

پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG5

سیده فاطمه معافی مدنی - دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محمد موسوی بایگی^۱ - دانشیار هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

حسین انصاری - دانشیار آبیاری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۹/۱۹

چکیده

به دلیل نقش حیاتی آب در زندگی انسان، بررسی تأثیرات منفی پدیده تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی خشکسالی یک منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این تحقیق به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دو دهه آینده با استفاده از شاخص‌های خشکسالی دهک (DI) و بارش استاندارد شده (SPI) پرداخته شده است. در ابتدا داده‌های روزانه خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوی A2، توسط مدل آماری LARS-WG نسخه ۵، ریزمقیاس شده و توانایی مدل LARS-WG5 در شبیه‌سازی اقلیم گذشته (۲۰۱۰-۱۹۹۱) ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان مورد تأیید قرار گرفته، سپس پارامترهای اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه شبیه‌سازی شده است. به‌طور متوسط در همه ایستگاه‌ها در ۷۵٪ ماه‌ها در دهه اول و در ۷۷٪ ماه‌ها در دهه دوم دوره پیش‌بینی، افزایش بارش را خواهیم داشت. پس از آن با استفاده از داده‌های بارش وضعیت خشکسالی استان به کمک دو شاخص خشکسالی ذکر شده در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد این دو شاخص همخوانی خوبی با هم دارند و طی دو دهه آینده خشکسالی در اغلب ایستگاه‌ها و در بیشتر سال‌ها کاهش می‌یابد؛ به استثنای ایستگاه تربت جام که به دلیل افزایش ساعت آفتابی و در نتیجه کاهش بارندگی، افزایش خشکسالی را نشان می‌دهد. در حالت کلی در بیش از ۹۰٪ ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی طی بیست سال آینده، وضعیت ترسالی افزایش می‌یابد. **کلید واژه‌ها:** تغییر اقلیم، خشکسالی، مدل گردش عمومی جو، مدل LARS-WG5، ریزمقیاس نمایی، شاخص DI، شاخص SPI.

مقدمه

پژوهشگران هوا و اقلیم شناسی در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی^۱ ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای^۲ و گرمایش کلی زمین و به دنبال آن وضع اقلیم دهه‌های آتی کره زمین را مهم‌ترین نگرانی موجود می‌شمارند. در حال حاضر اقلیم‌شناسان برای بررسی اثرات تغییر اقلیم، به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو - اقیانوسی^۳ می‌پردازند (بارو و یو،^۴ ۲۰۰۵: ۱). از آنجایی که اجرای این مدل‌ها برای دوره زمانی طولانی مدت نیازمند وقت زیاد و سرعت‌های بالای پردازش است، برای چیره شدن بر این مشکل ساده‌سازی‌هایی از جمله کاهش تفکیک فضایی و حذف برخی از فرآیندهای فیزیکی و ترمودینامیکی در مقیاس خرد باید صورت گیرد. این ساده‌سازی‌ها باعث افزایش خطای مدل‌های گردش عمومی جو و همچنین موجب بروز خطا در پیش‌بینی‌ها و ارزشیابی اقلیم آتی کره زمین می‌شود. برای رفع این نقیصه، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریز مقیاس می‌شوند (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۹: ۱). در ریز مقیاس نمایی آماری می‌توان از روش‌های متداول آماری مانند رگرسیون و همچنین مدل‌های مولد هواشناسی استفاده کرد (هالیتنر و ویلیامز،^۵ ۱۹۸۰: ۱۱۵). در روش ریز مقیاس نمایی دینامیکی معادلات حاکم بر بسته هوا در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو با استفاده از روش‌های آنالیز عددی از قبیل تفاضل محدود حل می‌شوند که در صورت به کار بردن این روش می‌توان به نقیصه دوم مدل‌های گردش عمومی جو، یعنی ساده‌سازی فرآیندهای جوی نیز فائق آمد (هیدالگو^۶ و دیگران، ۲۰۰۸: ۱؛ ویلی و هریس،^۷ ۲۰۰۶: ۱۲۱).

یکی از روش‌های ریز مقیاس نمایی استفاده از مدل‌های تولید داده‌های هواشناسی^۸ است که این مدل‌ها بر دو نوع ریچاردسون و سریال هستند. در نوع ریچاردسون برای مدل‌سازی رویداد بارش از فرآیند زنجیره مارکف استفاده می‌شود. در این روش ابتدا تر یا خشک بودن روز مورد نظر تعیین می‌شود و سپس در صورتی که روز مورد بررسی یک روز تر باشد، میزان بارش از توزیع گاما محاسبه می‌شود. اما در مدل‌های نوع سریال، اولین قدم مدل‌سازی سری روزهای تر و خشک است. اولین مدل سریال در سال ۱۹۹۱ توسط زمنف ابداع شد. این مدل‌ها برای شبیه‌سازی طول روزهای تر و خشک، بارش روزانه و تابش آفتاب یا ساعت آفتابی از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌کنند. نسخه ۵ مدل LARS-WG که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، از نوع مدل‌های سریال می‌باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۴: ۱). از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: زمنف با استفاده از آمار و اطلاعات ۲۰ ایستگاه در نقاط مختلف دنیا، که دارای اقلیم‌های متفاوت می‌باشند، توانایی مدل تولیدکننده جوی LARS-WG را

