

بررسی خشکسالی‌های دهه ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت اثر تغییر اقلیم، مطالعه موردی: حوزه آبخیز اسکندری، استان اصفهان

معصومه بحری^۱، محمدتقی دستورانی^۲ و مسعود گودرزی^{۳*}

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ^۲ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ^۳ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۴

چکیده

مطالعه تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر شدت و تواتر خشکسالی‌های دهه‌های آتی می‌تواند به برنامه‌ریزی به‌منظور استفاده صحیح منابع آب و سازگاری با آثار مخرب پدیده خشکسالی کمک شایانی نماید. در این پژوهش به ارزیابی تغییرات اقلیمی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و اثر آن بر خشکسالی حوزه آبخیز اسکندری پرداخته شده است. بدین منظور پس از ارزیابی توانایی LARS-WG در شبیه‌سازی دوره ۲۰۰۸-۱۹۶۵ بر اساس سناریوی پایه، اقدام به ریز مقیاس‌نمایی برون‌دادهای مدل HadCM3^۱ تحت دو سناریوی A2 و B1 و پیش‌بینی دمای کمینه، بیشینه و بارش و بررسی شاخص خشکسالی SPI شده است. بر اساس سناریوهای A2 و B1 دمای کمینه افزایش ۰/۳ تا ۱/۶ درجه سانتی‌گراد را در ماه‌های مارس، ژوئن، ژوئیه و سپتامبر خواهد داشت. بیشترین و کمترین افزایش دمای بیشینه به ترتیب مربوط به می و فوریه به میزان ۱/۶ و ۰/۲ درجه سانتی‌گراد است. نتایج نشان از افزایش ۷/۲ تا ۱۰/۹ درصدی متوسط بارش سالانه دارد. اما از آن‌جایی که تعداد روزهای تر افزایشی نخواهند داشت، بنابراین، بر شدت بارش‌های حادی افزوده می‌شود. بیشترین کاهش بارندگی مربوط به ماه‌های آوریل و می بوده و با توجه به این‌که این کمبود بارندگی با تأخیر چند ماهه نمود پیدا می‌کند، شدیدترین خشکسالی با توجه به SPI شش‌ماهه مربوط به آگوست و شدیدترین خشکسالی بر اساس SPI ۱۲ ماهه متعلق به دسامبر است. تحلیل سالانه این شاخص نشان داد که ۷۵ درصد سال‌ها وضعیت نرمال دارد، بنابراین، حوزه آبخیز اسکندری در دهه ۲۰۲۰ با افزایش فراوانی وقوع خشکسالی روبه‌رو خواهد بود، اما انتظار می‌رود، بارش‌ها به سمت فصل گرم جابه‌جا شوند.

واژه‌های کلیدی: شاخص، ریز مقیاس‌نمایی، HadCM3، LARS-WG، SPI

مقدمه

صنعتی شدن کشورهاست که منجر به افزایش دمای کره زمین و افزایش بلایای طبیعی همانند سیل، خشکسالی، طوفان و گرد و غبار می‌شود. محققین معتقدند، معتبرترین ابزار برای بررسی پدیده تغییر اقلیم، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده

اقلیم از اجزای مهم اکوسیستم محسوب می‌شود، بدین علت تغییرات هر چند ناچیز آن اجزای مختلف اکوسیستم را متأثر می‌سازد. تغییر اقلیم ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی و

^۱ Hadley Center General Circulation Model

* مسئول مکاتبات: massoudgoodarzi@yahoo.com

رواناب ۱۳ حوضه اصلی رودخانه‌های جنوب شرق استرالیا را بررسی نمودند. Arnell و Charlton (۲۰۱۲)، مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی را برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب انگلستان مورد استفاده قرار دادند.

خشکسالی نیز از مخاطرات طبیعی شناخته شده و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی می‌باشد. رخداد خشکسالی که در اثر کمبود بارندگی طی یک دوره زمانی بروز می‌کند، بر بخش‌های مختلف زندگی انسان‌ها تأثیر می‌گذارد. پیش‌بینی خشکسالی یکی از راه‌کارهای مدیریتی است که به برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده از منابع محدود آب کمک شایانی می‌نماید. Moafimadani و همکاران (۲۰۱۲)، Golmohammadi و Massah Bavani (۲۰۱۱) و همچنین، Khazanehdari و همکاران (۲۰۰۹) از محققینی بوده‌اند که خشکسالی‌های سال‌های آینده را در نقاط مختلف کشور بررسی نمودند.

