شرقی با بیشترین افزایش دما در دهه ۲۰۲۰ مواجه خواهند بود. در ارتباط با موضوع مورد بحث (روش آماری ریزمقیاس کردن داده های آب و هواشناسی) می توان به مطالعات افرادی چون بحری و همکاران (۱۳۹۲)، مشکواتی و همکاران (۱۳۸۹)، عباسی و همکاران (۱۳۸۹)، خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱)، بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۹)، خزانه داری و همکاران (۱۳۸۸)، قانقرمه و روشن (۱۳۹۱)، سمنوو و همکاران (۱۹۹۸)، فایسا و همکاران (۲۰۱۲)، سمنوو و بروکس (۱۹۹۹) نیز اشاره کرد. همچنین در برخی از مطالعات از داده های آب و هوایی تولید شده توسط LARS-WG برای شبیه سازی طول دوره رشد محصولات کشاورزی نیز بهره برده اند (لاولس و سمنوو، ۲۰۰۵: ۳۰۲). (سمنوو و استراتو نوویچ، ۲۰۰۹: ۱). (سمنوو و دوبلاسرینس، ۲۰۰۷: ۷۱). با توجه به اهمیت



شبه سازی و پیش بینی اقلیم آینده مناطق، در برنامه ریزی صحیح و مدیریت منابع و همچنین مقابله با بحرانهای اقلیمی احتمالی و از سوی دیگر اهمیت تهران بعنوان کلان شهر و مرکز سیاسی کشور و نیز وابستگی اقتصاد گرمسار و قزوین به کشاورزی و باغداری در این تحقیق تلاش شده است تا تغییرات در اقلیم آینده این مناطق بررسی شود.

کلیات منطقه

در تحقیق حاضر منطقه مورد مطالعه محدودهای در جنوب رشته کوه البرز، شامل شهرستان های سمنان، تهران و قزوین می باشد. از بین ایستگاههای همدید موجود در این استانها سه ایستگاه گرمسار، مهرآباد تهران و قزوین انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به بیان کلیاتی از مناطق مورد نظر خواهیم پرداخت. استان سمنان در دامنه های جنوبی سلسله جبال البرز قرار گرفته است. ارتفاع آن از شمال به جنوب کاهش می یابد و به دشت کویر ختم می شود. خصوصیات جوی استان سمنان نشانگر تنوع در اقلیم آن است. اقلیم نیمه بیابانی شدید بخش هایی از استان سمنان از جمله گرمسار و بنکوه را در بر گرفته است. در این نقاط، میزان بارش و نزولات جوی اندک است و معمولاً بارندگی آن در اوایل بهار به وقوع می پیوندد. استان تهران از نظر آب و هوایی، غیر از نواحی کوهستانی شمالی که اندکی مرطوب و معتدل است، کلاً گرم و خشک است. حداکثر دمای ثبت شده در تهران ۳۹/۴ درجه و حداقل آن ۷/۴- درجه سانتی گراد و میانگین ماهانه حداکثر ۲۹ و حداقل ۰/۱ درجه می باشد. استان قزوین به دلیل داشتن ارتفاعات متعدد همچون رشته کوه البرز در شمال استان و گسترش آن در جهات شمال شرقی و شمال غربی و کوههای پراکنده در نقاط دیگر استان، شرایط مناسب زیست اقلیمی را داراست. بیشترین پهنه اقلیمی این استان در اقلیم نیمه خشک سرد قرار می گیرد.