1 Climate Change

2 Greenhouse Gases

3 Atmospheric-Ocean General Circulation Model

4 Barrow and Yu

5 Haltiner and Williams

6 Hidalgo

7 Wilby and Harris

8 Weather Generator

برای شبیه‌سازی رویدادهای جوی حدی مورد بررسی قرار داد(سمنو،^۱ ۲۰۰۸: ۲۰۳). بابائیان و همکاران مدل LARS-WG را بر روی برخی از ایستگاه‌های استان خراسان مورد ارزیابی قرار دادند و این نتیجه حاصل شد که این مدل توانمندی مدل‌سازی اقلیم دوره گذشته ایستگاه‌های تحت مطالعه استان خراسان را بر اساس یک حالت پایه دارا است(بابائیان و همکاران، ۱۳۸۴: ۱). رجبی با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، تغییر اقلیم را در استان کرمانشاه مورد بررسی قرار داد. مشخص شد که تغییرات بارندگی در سه سناریوی ذکر شده، از نظم مشخصی پیروی نمی‌کند. همچنین افزایش دما طی دوره‌های آینده در همه سناریوها مشاهده شد(رجبی، ۱۳۸۹: ۸). همچنین عباسی و همکاران پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی را با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ مورد بررسی قرار دادند که داده‌های سناریوی A1 مدل گردش عمومی جو ECHO-G برای ارزیابی تغییرات اقلیمی، خشکسالی و یخبندان استان توسط مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شدند. نتایج کلی بررسی‌ها حاکی از کاهش خشکسالی این استان در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ می‌باشد(عباسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱۸). الشمی^۲ و همکاران با استفاده از مدل‌های مولد هواشناسی، اثرات تغییر اقلیم در جنوب انگلستان را بررسی کرده و قابلیت مدل‌ها را برای شبیه‌سازی داده‌های روزانه مورد تأیید قرار دادند(الشمی و دیگران، ۲۰۰۵: ۱). کمال و مساح بوانی، تغییرات اقلیمی حوضه قره‌سو را با استفاده از خروجی مدل HADCM3 تحت سناریوی A2 و مدل ریزمقیاس نمایی SDSM طی دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج تحقیق، افزایش دما در ماه‌های مختلف سال بین ۰/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد و تغییرات بارش بین ۱۰- تا ۲۰ میلی‌متر به دست آمد(کمال و مساح بوانی، ۱۳۸۹: ۹۲۰). از جمله کاربردهای داده‌های بارش شبیه‌سازی شده، استفاده از آن‌ها در پایش خشکسالی می‌باشد که پژوهش‌های مختلفی در این زمینه انجام شده است که می‌توان به عنوان نمونه به موارد زیر اشاره کرد. خزانه‌داری و همکاران با استفاده از خروجی مدل GCM و ریزمقیاس کردن داده‌ها با مدل LARS-WG، به بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از دو شاخص دهک (DI) و استاندارد شده بارش (SPI) در کشور طی دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق ضمن تأیید هم‌خوانی این دو شاخص جهت بررسی وضعیت خشکسالی در کشور، نشان داده است که طی سی سال آینده شرایط خشکسالی در کشور رو به افزایش خواهد بود که این مسأله وقوع تغییر اقلیم در منطقه را تأیید می‌کند(خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۸: ۸۳). صالح‌نیا با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 و روش ریزمقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل LARS-WG به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شاخص PDSI طی سی سال آینده در حوضه نیشابور پرداخت. پیش‌بینی‌ها نشان دادند که در دوره سی سال آتی بارش در دشت نیشابور افزایش خواهد یافت و خشکسالی کاهش می‌یابد(صالح-نیا، ۱۳۹۰: ۱). لوکاس و همکاران اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی را در منطقه تسالی^۳ مورد ارزیابی قرار دادند. در

1 Semenov

2 Elshamy

3 Thessaly

این تحقیق خروجی مدل گردش جهانی CGCM2 تحت دو سناریوی A2 و B2 با استفاده از یک روش آماری ریزمقیاس شدند و شاخص SPI برای برآورد شدت خشکسالی مورد استفاده قرار گرفت و سری‌های زمانی بارش برای دو دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ برآورد شدند. نتایج نشان داد تغییرات اقلیمی به میزان زیادی بر شدت خشکسالی و همچنین در طراحی پروژه‌های منابع آب در آینده اثر دارد (لوکاس^۱ و دیگران، ۲۰۰۸: ۲۳). در این مطالعه خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوی A2 توسط روش ریزمقیاس نمایی آماری و مدل LARS-WG ریزمقیاس می‌شوند و متغیرهای اقلیمی روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی برای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تولید می‌شوند. سپس به کمک داده‌های بارش شبیه‌سازی شده، وضعیت خشکسالی استان با استفاده از دو شاخص دهک (DI) و استاندارد بارش (SPI) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

منطقه مورد مطالعه

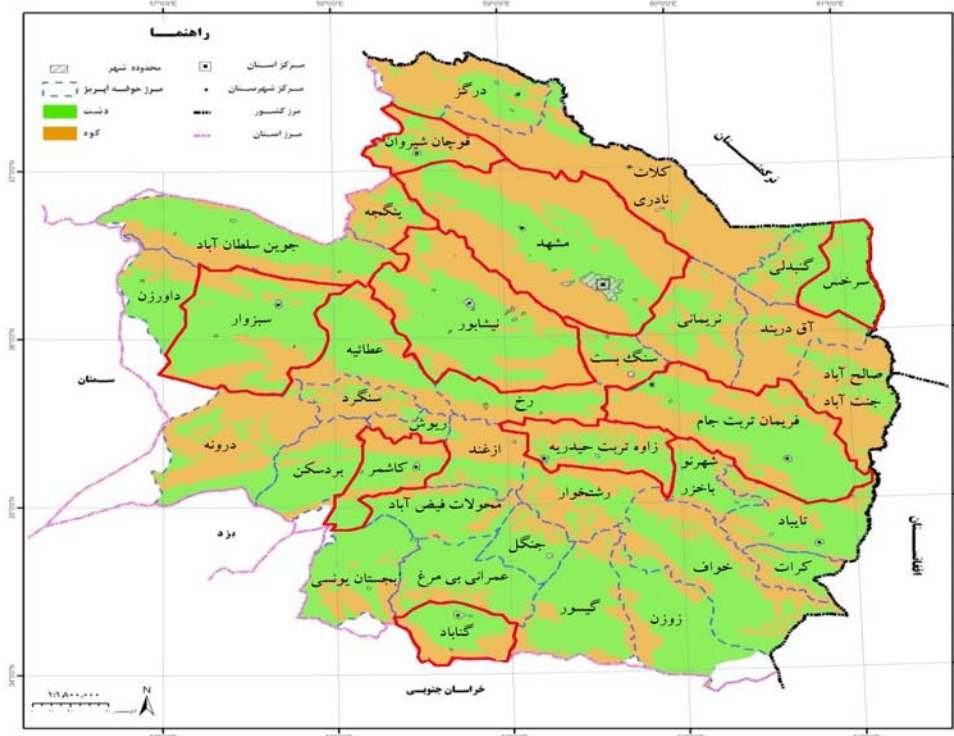
منطقه مورد مطالعه استان خراسان رضوی با مساحتی حدود ۱۴۴۸۰۳ کیلومتر مربع می‌باشد که در شمال شرقی کشور ایران قرار گرفته و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن جزء اقلیم‌های خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. عوامل مختلفی از قبیل کوه‌های مرتفع، مناطق پست کویری، دوری از دریاها و همچنین برخورد جبهه‌های مختلف آب و هوایی که از غرب، شمال، شمال غرب، شمال شرق و جنوب وارد منطقه می‌شوند، سبب تنوع و گوناگونی آب و هوای استان می‌شود. به همین دلیل در بخش کوهستانی شمال خراسان رضوی، زمستان‌ها سرد و طولانی و تابستان‌ها گرم و معتدل است. بالعکس در منطقه جنوبی استان مخصوصاً در نزدیکی کویر، آب و هوای خشک حاکم است (صمدی نقاب، ۱۳۸۵: ۱۹۳). مناطق کوهستانی و دشت‌های استان خراسان رضوی به ترتیب وسعتی در حدود ۵۶۷۲۳ و ۶۰۲۵۱ کیلومترمربع دارا هستند. بلندترین و مرتفع‌ترین نقطه استان قله بینالود با ارتفاع ۳۴۲۰ متر و پست‌ترین نقطه استان در دشت سرخس با ارتفاع ۲۹۹ متر از سطح دریا واقع شده است (ولایتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱).