هدف از مطالعه پیش‌رو، بررسی تغییرات اقلیمی و به‌دنبال آن بررسی خشکسالی‌های دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در حوزه آبخیز اسکندری می‌باشد که از منابع تأمین‌کننده آب رودخانه زاینده‌رود است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مطالعاتی این پژوهش، حوزه آبخیز اسکندری واقع در بالادست سد زاینده‌رود و از منابع مهم تأمین‌کننده آب این سد می‌باشد. وسعت آن ۱۶۴۹ کیلومتر مربع و دارای ارتفاع متوسط وزنی آن ۲۶۲۶ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین طولانی مدت بارش منطقه مطالعاتی ۳۳۹ میلی‌متر در سال و متوسط دمای سالانه آن ۹/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در این پژوهش، از آمار ایستگاه کلیماتولوژی دامنه فریدن که دارای آمار طولانی‌مدت و ارتفاعی برابر با ارتفاع متوسط وزنی حوزه آبخیز اسکندری می‌باشد و نیز اطلاعات ایستگاه سینوپتیک داران استفاده شده است. شکل ۱، منطقه مطالعاتی در سطح کشور و حوزه آبخیز زاینده‌رود را نشان می‌دهد. در جداول ۱ و ۲ ویژگی‌های اقلیمی مشاهداتی منطقه مطالعاتی طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۶۵ آمده است.

به‌وسیله مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو-اقیانوسی^۱ می‌باشد (IPCC، ۱۹۹۵). این مدل‌ها که بر پایه قوانین فیزیکی و دینامیکی استوارند، عوامل جوی و اقیانوسی را با استفاده از سناریوهای تأیید شده هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۲ مدل‌سازی می‌نمایند (Morid و Massah Bavani، ۲۰۰۶). ضعف مدل‌های مذکور عدم توانایی آن‌ها در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی در مقیاس نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد (Kouhi و Babayan، ۲۰۱۲). به‌منظور رفع این کاستی، خروجی مدل‌ها ریزمقیاس می‌شوند. ریزمقیاس‌نمایی به دو روش دینامیکی و آماری صورت می‌گیرد. در روش ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی، معادلات حرکت هوا در شبکه‌های نامنظم افقی و قائم از سطح زمین تا ارتفاع حدود استراتوسفر حل می‌شود. در روش ریزمقیاس‌نمایی آماری رفتار عوامل اقلیمی دوره مشاهداتی به آینده تعمیم داده شده، به گونه‌ای که با اعمال این رفتار به خروجی مدل گردش عمومی جو^۳ در دوره آینده، اقلیم ایستگاه مطالعاتی در مقیاس زمان و مکان پیش‌بینی می‌شود. روش‌های آماری به عوامل کمتری نیاز داشته، به همین دلیل بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Alizadeh و همکاران، ۲۰۱۰).

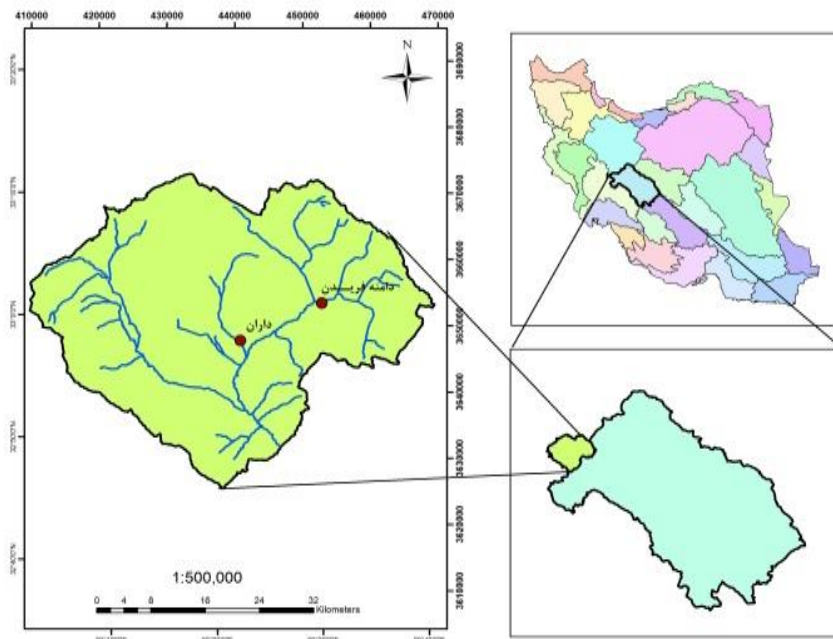
مولدهای وضع هوا^۴ از مهم‌ترین روش‌های آماری برای ریزمقیاس‌نمایی می‌باشند. این مدل‌ها سری‌های زمانی عوامل اقلیمی نظیر بارندگی، دما و تابش خورشیدی را تولید و شبیه‌سازی می‌کنند. تاکنون مدل‌های مولد وضع هوای متعددی نظیر ClimGen، LARS-WG، MET و ROLL و غیره برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در دوره‌های آتی توسعه یافته و توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته‌اند. Won و همکاران (۲۰۱۲)، تغییرات اقلیمی را در دو حوضه واقع در شمال شرقی آمریکا با استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی هشت مدل اقلیمی بررسی نمودند. Silberstein و همکاران (۲۰۱۲)، پس از ریزمقیاس‌نمایی ۱۵ مدل GCM، اثرات تغییر دما و بارش بر