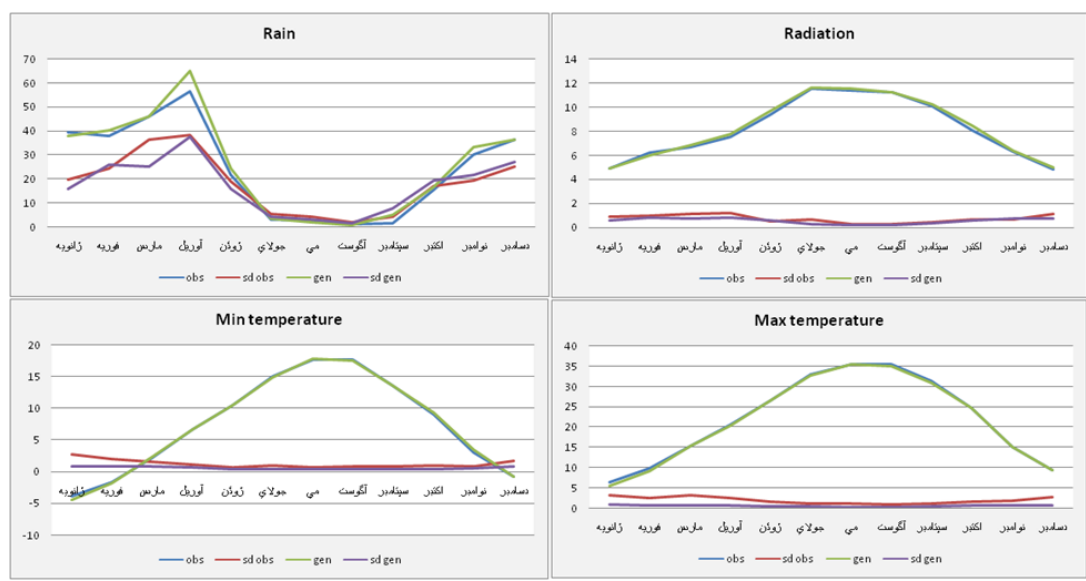
داده ها و روشها

همانطور که پیشتر بیان شد در مطالعه پیش رو از آمار ایستگاههای سینوپتیک قزوین، مهرآباد تهران و گرمسار استفاده شده و دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۶ میلادی به عنوان دوره پایه تعیین شده است. داده های مورد استفاده شامل داده های روزانه دمای بیشینه، دمای کمینه، بارش و ساعات آفتابی می باشد. پس از مرتب کردن و ارائه پارامترهای مذکور طی ۱۵ سال آماری به مدل لارس، این مدل اقدام به باز تولید داده های ایستگاهها با توجه به روند موجود در سری زمانی داده های مشاهداتی کرده و در نهایت با استفاده از آزمونهای آماری به مقایسه بین دو گروه داده ها پرداخته است. پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه سازی داده های هواشناسی، در ادامه کار این مدل جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده های مصنوعی برای دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۱۰ با استفاده از سناریو منطقه ای B2 اجرا شد و مقادیر روزانه پارامترهای مذکور برای آینده تولید شد. پس از تولید داده های آینده برای سه ایستگاه مورد نظر اقدام به تولید نمودارهای مقایسه ای شد. این نمودارها شامل نمودارهای مقایسه ای بارش، بیشینه دما، کمینه دما، تابش و به همراه هر یک از آنها مقایسه انحراف معیار بین داده های مشاهداتی و تولید شده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 می باشد. در نهایت از طریق تفسیر این نمودارها به پیش بینی وضعیت اقلیم این مناطق طی سی سال آینده پرداخته و وقوع خشکسالی ها و ترسالی های احتمالی در آینده نیز از طریق شاخص SPI مشخص شد که در این قسمت به بررسی شاخص بارش استاندارد (SPI) در مقیاس های زمانی ۳ و ۶ ماهه، مقیاس های ۹ و ۱۲ ماهه و مقیاس های ۲۴ و ۴۸ ماهه که به ترتیب هر یک از آنها در امور مربوط به مطالعات کشاورزی، مطالعات هیدرولوژی و آبهای سطحی و مطالعات آبهای زیرزمینی کاربرد دارند پرداخته شد.