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق، مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان رضوی در دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۱ میلادی) است که از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. خصوصیات جغرافیایی ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان در جدول ۱ و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از بررسی و کنترل کیفی داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و همگنی داده‌ها با استفاده از آزمون Run Test ارزیابی و تصادفی بودن مقادیر در سطح ۹۵٪ پذیرفته شد. پس از مرتب سازی داده‌ها و ایجاد فایل‌های مورد نیاز، داده‌ها برای مرحله بعد آماده شدند.

جدول ۱ خصوصیات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تریت جام	۳۵° ۱۵' N	۶۰° ۳۵' E	۹۵۰
تریت حیدریه	۳۵° ۱۶' N	۵۹° ۱۳' E	۱۴۵۰
سبزوار	۳۶° ۱۲' N	۵۷° ۴۳' E	۹۹۷
سرخس	۳۶° ۳۲' N	۶۱° ۱۰' E	۲۳۵
قوچان	۳۷° ۴' N	۵۸° ۳۰' E	۱۲۸۷
کاشمر	۳۵° ۱۲' N	۵۸° ۲۸' E	۱۱۰۹
گلمکان	۳۶° ۲۹' N	۵۹° ۱۷' E	۱۱۷۶
گناباد	۳۴° ۲۱' N	۵۸° ۴۱' E	۱۰۵۶
مشهد	۳۶° ۱۶' N	۵۹° ۳۸' E	۹۹۹
نیشابور	۳۶° ۱۶' N	۵۸° ۴۸' E	۱۲۱۳



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی

معرفی مدل و شبیه سازی پارامترهای اقلیمی

مدل LARS-WG یکی از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی هواشناسی است که برای تولید داده‌های روزانه بارش، تابش، بیشینه و کمینه دمای یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حال و آینده به کار می‌رود (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۸: ۸۳). در این مدل، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به روش‌های آماری به گونه‌ای ریزمقیاس می‌شوند که به مقدار واقعی بسیار نزدیک باشد. این مدل شامل سه بخش اصلی کالیبراسیون مدل، ارزیابی مدل و ایجاد داده‌های هواشناسی برای دوره آتی است (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۴: ۱؛ سمنو و بارو^۱، ۲۰۰۲: ۱). در بخش کالیبراسیون مدل، بعد از جمع‌آوری داده‌های روزانه بارش، تابش، بیشینه و کمینه دمای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک ذکر شده برای دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) و آماده کردن فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا می‌شود. از آنجا که مدل LARS-WG یک مدل تولید تصادفی داده است، خروجی‌های مدل در بخش صحت‌سنجی مدل در هر بار اجرا متفاوت می‌باشد. به همین دلیل، باید اجراهای متفاوتی صورت گیرد و با وزندهی به هر مقدار تولیدی، میزان خطا به حداقل کاهش یابد. در این تحقیق مدل ۵ بار اجرا شد و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله ارزیابی مدل، با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین^۲ (R^2)، میانگین خطای مطلق^۳ (MAE)، میانگین انحراف خطا^۴ (MBE) و میانگین مربعات خطا^۵ (RMSE) که معادلات آن‌ها به ترتیب در روابط ۱ تا ۴ مشخص شده‌اند، داده‌های تولید شده بارش توسط مدل و داده‌های مشاهده شده (داده‌های واقعی) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نتایج اجرای مدل در این مرحله در جدولی در بخش بحث و نتایج ارائه شده است.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

-
- 1 Semenov and Barrow
 - 2 Coefficient of Determination
 - 3 Mean Absolute Error
 - 4 Mean Bias Error
 - 5 Root Mean Square Error

در این روابط X_i و Y_i به ترتیب آمین داده واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی مدل و قابلیت آن در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، این مدل برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از سناریوی A2 (متوسط) مورد تأیید IPCC اجرا گردید و مقادیر روزانه پارامترهای اقلیمی تولید شد. مدل گردش عمومی جو HADCM3 یکی از مدل‌های جفت شده اقیانوسی-جوی است که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده است (هادلی ستر^۱، ۲۰۰۶: ۱). قدرت تفکیک جوی این مدل، شبکه‌ای با ابعاد ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیای و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی و قدرت تفکیک اقیانوسی آن ۱/۲۵ درجه عرض جغرافیایی و ۱/۲۵ درجه طول جغرافیایی است. سناریوهای تغییر اقلیم مورد تأیید IPCC سناریوهای A1B، A2، B1 و به ترتیب بدبینانه، متوسط و خوشبینانه اند که A1B توصیفی از جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است؛ به طوری که پیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهش خواهد بود. سناریو A2 توصیفی از جهان بسیار ناهمگن است که به طور مداوم با افزایش جمعیت جهانی و منطقه‌ای و با محور رشد اقتصادی همراه می‌باشد. سناریو B1 جهانی همگرا با جمعیت جهانی را توصیف می‌کند، اما با تغییرات سریع در ساختارهای اقتصادی نسبت به خدمات و اطلاعات اقتصادی، با کاهش در شدت مادی و معرفی فن‌آوری‌های پاک و منابع مؤثر است (IPCC, 2007, 881). به این ترتیب مدل LARS-WG تحت سناریوی A2 تغییر اقلیم، ۵ بار اجرا شد و مقادیر روزانه پارامترهای اقلیمی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ شبیه‌سازی گردید. سپس به منظور به حداقل رساندن خطاها، وزن هر بار اجرای مدل LARS-WG طبق روش وزن‌دهی میانگین، به صورت زیر محاسبه شد (شاه‌کرمی و همکاران، ۱۳۸۶: ۹۹).

(۵)

$$W_i = \frac{1/\Delta T_i}{\sum_{i=1}^N 1/\Delta T_i}$$

که در آن، W_i وزن به دست آمده در ماه مورد نظر و ΔT_i انحراف میانگین طولانی مدت پارامترهای شبیه‌سازی شده توسط مدل GCM در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد. پس از تولید داده‌ها برای دو دهه آتی و وزن دهی مقادیر تولیدی، تبدیل روزهای میلادی به شمسی صورت گرفت و مقادیر ماهانه بارش برای به دست آوردن شاخص‌های خشکسالی محاسبه گردید.