¹ Atmospheric-Ocean General Circulation Model (AOGCM)

² IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

³ Global Circulation Model (GCM)

⁴ Weather Generator (WG)



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در سطح کشور و حوزه آبخیز زاینده‌رود

جدول ۱- میانگین ماهانه بارش، دمای کمینه و بیشینه حوزه آبخیز اسکندری در دوره آماری ۱۹۶۵-۲۰۰۸

عامل	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
میانگین بارش	۴۸/۱	۴۴	۶۱/۴	۵۴/۲	۲۱/۱	۱۱/۹	۲/۵	۰/۶	۰/۶	۱۶	۴۲/۰۴	۴۷/۰۱	۳۳۹/۸
میانگین دمای کمینه	-۱۰/۴	-۸	-۲/۲	۲/۸	۶/۸	۱۰/۹	۱۴/۲	۱۲/۷	۷/۴	۲/۰۶	-۱/۸	-۶/۵	۲/۸
میانگین دمای بیشینه	۲/۵	۴/۳	۹/۴	۱۵/۷	۲۱/۶	۲۸/۴	۳۱/۱	۳۰/۴	۲۶/۵	۱۹/۶	۱۱/۸	۶	۱۷/۲

جدول ۲- میانگین فصلی بارش، دمای کمینه و بیشینه حوزه آبخیز اسکندری در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۹۶۵

عوامل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین بارش	۷۸	۵/۵	۱۰۴/۸	۱۵۱/۶
میانگین دمای کمینه	۶/۵	۱۱/۲	-۱/۸	-۶/۶
میانگین دمای بیشینه	۲۱/۷	۲۹	۱۲/۵	۵/۸

این مطالعه، سناریوی A2 به‌عنوان یک سناریوی متوسط که نشان‌دهنده رشد سریع جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن بوده و همچنین، سناریوی B1 به‌عنوان سناریوی خوشبینانه می‌باشد. سناریوی اخیر همگرایی جمعیت در سطح جهان را در دوره‌های آتی مد نظر قرار داده و تغییر ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک را ارائه می‌دهد (IPCC، ۲۰۰۷). در مدل‌سازی، عدم قطعیت‌هایی

مدل اقلیمی و سناریوها: در این مطالعه از یک مدل گردش عمومی جو مرسوم به HadCM3¹ استفاده شد. مدل نامبرده از مدل‌های جفت شده اقیانوسی-جوی است و به‌وسیله مرکز هادلی انگلستان طراحی شده است. قدرت تفکیک این مدل، شبکه‌ای با ابعاد ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی می‌باشد (IPCC، ۲۰۰۷). سناریوهای مورد استفاده در

¹ Hadley Center General Circulation Model

است: Bazrafkan و همکاران (۲۰۰۹)، ۱۵ ایستگاه هواشناسی را در نقاط مختلف کشور به‌ویژه اقلیم خشک و نیمه‌خشک انتخاب نموده و کارایی مدل LARS-WG را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعات Meshkati و همکاران (۲۰۰۹) در استان گلستان و Ababayi و همکاران (۲۰۱۱) در ۱۲ ایستگاه ساحل شمال و جنوب ایران، نشان‌دهنده توانایی مدل مذکور برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در شرایط آب و هوایی ایران می‌باشد.