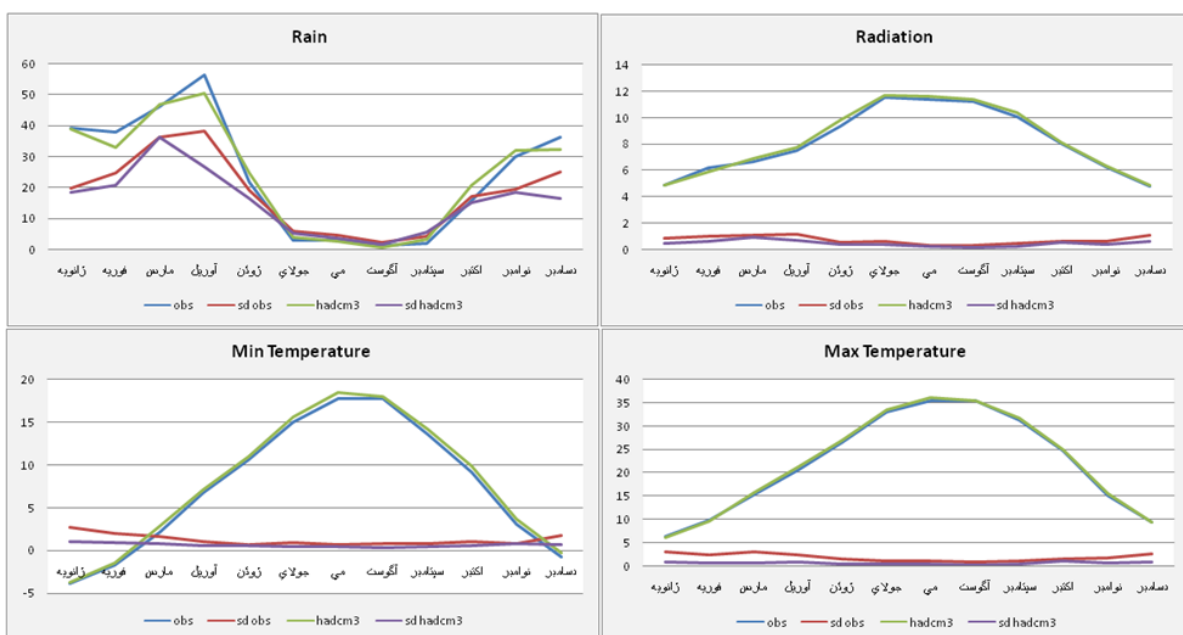


یافته‌های تحقیق

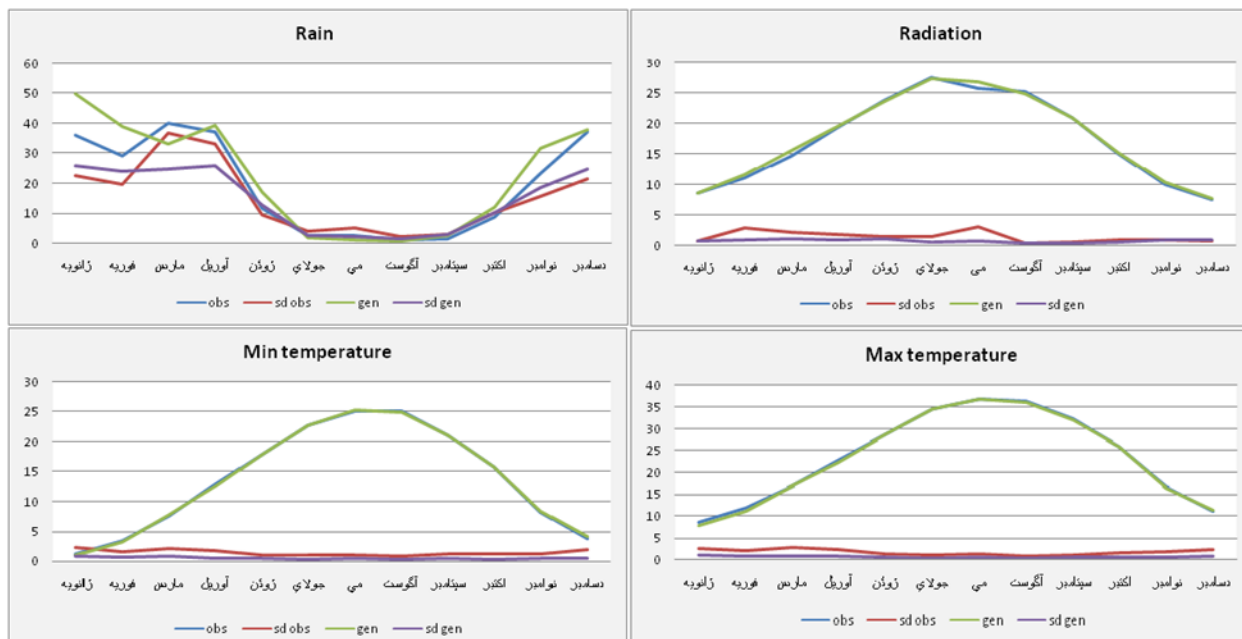
با توجه به اشکال (۱ تا ۶)، نمودارهای مقایسه ای پارامترهای کمینه و بیشینه دما، بارش و تابش مشاهده می‌کنیم که در ایستگاه قزوین داده‌های مشاهداتی و تولید شده بارش مطابقت مناسبی با یکدیگر دارند و انحراف از معیار آن تنها در ماه مارس قابل مشاهده است. در زمینه کمینه و بیشینه دما نیز در این ایستگاه داده‌های مشاهداتی و تولید شده کاملاً منطبق بر هم و تنها در ماه‌های دسامبر تا آوریل انحراف از معیار اندکی مشاهده می‌شود. در مورد تابش نیز دو گروه داده‌ها منطبق بر هم و انحراف معیار ناچیز است. انطباق داده‌های مشاهداتی بارش با داده‌های تولید شده در ایستگاه تهران نسبت به ایستگاه قزوین کمتر است. همچون ایستگاه قزوین در این ایستگاه نیز ماه مارس دارای بیشترین انحراف از معیار می‌باشد. داده‌های بیشینه و کمینه دارای مطابقت زیاد و تنها در ماه‌های دسامبر تا آوریل دارای انحراف از معیار کمی می‌باشد. تابش نیز از مطابقت قابل قبولی برخوردار است و تنها در می و فوریه شاهد انحراف از معیار داده‌ها هستیم. در ایستگاه گرمسار نیز مقادیر بارش نسبت به بیشینه و کمینه دما دارای مطابقت کمتری است. کمینه دما در این ایستگاه دارای انحراف معیار تقریباً مداوم و برابری در تمامی ماه‌ها است. تابش تنها در فوریه دارای میزان کمی انحراف از معیار است و دو گروه داده‌ها کاملاً بر هم منطبق می‌باشند. بطور کلی در همه موارد انحراف از معیار داده‌های تولید شده کمتر از مقادیر مشاهداتی است و در نهایت از نمودارها و جداول مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده توسط مدل LARS-WG چنین دریافت می‌شود که توانایی مدل در شبیه سازی پارامترهای مورد نظر مناسب و منطبق بر داده‌های مشاهداتی می‌باشد و از آن می‌توان جهت تولید داده‌های آینده این ایستگاهها بهره برد. در ایستگاه قزوین بیشترین میزان انحراف معیار بین داده‌های آینده و مشاهداتی مربوط به آوریل می‌باشد. بر طبق داده‌های آتی میزان بارندگی ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و دسامبر نسبت به داده‌های مشاهداتی کاهش می‌یابد اما در سایر ماه‌ها اندکی افزایش نشان می‌دهد. در مجموع میزان کاهش از میزان افزایش بارش در داده‌های آینده بیشتر است. در زمینه با کمینه دما، داده‌های آینده افزایش نسبتاً کم دما را نشان می‌دهد و انحراف از معیار در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و دسامبر دیده می‌شود که میزان آن در داده‌های آینده کمتر از داده‌های مشاهداتی است. بیشینه دما نسبت به کمینه در آینده افزایش کمتری نشان می‌دهد و میزان انحراف از معیار آن نیز همچون کمینه در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و دسامبر می‌باشد. تابش در ماه فوریه کمتر و در سایر ماه‌ها یا برابر و یا اندکی بیشتر خواهد بود. انحراف معیار در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل و دسامبر کمتر از داده‌های مشاهداتی است. در ایستگاه تهران شش ماه اول سال افزایش چشمگیر بارش و در سایر ماه‌ها بارش برابر و یا اندکی بیشتر از داده‌های مشاهداتی است. بیشترین اختلاف در انحراف از معیار در ماه آوریل دیده می‌شود. دمای کمینه با اندکی افزایش روند پیشین را دارد و انحراف از معیار در ماه‌های سرد سال (دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس و آوریل) بیشتر از ماه‌های گرم است. دمای بیشینه در این ایستگاه کاملاً منطبق بر داده‌های مشاهداتی است و روند آن تغییری نکرده است این پارامتر نیز در ماه‌های سرد سال دارای اختلاف بیشتری در انحراف از معیار دو گروه از داده‌ها دارد. در این ایستگاه تابش در شش ماه اول سال دارای روند افزایشی بیشتر از قبل و در ادامه دارای روند کاهشی است که این روند در ماه‌های می تا اکتبر میزان کمتر و پس از آن در اکتبر تا دسامبر روند افزایشی بیشتر از پیش را نشان می‌دهد. در ایستگاه گرمسار بارش در فوریه و آوریل کاهش و در مارس، نوامبر و دسامبر افزایش خواهد داشت. در چهار ماه اول سال شاهد بیشترین میزان انحراف از معیار هستیم. دمای کمینه در می و دسامبر اندکی افزایش یافته و کمترین میزان انحراف از معیار در آگوست، نوامبر و دسامبر است. دمای بیشینه کاملاً منطبق بر روند داده‌های مشاهداتی است و انحراف از معیار در ماه‌های سرد سال مشاهده می‌شود. تابش تا حد بسیار زیادی منطبق بر روند داده‌های مشاهداتی است و تنها در فوریه، ژوئن و جولای شاهد اختلاف در انحراف از معیار دو گروه داده‌ها هستیم.



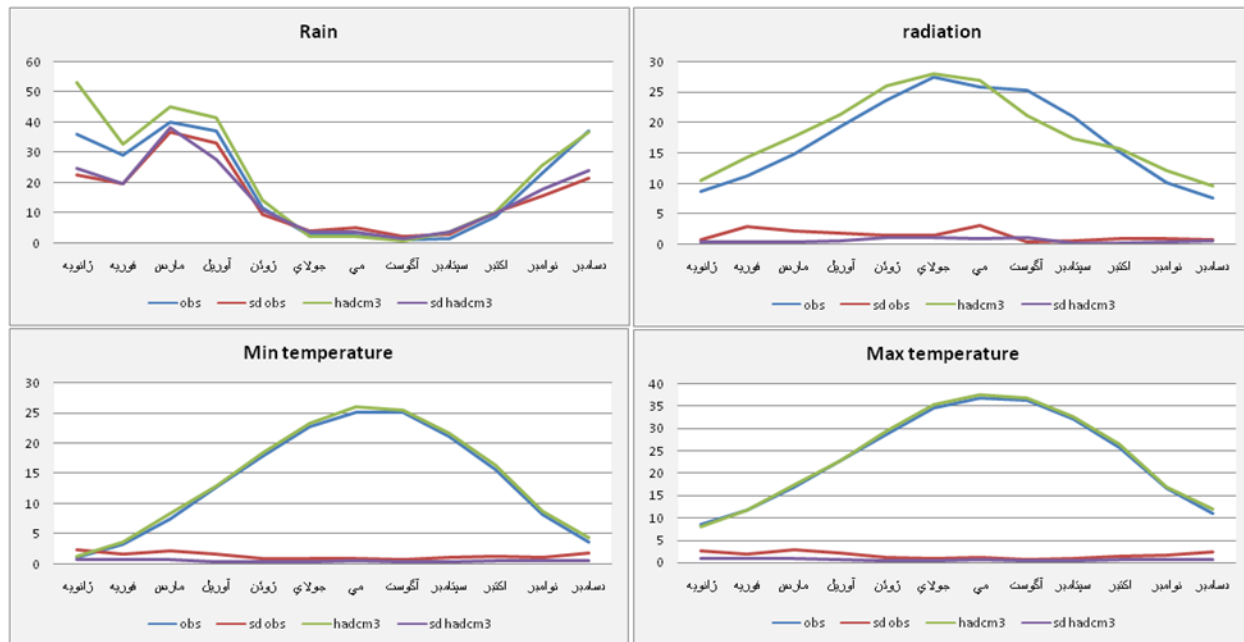
شکل ۱. نمودارهای مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه به همراه انحراف معیار آنها در ایستگاه قزوین