پایش خشکسالی با محاسبه شاخص‌های خشکسالی

الف) شاخص خشکسالی دهک (DI)

روش دهک‌ها به عنوان یک شاخص هواشناسی جهت پایش خشکسالی توسط سیستم مراقبت خشکسالی استرالیا انتخاب شده است (گپیز و ماهر^۲، ۱۹۶۷: ۳۷)، زیرا این روش دارای محاسبات نسبتاً ساده‌ای است؛ در عوض اشکال این

1 Hadley center

2 Gibbs and Maher; 1967, 37

روش آن است که برای محاسبه دهک‌ها به آمار اقلیمی بلند مدت نیاز است. در این روش داده‌های بارندگی از کمترین تا بیشترین مقدار مرتب شده و سپس به ده قسمت، به نام دهک تقسیم می‌شود. اولین طبقه دهک‌ها بیانگر مقادیری است که بارندگی آن‌ها ۱۰ درصد کمترین مقادیر بارندگی را شامل می‌شود. دومین دهک مقدار بارندگی‌هایی است که ۲۰ درصد کمترین مقادیر را دارد. به همین روش دهک‌ها مرتب می‌شوند تا اینکه تمام مقادیر بارندگی در ۱۰ دهک قرار گیرد. دهک‌ها در پنج طبقه مختلف تقسیم بندی می‌شوند که طبقات آن در جدول زیر مشخص شده است. شاخص دهک به دلیل سادگی، ثبات و قابل فهم بودن کاربرد زیادی برای سیستم دیده‌بانی خشکسالی استرالیا دارد (استوارت و فری، ۲۰۰۵: ۱).

جدول ۲ طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص دهک (DI)

طبقه بندی دهک‌ها	
دهک ۱-۲	خیلی کمتر از نرمال
دهک ۳-۴	کمتر از نرمال
دهک ۵-۶	نرمال
دهک ۷-۸	بیشتر از نرمال
دهک ۹-۱۰	خیلی بیشتر از نرمال

در این تحقیق برای پایش خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از روش دهک، ابتدا شاخص دهک سالانه برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه به کمک نرم افزار SPSS برای دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) محاسبه شد و طبقه‌های مختلف شاخص دهک مشخص گردید. سپس مقادیر بارش دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ بر اساس طبقه‌بندی انجام شده، تقسیم‌بندی شدند و فراوانی طبقه‌های مختلف شاخص دهک در جدول جمع‌آوری گردید.

ب) شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI)

ادوارد و مکی^۲ در سال ۱۹۹۳ از مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی ایالات متحده آمریکا به منظور تعریف و پایش وضعیت خشکسالی، از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند. تغییرپذیری SPI باعث می‌شود که در مقیاس‌های کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس‌های بلند مدت برای اهداف هیدرولوژی مثل منابع آب زیرزمینی، جریان‌های رودخانه‌ای، سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی استفاده شود (ادوارد و مکی، ۱۹۹۷: ۱۵۵). تعیین نوع توزیع فراوانی برازش یافته بر مقادیر داده‌های بارندگی، در محاسبه شاخص SPI از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. زیرا

1 Stuart and Frey

2 Edward and Mckee

نامناسب بودن توزیع گاما بر داده‌های بارندگی، می‌تواند منجر به برآورد مقادیر نادرستی از شاخص SPI شود (مساعدی و قبائی سوق، ۱۳۹۰: ۱۲۰۶ و سمنو، ۲۰۰۸: ۲۰۳). به همین دلیل محاسبه شاخص SPI، مستلزم برازش توزیع احتمالاتی مناسب به سری طولانی مدت داده‌های بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه (سه ماهه، شش ماهه و ...) در هریستگاه است تا بهترین تابعی که با داده‌ها مطابقت داشته باشد به‌عنوان تابع توزیع احتمال برگزیده شود تا از روی آن به ازای هر احتمال مشخص مقدار متغیر مورد نظر به‌دست آید (علیزاده، ۱۳۸۸: ۸۷۰). در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماري Easy fit 5.4، توابع توزیع پیوسته مختلفی که از کرانه پایین (سمت چپ) محدود و از کرانه بالا (سمت راست) نامحدودند بر داده‌های بارندگی در بازه زمانی سالانه برازش داده شد و مناسب‌ترین توابع توزیع که توزیع‌های GEV¹ و GPA² و Gamma³ و PT3⁴ و Gumbel⁵ هستند، انتخاب شدند. سپس پارامترهای هر توزیع با روش‌های مختلفی که در ادامه ذکر می‌شود، برآورد شدند. برای برآورد پارامترهای مجهول یک قانون احتمالی از روی نمونه تصادفی روش‌های متعددی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها روش گشتاورهای معمولی (MM)⁶، روش حداکثر درست نمایی (ML)⁷، روش گشتاورهای وزن‌دار احتمالی (PWM)⁸ و روش حداکثر آنترپی (ENT)⁹ می‌باشد. پارامترهای تابع توزیع مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) بر اساس دو روش MLM و PWM، پارامترهای تابع پارتو تعمیم یافته (GPA) بر اساس روش‌های MLM، MOM، Modm و PWM، پارامترهای تابع گاما بر اساس روش‌های MLM، MOM و PWM، پارامترهای تابع پیرسون تیپ سه نیز با روش‌های PWM و MOMWRC و همچنین پارامترهای تابع گامبل نوع دو با استفاده از روش‌های MLM، MOM، PWM و ENT برآورد شدند. سپس از میان توزیع‌های مناسب، بهترین توزیع با استفاده از آزمون K-S¹⁰ انتخاب شد. آزمون نکویی برازش کلموگروف-اسمیرنوف اسمیرنوف (K-S) توسط شخصی به همین نام در سال ۱۹۳۳ پیشنهاد شده است. فرض صفر این آزمون این است که بین توزیع تئوری و توزیع داده‌های تجربی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. با انتخاب فرض صفر و یک سطح اعتماد (α)، برای هریک از مشاهدات، مقادیر تخمین زده شده از توزیع‌های تئوری (توزیع مورد آزمون) و تجربی را به‌دست آورده و قدر مطلق حداکثر تفاوت (D_{max}) را با مقدار بحرانی (D) مقایسه و اگر D_{max} کوچک‌تر از D باشد فرض صفر صحیح بوده و بین داده‌ها و توزیع تئوری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. مقدار بحرانی D، بستگی به تعداد نمونه-ها و سطح اعتماد مورد نظر دارد (رضایی پزند، ۱۳۸۰: ۱۷۵). پس از انتخاب بهترین و مناسب‌ترین تابع توزیع، باید شاخص SPI برای هر ایستگاه در بازه زمانی مورد نظر محاسبه شود. چون SPI توزیع نرمال را برای بارش در نظر می-