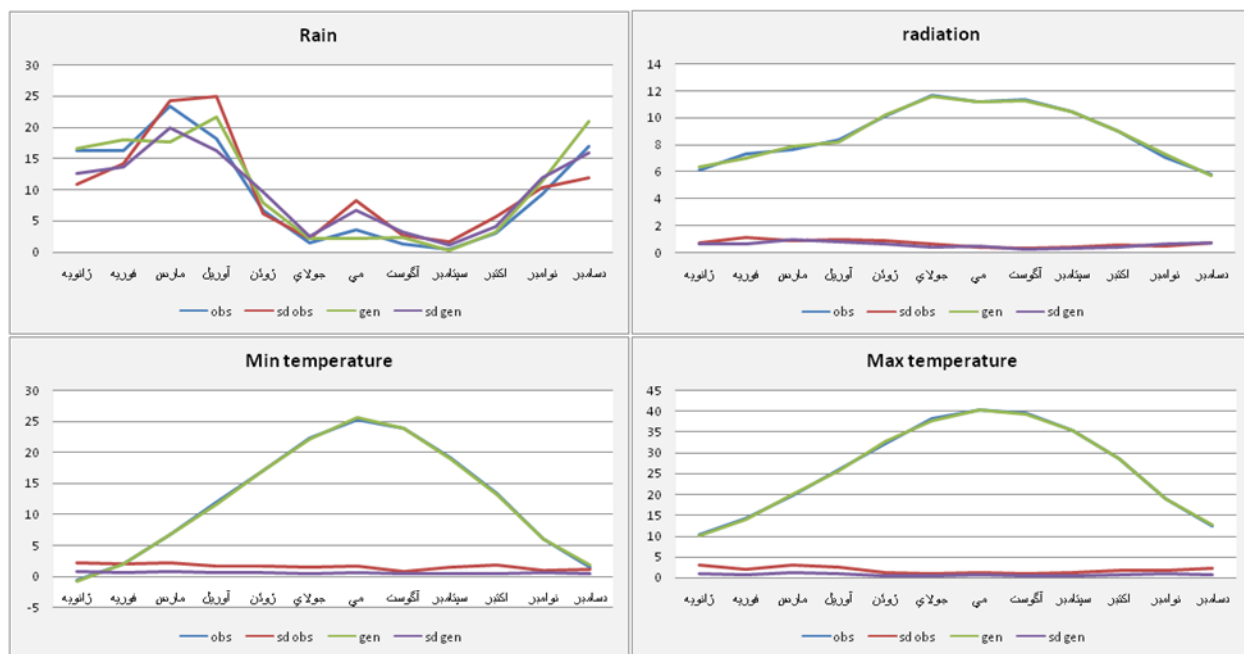
شکل ۲. نمودارهای مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده از مدل HadCM3 مربوط به بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه به همراه انحراف معیار آنها در ایستگاه قزوین



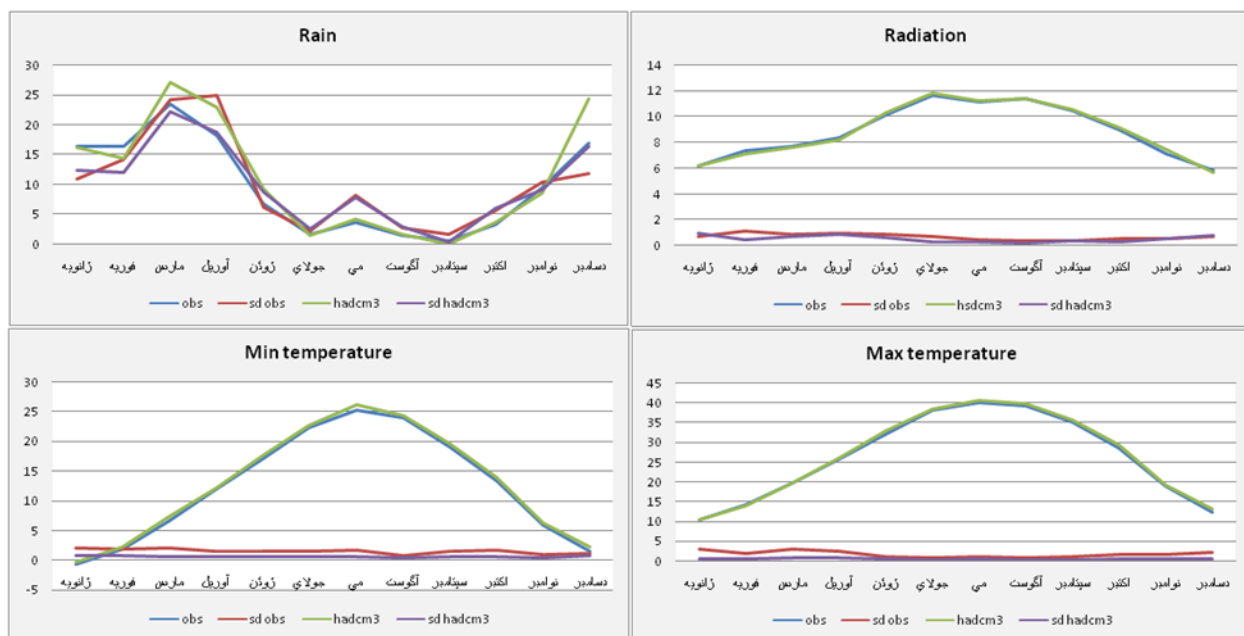
شکل ۳. نمودارهای مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه به همراه انحراف معیار آنها در ایستگاه تهران