1 Generalized Extreme Value

2 Generalized Pareto

3 Pearson type 3

4 Method of Moments

5 Maximum Likelihood Method

6 Probability Weighted Moments Method

7 Entropy

8 Kolmogorov-Smirnov

گیرد و معمولاً بارندگی از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند. بنابراین باید توزیع برازش داده شده را به نرمال استاندارد تبدیل کرد. احتمال عدم تجاوز مقادیر بارندگی از روی تابع توزیع تجمعی مناسب تعیین و سپس این احتمال به توزیع نرمال استاندارد تبدیل می‌شود و SPI مشخص می‌گردد. از این رو چندک‌های معادل با احتمال‌های مشابه به دست می‌آید که چندک نرمال استاندارد (Z_T) با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_T = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} + \varepsilon(P) \quad (6)$$

که در این رابطه ضرایب C_0 ، C_1 ، C_2 ، d_1 ، d_2 ، d_3 مقادیر زیر می‌باشند و مولفه W نیز مطابق زیر محاسبه می‌شود.

$$d_3 = 0.01308 \text{ و } d_2 = 0.189269, d_1 = 1/432788, C_2 = 0.10328, C_1 = 0.802853, C_0 = 2/515517$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad (7)$$

رابطه W ذکر شده در بالا برای $P < 0.5$ می‌باشد. برای $P > 0.5$ ، $1-P$ جایگزین می‌شود و Z_T با علامت مخالف محاسبه می‌گردد. خطای $\varepsilon(P)$ کمتر از $4/5 \times 10^{-4}$ است. لذا بدون آن Z_T با دقت ۳ رقم اعشار محاسبه می‌شود (رضایی پزند و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۱: ۱۵۴). بدین ترتیب مقادیر شاخص SPI برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه زمانی سالانه محاسبه می‌گردد.

بحث و نتایج

همان‌طور که گفته شد ارزیابی مدل LARS-WG5 با به‌دست آوردن آماره ضریب تعیین و همچنین شاخص‌های خطاسنجی برای هر بار اجرای مدل صورت گرفت و آماره‌های واسنجی پارامترهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی برای ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) مورد بررسی قرار گرفتند که در اینجا فقط آماره‌های واسنجی پارامتر بارش به عنوان نمونه برای ایستگاه مشهد آورده می‌شود که در جدول ۳ مشاهده می‌کنید. چنانچه در این جدول مشاهده می‌شود، مقادیر ضریب تعیین در ایستگاه مشهد و همچنین برای هر ۵ بار اجرای مدل بسیار بالاست. بنابراین همبستگی معنی‌داری بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود دارد. پایین بودن شاخص‌های خطاسنجی نیز این نتیجه را تأیید می‌کند.

جدول ۳ بررسی آماره‌های واسنجی پارامتر بارش برای ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه در ایستگاه مشهد

آماره				اجرای مدل	ایستگاه
RMSE	MBE	MAE	R ²		
7.222	-3.753	4.073	0.92	1	مشهد
4.558	-2.437	3.7	0.9618	2	
4.747	-1.642	3.394	0.9436	3	
4.163	-1.957	3.45	0.9609	4	
3.278	-0.61	2.35	0.9647	5	

همچنین این نتایج در مورد بقیه ایستگاه‌ها و همچنین سایر پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی به دست آمده است. بدین ترتیب این اطمینان حاصل شد که مدل LARS-WG5 توانایی شبیه‌سازی بارش پارامترهای اقلیمی را برای دو دهه

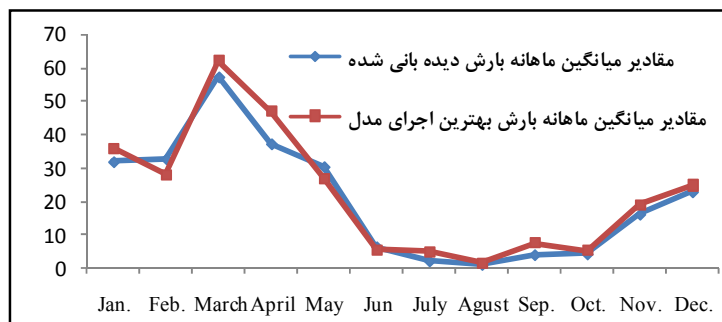
آنی داراست. سپس با توجه به این‌که نتایج خروجی مدل در هر بار اجرا متفاوت می‌باشد، برای به حداقل رساندن میزان خطا، با استفاده از روش وزن‌دهی میانگین، وزن هر بار اجرای مدل به دست آمد که در جدول ۴ به عنوان نمونه وزن‌های اجراهای مختلف برای ۱۲ ماه سال ایستگاه مشهد مشاهده می‌شود.

جدول ۴ وزن‌های به دست آمده ۵ بار اجرای مدل LARS-WG مربوط به پارامتر بارش ایستگاه مشهد

ماه												
شماره	Jan.	Feb.	March	April	May	Jun	July	August	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
اجرای												
مدل												
1	0.17	0.74	0.13	0.04	0.40	0.04	0.15	0.10	0.15	0.23	0.60	0.18
2	0.32	0.05	0.08	0.09	0.15	0.16	0.14	0.15	0.12	0.14	0.06	0.20
3	0.18	0.04	0.24	0.07	0.19	0.17	0.46	0.22	0.28	0.12	0.08	0.18
4	0.21	0.04	0.14	0.09	0.17	0.15	0.11	0.14	0.08	0.25	0.10	0.26
5	0.12	0.13	0.41	0.71	0.09	0.48	0.14	0.39	0.37	0.26	0.16	0.18

طبق جدول بالا اجراهای دوم و چهارم بهترین خروجی را نسبت به بقیه اجراها برای ایستگاه مشهد نشان می‌دهند. بالاترین وزن به دست آمده برای ماه فوریه در اجرای اول می‌باشد. اجرای پنجم مدل نسبت به سایر اجراها عملکرد پایین‌تری داراست. در حالت کلی اجرای چهارم مدل در همه ایستگاه‌ها بهترین نتیجه را نسبت به بقیه اجراها دارا می‌باشد. برای مشاهده تطابق بین مقادیر بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل و مشاهده شده، در شکل ۲ مقادیر میانگین ماهانه پارامتر بارش بهترین اجرای مدل (اجرای چهارم) و مقادیر بارش دیده‌بانی شده ایستگاه مشهد را به عنوان نمونه از بین ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان رضوی رسم شده‌اند.