شکل ۴. نمودارهای مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده از مدل HadCM3 مربوط به بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه به همراه انحراف معیار آنها در ایستگاه تهران



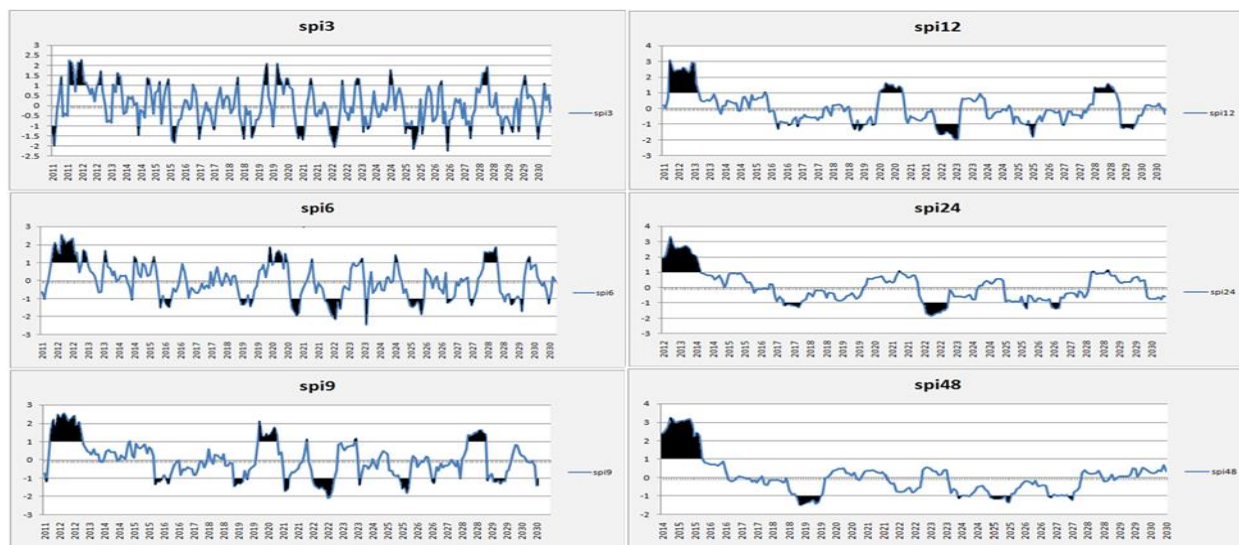
شکل ۵. نمودارهای مقایسه داده های مشاهداتی و داده های تولید شده بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه به همراه انحراف معیار آنها در ایستگاه گرمسار



شکل ۶. نمودارهای مقایسه داده های مشاهداتی و داده های تولید شده آینده از مدل HadCM3 مربوط به بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه به همراه انحراف معیار آنها در ایستگاه گرمسار

شاخص SPI

در نمودارهای زیر مقادیر ترسالی و خشکسالی با رنگ سیاه نمایش داده شده است که مقادیر بالاتر از ۱+ وقوع ترسالی و مقادیر پایین تر از ۱- وقوع خشکسالی را نشان می دهد. برای هر ایستگاه در جداول جداگانه ای بزرگی خشکسالی (DM) و همچنین شدت خشکسالی در هر یک از مقیاسهای زمانی SPI آورده شده است.



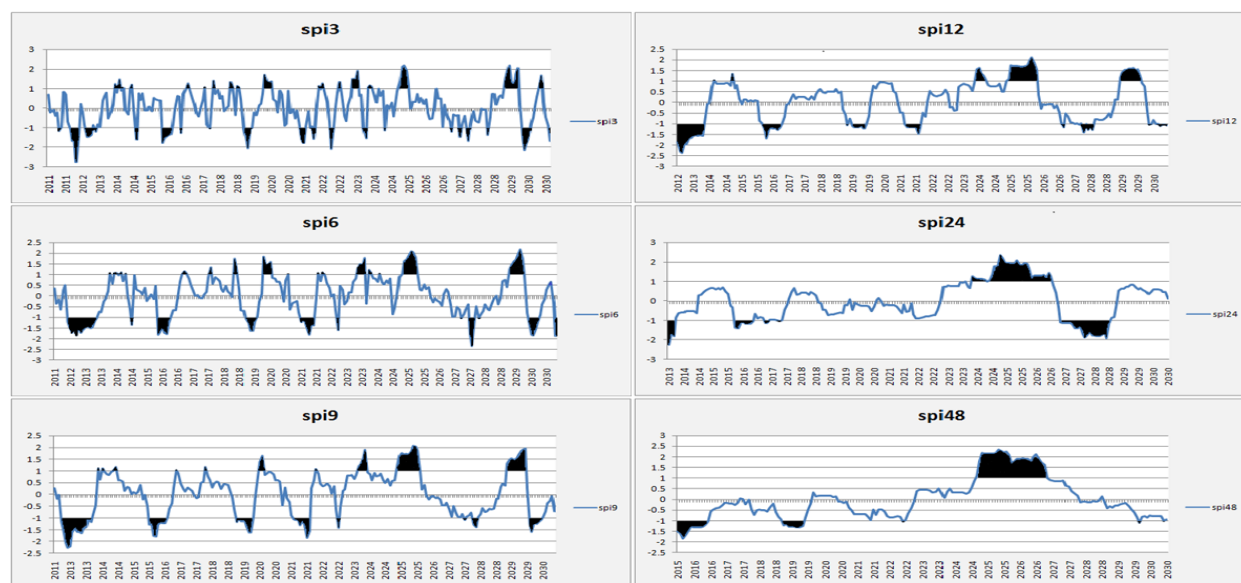
شکل ۷. نمودارهای spi مربوط به ایستگاه قزوین

جدول ۱. شدت و تداوم خشکسالی در هر یک از مقیاس های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه مربوط به ایستگاه قزوین

زمان رخداد	شدت خشکسالی	تداوم به ماه	زمان رخداد	بزرگی خشکسالی (DM)	قزوین
نوامبر ۲۰۲۶	-2.25	5	مارس ۲۰۲۲ تا ژوئیه ۲۰۲۲	-8.04	SPI 3
اکتبر ۲۰۲۳	-2.44	8	مارس ۲۰۲۲ تا اکتبر ۲۰۲۲	-12.63	SPI 6
اکتبر ۲۰۲۲	-2.09	11	مارس ۲۰۲۲ تا ژانویه ۲۰۲۳	-17.3	SPI 9
ژانویه ۲۰۲۳	-1.99	11	آوریل ۲۰۲۲ تا فوریه ۲۰۲۳	-18.03	SPI 12
ژوئیه ۲۰۲۲	-1.86	11	آوریل ۲۰۲۲ تا فوریه ۲۰۲۳	-17.73	SPI 24
آوریل ۲۰۱۹	-1.48	10	مارس ۲۰۱۹ تا دسامبر ۲۰۱۹	13.01	SPI 48