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌کنید مقادیر بارش شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در بیشتر ماه‌های سال تطابق خوبی با هم دارند و در بیشتر ماه‌ها مقادیر ماهانه بارش شبیه‌سازی شده بیشتر از مقادیر ماهانه در دوره مشاهده شده است. بنابراین می‌توان گفت مدل LARS-WG5 دارای بیش برآورد پارامتر بارش می‌باشد. پس از وزن‌دهی پارامتر بارش و تبدیل ماه‌های میلادی به شمسی، مقادیر ماهانه بارش برای ایستگاه‌های مختلف به دست آمد تا برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده قرار گیرند.

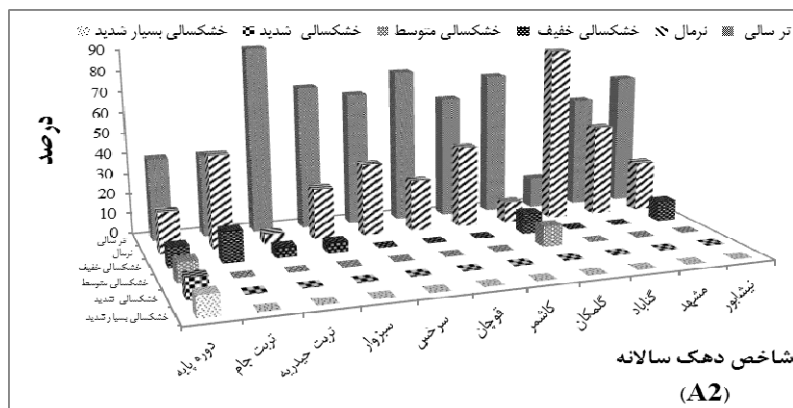


شکل ۲ مقایسه مقادیر میانگین ماهانه بارش بهترین اجرای مدل و بارش دیده‌بانی شده ایستگاه مشهد

جدول ۵ فراوانی طبقات مختلف شاخص خشکسالی دهک سالانه را در دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۱۰) و دو دهه آتی برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه ایستگاه‌ها تعداد ماه‌های تر در طی دوره پیش‌بینی نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است. تعداد ماه‌های نرمال نیز در بیشتر ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه روندی افزایشی را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در این جدول این است که تعداد ماه‌های با وضعیت خشکسالی متوسط، شدید و خیلی شدید در مقایسه با دوره پایه کاهش قابل توجهی دارد. نتایج به دست آمده در این جدول را می‌توان به صورت نموداری در شکل ۳ مشاهده کرد که به صورت درصد فراوانی طبقات مختلف مشخص شده است.

جدول ۵ مقایسه فراوانی طبقات مختلف شاخص خشکسالی دهک سالانه دوره مشاهده شده با دو دهه پیش‌بینی شده

دوره آماری	ایستگاه	ترسالی	نرمال	ملايم	متوسط	شدید	خیلی شدید
۲۰ سال دوره پایه همه ایستگاه‌ها		8	4	2	2	2	2
	ترت جام	9	4	4	2	1	0
	ترت حیدریه	18	1	0	1	0	0
	سبزوار	11	9	0	0	0	0
	سرخس	13	7	0	0	0	0
	قوچان	15	5	0	0	0	0
	کاشمر	13	3	4	0	0	0
	گلمکان	14	2	2	2	0	0
	گناباد	8	12	0	0	0	0
	مشهد	14	6	0	0	0	0
	نیشابور	10	10	0	0	0	0
۲۰ سال شبیه‌سازی شده (۲۰۱۱-۲۰۳۰)							
	ترت جام						
	ترت حیدریه						
	سبزوار						
	سرخس						
	قوچان						
	کاشمر						
	گلمکان						
	گناباد						
	مشهد						
	نیشابور						



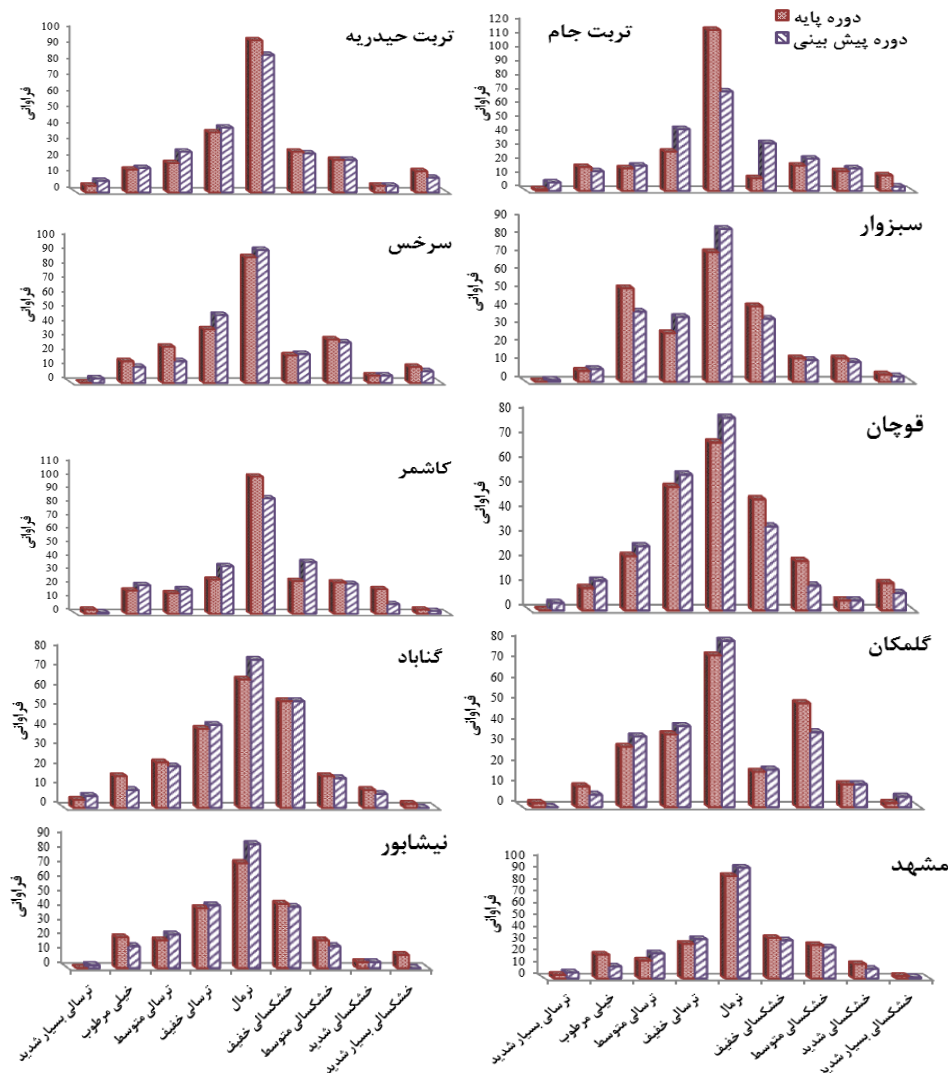
شکل ۳ درصد فراوانی طبقات مختلف شاخص خشکسالی دهک در مقیاس سالانه در دوره پایه و دوره پیش‌بینی شده ایستگاه‌های مورد مطالعه