نمودارهای SPI قزوین وضعیت خشکسالی و ترسالی را بین سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ نشان می دهد. در نمودار SPI ۳ ماهه چندین دوره ترسالی و خشکسالی مشاهده می شود که از لحاظ خشکسالی، یک دوره خشکی از مارس تا ژوئیه ۲۰۲۲ به مدت ۵ ماه از همه مشهودتر می باشد. در نمودار SPI ۶ ماهه چهار دوره خشکسالی قابل توجه می باشد که از میان آنها خشکسالی مارس تا اکتبر ۲۰۲۲ به مدت ۸ ماه از همه مشخص تر است. از لحاظ ترسالی نیز چندین دوره دیده می شود که ترسالی نوامبر ۲۰۱۱ تا اکتبر ۲۰۱۲ به مدت ۱۲ ماه از همه مشهودتر می باشد. در نمودار SPI ۹ ماهه یک دوره خشکسالی از مارس ۲۰۲۲ تا ژانویه ۲۰۲۳ به مدت ۱۱

ماه قابل مشاهده است و از لحاظ ترسالی نیز سه دوره ترسالی مشاهده می شود که ترسالی دسامبر ۲۰۱۱ تا فوریه ۲۰۱۳ به مدت ۱۵ ماه قابل توجه است. در نمودار SPI ۱۲ ماهه یک دوره خشکسالی از آوریل ۲۰۲۲ تا فوریه ۲۰۲۳ به مدت ۱۱ ماه مشاهده می شود و از لحاظ ترسالی نیز سه دوره دیده می شود که ترسالی مارس ۲۰۱۲ تا مارس ۲۰۱۳ به مدت ۱۳ ماه مهمترین آنها است. در نمودار SPI ۲۴ ماهه یک دوره خشکسالی از آوریل ۲۰۲۲ تا فوریه ۲۰۲۳ به مدت ۱۱ ماه و یک دوره ترسالی از دسامبر ۲۰۱۲ تا مارس ۲۰۱۴ به مدت ۱۶ ماه قابل توجه است. در نمودار SPI ۴۸ ماهه یک دوره خشکسالی از مارس تا دسامبر ۲۰۱۹ به مدت ۱۰ ماه و همچنین یک دوره ترسالی از دسامبر ۲۰۱۴ تا مارس ۲۰۱۶ به مدت ۱۶ ماه مشاهده می شود.



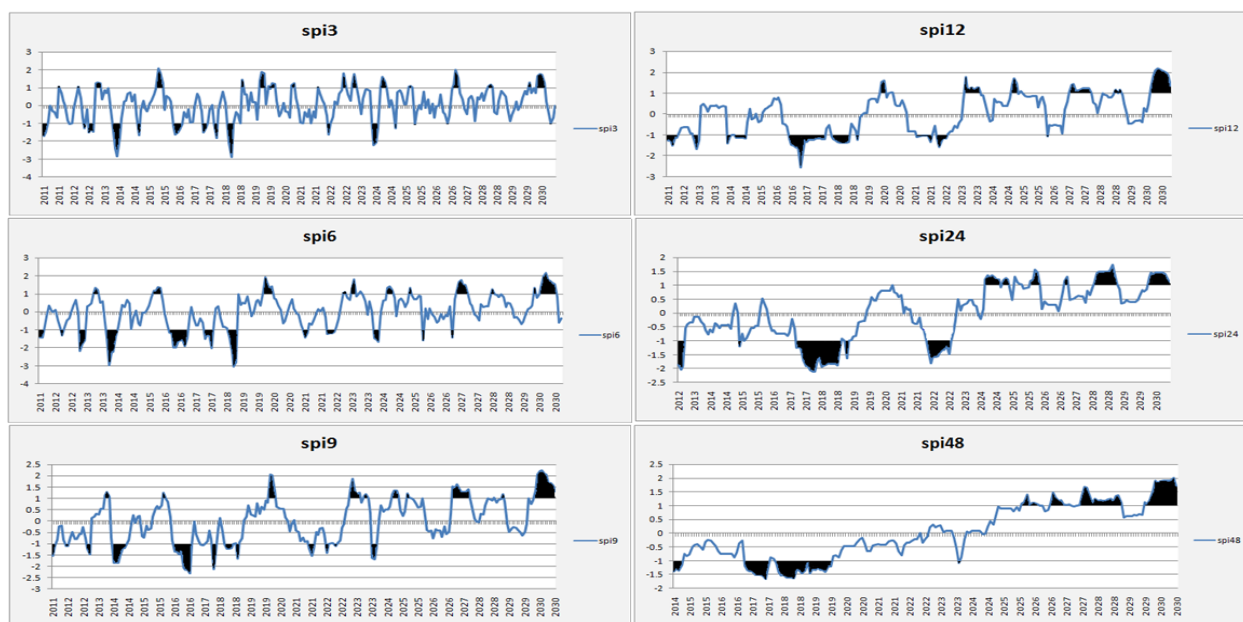
شکل ۸. نمودارهای SPI مربوط به ایستگاه تهران

جدول ۲. شدت و تداوم خشکسالی در هر یک از مقیاس های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه مربوط به ایستگاه تهران

تهران	بزرگی خشکسالی (DM)	زمان رخداد	تداوم به ماه	شدت خشکسالی	زمان رخداد
SPI 3	-8.24	آوریل 2012 تا اوت 2012	5	-2.74	ژوئیه 2012
SPI 6	-20.39	ژوئن 2012 تا ژوئیه 2013	14	-2.32	اکتبر 2027
SPI 9	-22.16	سپتامبر 2012 تا اکتبر 2013	14	-2.27	دسامبر 2012
SPI 12	-21.42	دسامبر 2012 تا نوامبر 2013	12	-2.36	فوریه 2013
SPI 24	-31.13	آوریل 2027 تا دسامبر 2028	21	-2.23	دسامبر 2013
SPI 48	-16.82	دسامبر 2015 تا نوامبر 2016	12	-1.84	فوریه 2016