در مورد شاخص استاندارد شده بارش (SPI) با استفاده از آزمون نکویی برازش کلموگروف-اسمیرنوف بهترین تابع توزیع با مناسب‌ترین روش برآورد هم برای دوره پایه و هم دوره شبیه‌سازی شده مشخص گردید که درصد فراوانی سری داده‌ها برای هر کدام از توابع و روش‌های برآورد پارامترهای آن برای مقیاس سالانه در جدول ۶ ارائه شده است. با نگاهی به این جدول مشاهده می‌شود که در حدود ۳۶ و ۴۰ درصد سری داده‌ها به ترتیب برای دوره پایه و دوره شبیه‌سازی شده بر تابع GEV برازش دارند که تقریباً ۲۴ و ۲۸ درصد مربوط به روش برآورد MLM می‌باشد. بعد از تابع GEV، تابع GPA با درصد‌های ۲۵/۸ و ۱۹/۲ برای دوره پایه و دوره شبیه‌سازی شده در رتبه دوم قرار دارد. در بین توزیع‌های برگزیده توزیع گاما برازش کمتری را نسبت به بقیه توزیع‌ها به خود اختصاص می‌دهد. پس از انتخاب بهترین تابع توزیع برای محاسبه SPI، تابع توزیع برازش داده شده به نرمال استاندارد تبدیل شد و مقادیر SPI برای مقیاس زمانی سالانه به‌دست آمد.

جدول ۶ درصد انتخاب توزیع‌های برگزیده و برآورد پارامترها برای محاسبه شاخص SPI در بازه زمانی سالانه

مقیاس زمانی سالانه		روش برآورد	توزیع
دوره پایه	دوره پیش‌بینی		
24.17	28.3	MML	GEV
11.66	10.84	PWM	
6.67	7.5	MOM	
11.67	8.34	ModM	GPA
-	-	MLM	
7.5	3.34	PWM	
5	10	MOM	Gamma
3.33	2.5	MLM	
-	0.84	PWM	
17.5	12.5	MOMWRC	PT3
0.83	0.84	PWM	
1.67	4.17	MOM	Gumbel
8.33	5.83	MLM	
1.67	5	PWM	
-	-	ENT	

شکل ۴ نمودارهای فراوانی شاخص SPI را برای دوره پایه و دوره شبیه‌سازی شده در مقیاس زمانی سالانه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این شکل، در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی، ماه‌های تر در دوره ۲۰ سال پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه افزایش یافته است که با نتایج شاخص دهک همخوانی دارد. در ایستگاه‌های سبزوار، سرخس، قوچان، گل‌مکان، گناباد، مشهد و نیشابور تعداد ماه‌های نرمال و ترسالی خفیف در دوره پیش‌بینی افزایش را نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های تربت حیدریه و کاشمر از ماه‌های نرمال کاسته می‌شود و فراوانی ماه‌های ترسالی خفیف، ترسالی متوسط و شدید افزایش می‌یابد. ایستگاه تربت جام نتیجه متفاوتی نسبت به بقیه ایستگاه‌ها دارد که در این ایستگاه طی دو دهه آبی تعداد ماه‌های خشک افزایش می‌یابد. علت متفاوت بودن نتایج ایستگاه تربت جام نسبت به بقیه ایستگاه‌ها را می‌توان افزایش ساعت آفتابی در بیست سال آینده و در نتیجه کاهش بارش و افزایش خشکسالی در این ایستگاه دانست.



شکل ۴ فراوانی طبقات شاخص SPI سالانه دوره پایه و دوره شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان

برای بررسی دقیق‌تر ارزیابی خشکسالی طی دو دهه آتی، تعداد دوره‌های خشک و تر که شاخص SPI دارای مقادیر منفی و مثبت می‌باشد، برای هر دو دهه در جدول ۷ ارائه شده است. در این جدول ملاحظه می‌شود که در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دهه اول بیشترین تعداد ماه‌های خشک با مقدار ۶۱ مربوط به ایستگاه تربت حیدریه است و کمترین تکرار مربوط به ایستگاه تربت حیدریه با ۲۵ ماه می‌باشد. در دهه دوم بیشترین تکرار را ایستگاه گناباد با ۳۸ ماه و کمترین تکرار را ایستگاه تربت جام با ۱۵ ماه به خود اختصاص می‌دهند. همچنین بررسی دهه به دهه دوره پیش-بینی نشان می‌دهد که تعداد ماه‌های تر در دهه دوم در مقایسه با دهه اول در اغلب ایستگاه‌ها بیشتر است.

جدول ۷ تعداد ماه‌های خشک و تر طی دو دهه آتی

ایستگاه	دهه اول		دهه دوم	
	تعداد ماه‌های خشک	تعداد ماه‌های تر	تعداد ماه‌های خشک	تعداد ماه‌های تر
تربت جام	61	25	15	57
تربت حیدریه	25	61	32	26
سبزوار	31	41	30	42
سرخس	35	19	26	47
قوچان	27	60	28	36
کاشمر	35	34	34	41
گلمکان	41	17	29	62
گناباد	38	42	38	36
مشهد	31	33	36	36
نیشابور	27	38	34	45

نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دو دهه آتی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی دهک (DI) و بارش استاندارد شده (SPI) صورت گرفت. نتایج نشان داد مدل LARS-WG5 در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دارای توانایی بالایی است و بیشترین خطا در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی مربوط به پارامتر بارش می‌باشد. همچنین این مدل در برآورد پارامترهای دمای کمینه و دمای بیشینه، دقت بالاتری نسبت به پارامتر بارش داراست، که نتیجه به‌دست آمده در این تحقیق با نتایج تحقیقات مشابهی همچون بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۴) و الشمی و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد. بررسی نتایج تغییرات پارامتر اقلیمی بارش دو دهه پیش‌بینی نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) حاکی از آن است که در بعضی ماه‌ها افزایش و در برخی کاهش میانگین بارش وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت که به‌طور متوسط در همه ایستگاه‌ها در ۷۵٪ ماه‌ها در دهه اول و در ۷۷٪