نمودارهای SPI تهران نیز وضعیت خشکسالی و ترسالی را بین سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ در شهرستان تهران نشان می دهند. در نمودار SPI ۳ ماهه چندین دوره خشکسالی و ترسالی قابل مشاهده است که طولانی ترین خشکسالی از آوریل تا اوت ۲۰۱۲ به مدت ۵ ماه می باشد. از لحاظ ترسالی نیز دو دوره ترسالی دیده می شود که این ترسالی ها از نوع شدید و مربوط به فوریه تا ژوئن ۲۰۲۵ به مدت ۵ ماه و مارس تا سپتامبر ۲۰۲۹ به مدت ۷ ماه می باشند. در نمودار SPI ۶ ماهه نیز چندین دوره خشکسالی مشاهده می شود که طولانی ترین خشکسالی از ژوئن ۲۰۱۲ تا ژوئیه ۲۰۱۳ به مدت ۱۴ ماه می باشد. از لحاظ ترسالی نیز دو دوره از همه مشهودتر است. اولی از فوریه تا سپتامبر ۲۰۲۵ به مدت ۸ ماه و دومی از مارس تا سپتامبر ۲۰۲۹ به مدت ۷ ماه می باشد. در نمودار SPI ۹ ماهه یک دوره خشکسالی طولانی از سپتامبر ۲۰۱۲ تا اکتبر ۲۰۱۳ به مدت ۱۴ ماه قابل مشاهده است. همچنین یک دوره ترسالی از فوریه تا دسامبر ۲۰۲۵ به مدت ۱۱ ماه نسبت به ترسالی های دیگر مشخص تر است. در نمودار SPI ۱۲ ماهه یک دوره خشکسالی از دسامبر ۲۰۱۲ تا نوامبر ۲۰۱۳ به مدت ۱۲ ماه قابل مشاهده است. از لحاظ ترسالی نیز سه دوره مشاهده می شود که ترسالی ژانویه ۲۰۲۵ تا فوریه ۲۰۲۶ به مدت ۱۴ ماه از دو ترسالی دیگر طولانی تر و شدید تر می باشد. در نمودار SPI ۲۴ ماهه یک دوره خشکسالی از آوریل ۲۰۲۷ تا دسامبر ۲۰۲۸ به مدت ۲۱ ماه قابل مشاهده است. همچنین یک دوره ترسالی از آوریل ۲۰۲۴ تا دسامبر ۲۰۲۶ به مدت ۲۳ ماه دیده می شود. در نمودار SPI ۴۸ ماهه دو دوره خشکسالی وجود دارد که خشکسالی دسامبر ۲۰۱۵ تا نوامبر ۲۰۱۶ به مدت ۱۲ ماه شدیدتر و طولانی تر می باشد. همچنین یک دوره ترسالی طولانی از فوریه ۲۰۲۵ تا آوریل ۲۰۲۷ به مدت ۲۷ ماه مشاهده می شود.



شکل ۹. نمودارهای SPI مربوط به ایستگاه گرمسار



جدول ۳. شدت و تداوم خشکسالی در هر یک از مقیاس های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه مربوط به ایستگاه گرمسار

زمان رخداد	شدت خشکسالی	تداوم به ماه	زمان رخداد	بزرگی خشکسالی (DM)	گرمسار
ژوئن ۲۰۱۸	-2.9	4	نوامبر ۲۰۱۳ تا فوریه ۲۰۱۴	-8.24	SPI 3
سپتامبر ۲۰۱۸	-3.02	9	آوریل ۲۰۱۶ تا سپتامبر ۲۰۱۶	-14.3	SPI 6
اکتبر ۲۰۱۶	-2.16	9	می ۲۰۱۶ تا ژانویه ۲۰۱۷	-15.21	SPI 9
دسامبر ۲۰۱۶	-2.55	28	ژوئیه ۲۰۱۶ تا اکتبر ۲۰۱۸	-36.89	SPI 12
اکتبر ۲۰۱۷	-2.04	24	آوریل ۲۰۱۷ تا مارس ۲۰۱۹	39.27	SPI 24
نوامبر ۲۰۱۷	-1.66	34	مارس ۲۰۱۷ تا دسامبر ۲۰۱۹	46.48	SPI 48

نمودارهای SPI گرمسار نیز وضعیت خشکسالی و ترسالی را بین سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ نشان می دهند که هر کدام از نمودارها شامل چندین دوره ترسالی و خشکسالی هستند. در نمودار SPI ۳ ماهه یک دوره خشکسالی از نوامبر ۲۰۱۳ تا فوریه ۲۰۱۴ به مدت ۴ ماه قابل مشاهده است. در نمودار SPI ۶ ماهه چندین دوره خشکسالی بین سالهای ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ مشاهده می شود که طولانی ترین آن از آوریل تا سپتامبر ۲۰۱۶ به مدت ۹ ماه می باشد. در نمودار SPI ۹ ماهه نیز یک دوره خشکسالی از می ۲۰۱۶ تا ژانویه ۲۰۱۷ به مدت ۹ ماه و یک ترسالی از مارس تا دسامبر ۲۰۳۰ به مدت ۱۰ ماه مشاهده می شود. در نمودار SPI ۱۲ ماهه یک دوره خشکسالی از ژوئیه ۲۰۱۶ تا اکتبر ۲۰۱۸ به مدت ۲۸ ماه قابل مشاهده است و از لحاظ ترسالی نیز یک دوره ترسالی از مارس ۲۰۳۰ تا دسامبر ۲۰۳۰ به مدت ۱۰ ماه مشاهده می شود. در نمودار SPI ۲۴ ماهه سه دوره خشکسالی وجود دارد که طولانی ترین و شدید ترین آن از آوریل ۲۰۱۷ تا مارس ۲۰۱۹ به مدت ۲۴ ماه می باشد. از لحاظ ترسالی نیز چندین دوره ترسالی قابل مشاهده است که همگی از نوع ترسالی ضعیف تا متوسط هستند و طولانی ترین آن از مارس ۲۰۲۸ تا ژانویه ۲۰۲۹ به مدت ۱۱ ماه است. در نمودار SPI ۴۸ ماهه یک دوره خشکسالی از مارس ۲۰۱۷ تا دسامبر ۲۰۱۹ به مدت ۳۴ ماه مشاهده می شود و از لحاظ ترسالی نیز چندین دوره ترسالی از نوع ضعیف تا متوسط دیده می شود که طولانی ترین آن از دسامبر ۲۰۲۹ تا دسامبر ۲۰۳۰ به مدت ۱۳ ماه می باشد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد مدل LARS-WG5 در شبیه سازی متغیرهای اقلیمی دارای توانایی بالایی است. تصدیق کننده این ادعا نمودارها و جداول مقایسه داده های مشاهداتی و داده های تولید شده توسط مدل LARS-WG می باشد که نشان دهنده توانایی مدل در شبیه سازی پارامترهای مورد نظر و منطبق بر داده های مشاهداتی می باشد و از آن می توان جهت تولید داده های آینده این ایستگاهها بهره برد. از نمودارهای تولید شده آمار آینده این سه ایستگاه چنین منتج شد: در قزوین شاهد کاهش بارش در زمستان و بهار و افزایش آن در سایر ماهها هستیم در مجموع میزان کاهش از میزان افزایش بارش در آینده بیشتر و در نتیجه میزان کل بارش دریافتی در این ایستگاه کمتر خواهد شد. بر میزان دماها بویژه دماهای کمینه افزوده شده همچنین تابش نیز افزایش خواهد یافت. در تهران شش ماه اول سال (میلادی) بارش نسبت به سابق افزایش قابل توجهی خواهد داشت. تابش در ماههای سرد افزایش یافته و دماهای