ماه‌ها در دهه دوم دوره پیش‌بینی، افزایش بارش را خواهیم داشت. نتایج نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی طی دو دهه آتی تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت که تأیید کننده نتایج تحقیقات صورت گرفته در نقاط مختلف کشور توسط کمال و مساح بوانی (۱۳۸۹)، بابائیان و همکاران (۱۳۸۹) و عباسی و همکاران (۱۳۸۹) است. سپس با کمک داده‌های بارش شبیه‌سازی شده، شاخص‌های دهک (DI) و بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی سالانه برای ارزیابی خشکسالی طی دو دهه آتی محاسبه شدند. نتایج حاصل همخوانی این دو شاخص را نشان می‌دهد که البته به دلیل گسترده بودن طبقه‌بندی شاخص SPI و تفکیک بیشتر آن، تفاوت‌های ناشی از محدوده‌های طبقه‌بندی دو شاخص نمایان گردید. بررسی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دو دهه آینده نشان می‌دهد که در اغلب ایستگاه‌ها در بیشتر سال‌های مورد مطالعه خشکسالی کاهش و تعداد ماه‌های تر افزایش می‌یابد. همچنین بررسی دهه به دهه دوره پیش‌بینی حاکی از افزایش تعداد ماه‌های تر در دهه دوم نسبت به دهه اول است. البته ایستگاه تربت جام افزایش ماه‌های خشک را نشان می‌دهد. بیشترین تعداد ماه‌های خشک طی دو دهه آینده با ۷۶ تکرار به ایستگاه‌های تربت جام و گناباد تعلق دارد و کمترین تعداد ماه‌های خشک نیز مربوط به ایستگاه تربت حیدریه با ۵۷ تکرار می‌باشد. نتیجه وضعیت خشکسالی به دست آمده در این تحقیق با نتیجه حاصل از تحقیق صالح‌نیا (۱۳۹۰) هم‌خوانی دارد و با نتیجه به دست آمده از تحقیق خزانه‌داری و همکاران (۱۳۸۸) هم‌خوانی ندارد. علت نتایج مشابه را می‌توان تکرار اجرای مدل و در نتیجه کاهش خطا در خروجی پارامترهای اقلیمی دانست. همچنین علت متضاد بودن نتایج تحقیق حاصل با تحقیق خزانه‌داری و همکاران، را می‌توان یک مرتبه اجرای مدل در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دانست.

References

- Abbasi, F., S.H. Malbusi., I. Babaeian., M. Asmari., R. Borhani., 2010. Climate Change Prediction of South Khorasan Province During 2010–2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Data. *Journal of Water and Soil* 24, 2, 218-233.
- Alizadeh. A., 2009. Principles of Applied Hydrology. Twenty-Sixth Edition, Imam Reza University Press, 870 PP.
- Babaeian, I., Z. Najafi nik., A. zaki zadeh., 2005. The Preliminary study and evaluation of the Weather Generator Models. A Case Study: The evaluation of LARS-WG model on selected stations Khorasan. Climatology Center. Project Report.
- Babaeian, I., Z. Najafi nik., 2010. The Analysis of Climate Change in Khorasan Razavi During 2010-2039 by Using Downscaling of GCM model output. *Journal of Geography and Regional Development* 15, 1-19.
- Barrow, E., G. Yu., 2005. Climate Scenario for Alberta. A report prepared for the prairie Adaptation Research Climate Research Services.
- Edward, D.C., T.B. Mckee., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scales. pp. 155. In: *Climatology Report*. Colorado state University.
- Elshamy, M.E., H.S. Wheeler., N. Gedney., C. Huntingford., 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *Journal of Hydrology* 326, 1-24.
- Gibbs, w.J., J.V. Maher., 1967. Rainfall deciles as drought indicators, 37-48. In: *Australian Bureau of Meteorology*.

- Hadley center., 2006. Effect of climate change in the developing countries. UK Meteorological Office.
- Haltiner G., R. Williams. 1980. Numerical Prediction and Dynamic Meteorology, John Wiley & Sons. pp. 115-120.
- Hidalgo, H., M. Dettinger., D. Cayan., 2008. Downscaling with constructed analogues: Daily precipitation and temperature fields over the United States. Pier Final Project Report, Prepared for: California Energy Commission Public Interest Energy Research Program.
- IPCC., 2007. Summary for policy makers climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the forth assessment report. Cambridge University Press, 881 pp.
- Kamal, A.R., M. Bavani. 2010. Climate Change and Variability Impact in Basin's Runoff with Interference of Two Hydrology Models Uncertainty. Journal of Water and Soil 24, (5), 920-931.
- Khazaneh Dari, L., F. Zabol Abbasi., S.H. Ghandhari., M. Kohi., 2009. The Perspective of Drought Conditions over the Next Thirty Years. Journal of Geography and Regional Development 12, 83-98.
- Loukas, A., L. Vasiliades., J. Tzabiras., 2008. Climate change effects on drought severity. Department of Civil engineering, University of Thessaly, 38334 Volos, Greece, Adv. Geosci. 17, PP. 23-29, 2008. www.adv-geosci.net/17/23/2008.
- Mishra, A. K., V. P. Singh., 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391, 202-216.
- Mosaedi, A., M. Ghabaei Sough., 2011. Modification of Standardized Precipitation Index (SPI) based on relevant probability distribution function. Journal of Water and Soil 25, (5), 1206-1216.
- Rajabi, A., 2010. Modeling Of Kermanshah Climate by means of Downscaling Model of LARS-WG. 2nd Nationam Conference on Utilization Integrated Management of Water Resources. 29-30 January. Kerman.
- Rezaei Pazhand, H., 2001. Application of Statistics and Probability in Water Resources. Sokhan Gostar Press. Mashhad.
- Rezaei Pazhand, H., A. Bozurg Nia., 2002. Non-Linear Regression. Mashhad University Press.
- Salehnia N. 2010. Drought Prediction With GCMs, Atmosphere and Statistical Downscaling Outputs (Case Study Neyshabour Basin). MSc Thesis, Ferdowsi University of Mashhad.
- Semenov, M.A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research 35, 203-212.
- Shah Karami, N., A.R. Massah Bavani., S. Morid., H. Fahmi., 2008. The Uncertainty Analysis of Coupled Ocean – Atmosphere – General Circulation Models on Climate Change Scenarios of Temperature and Rainfall Zayandeh Roud Basin. Training Workshop on Impact of Climate Change on Water Resources. 13 February.
- Stuart, G., M. Frey., 2005. Drought Detection And Quantification Using Field-Based Spectral Measurements Of Vegetation In Semi-Arid Regions. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Masters of Science in Hydrology New Mexico.
- Velayati, S., K. Davari., H. Ansari., H. Teimori., M. Shahedi., F. Talebi., S. Tamasoki., 2010. The final report of the project preparation Khorasan Razavi Province.
- Wilby, R.L., I. Harris., 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research 42, 121-134.