کمینه ملایتر می شوند. در گرمسار نیز شاهد افزایش اندکی در دمای کمینه هستیم اما بطور کلی این ایستگاه در مقایسه با دواستگاه قبلی کمترین میزان تغییر در پارامترهای اقلیمی را داراست. از مطالب فوق چنین برمی آید که تغییر اقلیم ایستگاهها نیل به جابه جایی فصول دارد. در یک نگاه اجمالی در می یابیم که اکثر خشکسالی های ایستگاه قزوین مربوط به دهه دوم زمان پیش بینی شده یعنی بین سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ می باشند. خشکسالی های مربوط به ایستگاه تهران نسبت به ایستگاه قزوین شدیدتر، مداوم تر و اکثرا در دهه اول زمان پیش بینی شده رخ داده اند. در ایستگاه گرمسار نیز خشکسالی ها نسبت به ایستگاه قزوین شدیدتر، مداوم تر و مربوط به دهه اول هستند.

منابع

۱. بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا ۱۳۸۹، تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM، فصلنامه جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱۵: صص ۲۰-۱.
۲. بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا، حبیبی نوخندان، مجید، زابل عباسی، فاطمه ۱۳۸۶، مدلسازی اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G، کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، صص. ۶۱-۷۱.
۳. بحری، معصومه، دستورانی محمد تقی، گودرزی، مسعود ۱۳۹۲، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از مدل LARS-WG مطالعه موردی حوزه آبخیز اسکندری، استان اصفهان. نهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران،
۴. خزانه داری، لیلی، زابل عباسی، فاطمه، قندهاری، شهرزاد، کوهی، منصوره، ملبوسی، شراره ۱۳۸۸، دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده، فصلنامه جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۱۲، صص ۹۸-۸۳.
۵. خلیلی، اقدام نبی، مساعدی، ابوالفضل، کامکار، بهنام ۱۳۹۱، ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش بینی برخی پارامترهای جوی سنج. مجله پژوهشهای حفاظت آب و خاک، شماره ۴، صص ۸۵-۱۰۲.
۶. عباسی، فاطمه، بابائیان، ایمان، حبیبی نوخندان، مجید، گلی مختاری، لیلی، ملبوسی، شراره ۱۳۸۹، ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه های آینده با کمک مدل MAGICC-SENGEN. پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۷۲، صص. ۹۱-۱۱۰.
۷. قانقرمه، عبدالعظیم. روشن غلامرضا، ۱۳۹۱، دورنمای اثر گرمایش جهانی بر دگرگونی های مولفه ی دما در نواحی شمال غرب ایران، فصلنامه پژوهشهای جغرافیای طبیعی، شماره ۸۲، صص ۶۱-۸۰.
۸. مشکواتی، امیرحسین، کرد جزی، محمد. بابائیان ایمان، ۱۳۸۹، بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه سازی داده های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۱۹، صص. ۸۱-۹۶.



۹. هاشمی نسب خبیصی، فریده السادات، موسوی بایگی، محمد، بختیاری، بهرام، داوری، کامران، ۱۳۹۲، پیش بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM3. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۱۲، صص. ۴۳-۵۸.

10. Fiseha B.M. Melesse A.M. Romano E. Volpi E. Fiori A. 2012, Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature for the Upper Tiber Basin in Centrul Italy INTEch, No.28: pp.1-14.
11. LawlessC. SemenovM. 2005, Assessing Lead-Time for Predicting Wheat Growth Using a Crop Simulation Model, Agricultural and Forest Meteorology, No. 135: pp.302-313.
12. Semenov M. Brooks R. Barrow E. Richardson. 1998, Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates, Climate Research, No.10: pp.95-107.
13. Semenov M. Doblbas-Reyes F. 2007, Utility of Dynamical Seasonal Forecasts in Predicting Crop Yield, Climate Research, No. 34: pp.71-81.
14. Semenov M. Stratonovitch P. 2009, the Use of Multi-Model Ensembles from Global Climate Modle for Impact Assessments of Climate Change, Climate Research, No.31: pp.1-12.
15. Semenov, M., Brooks, R. 1999, Spatial Interpolation of the LARS-WG Stochastic Weather Generator in Great Britain, Climat Research, No. 11: pp. 137-148.

Abstract:

In this study we used the statistics from the synoptic station in Qazvin, Tehran, Garmsar and Mehrabad and also the period of 1996-2010 as the base period. This model attempts to reproduce the stations recorded data according to the process in the time series of observed data and finally, compared the data between the two groups by using statistical tests. After reviewing the results of the assessment and ensure the ability of LARS-WG in simulation of meteorological data, in the following this model was accomplished for the statistical downscaling of atmospheric circulation data HadCM3 and synthetic data generation for the period 1996-2010 was conducted using regional scenario B2 and daily values of these parameters for the future was made. Finally, through the interpretation of these charts we have predicted future climate conditions of the region for the next thirty years and the possible drought and rain in the future determined by SPI index. The results showed that the LARS-WG5 model has a great potential in simulated climatic variables. The graph produced by future statistics taken from three stations showed that stations climate change tends to shift the seasons. Also, droughts in Tehran station and Garmsar unlike the station in Qazvin are mostly relating to the second decade of the expected time and have more duration and intensity than Qazvin station.

Key word: climat change-drought- LARS-WG5- HadCM3-SPI.