پایبش نوسانات اقلیمی: در مطالعه پیش‌رو ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۴۴ ساله ۲۰۰۸-۱۹۶۵ به‌عنوان دوره پایه، عوامل اقلیمی مورد نیاز برای اجرای مدل جمع-آوری و مورد پردازش قرار گرفته شد. مدل برای دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله واسنجی صورت گرفت. با توجه به این‌که نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی صرفاً در مناطق آزمون از اعتبار لازم برخوردار است، مرحله اعتبارسنجی مدل متناسب با داده‌های منطقه مطالعاتی صورت گرفت. به‌منظور اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره پایه تدوین و مدل برای این دوره اجرا شد. سپس خروجی‌های مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش و همچنین، انحراف معیار آن‌ها با داده‌های ۴۴ سال دیدبانی شده ایستگاه مورد مطالعه مقایسه شدند. ارزیابی مدل از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولید شده به‌وسیله مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و عوامل خطاسنجی $RMSE^2$ ، MAE^3 ، $Bias$ ، NSE^4 و همچنین، از آزمون آماری $K-S^5$ برای مقایسه توزیع‌های فراوانی، از آزمون T برای مقایسه مقادیر میانگین داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی و مقایسه مقدار احتمالاتی P-value صورت گرفت. پس از اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده‌های اقلیمی، این مدل به‌منظور ریز مقیاس-نمایی برون‌داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده مصنوعی برای پیش‌بینی اقلیم دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ اجرا شد. پس از اجرای مدل و

به‌علت عدم شناخت کامل فرایندها در سامانه اقلیمی وجود دارد. در این پژوهش، سعی شده است تا عدم قطعیت در شبیه‌سازی مدل گردش عمومی جو با در نظر گرفتن دو سناریو از سری سناریوهای مورد تایید IPCC شامل سناریوهای A2 و B1 تعدیل شود.

مدل ریز مقیاس‌نمایی: برای ریز مقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل HadCM3 از مدل آماری LARS-WG¹ استفاده شد. این مدل یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید بارش روزانه، تابش، دمای کمینه و بیشینه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود. ابتدا توسط راسکو و همکاران ارائه و سپس توسط Semenov و همکاران (۱۹۹۸) بازنگری شد. دلیل اصلی تولید این مدل برای غلبه بر نقاط ضعف زنجیره مارکف بود که به کرات از آن برای مدل‌سازی رخداد بارش استفاده شده است. LARS-WG برای شبیه‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارندگی و تابش خورشیدی از توزیع‌های نیمه تجربی به فرم کلی زیر استفاده می‌کند.

$$EPM = \{a_0, a_i, h_i, i=1, \dots, 10\} \quad (1)$$

که هیستوگرامی شامل ۱۰ طبقه است و هر یک از طبقات در فاصله (a_{i-1}, a_i) تعریف می‌شود. به‌طوری که $a_i \langle a_{i-1}$ و h_i فراوانی پدیده‌های مشاهده شده در طبقه i ام می‌باشد. برای تولید مقادیر متغیرهای تصادفی وضع هوا با استفاده از یک توزیع نیمه تجربی، ابتدا یکی از طبقات ده‌گانه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس، با فرض تبعیت داده‌ها از توزیع یکنواخت در طبقه مورد نظر، یک مقدار در آن فاصله برای متغیر انتخاب می‌شود. برای یک روز تر مقدار بارش از توزیع نیمه تجربی بارش ماه مورد نظر و به‌طور مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به‌دست می‌آید. دمای بیشینه و کمینه روزانه به‌صورت فرایندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند.

به‌منظور بررسی کارایی این مدل در اقلیم‌های مختلف کشور، مطالعاتی به شرح زیر صورت گرفته

² Root Mean Square Error

³ Mean Absolute Error

⁴ Nash-SutcliffeS

⁵ Chi-Squared

¹ Long Ashton Research Station-Weather Generator

۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای اهداف آشناسی شاخص مذکور را پیشنهاد دادند. Dupigny-Giroux (۲۰۰۱) بیان داشت که SPI در مقیاس یک‌ماهه، شروع شرایط خشکسالی را بهتر نشان می‌دهد.

به‌منظور بررسی شرایط دوره‌های خشکسالی و ترسالی و بررسی روند تغییرات آن در دهه آتی، بعد از اجرای مدل اقلیمی و تولید عامل بارش برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، با توجه به تاثیر کمبود بارندگی بر هر یک از انواع منابع آبی و با هدف بررسی شرایط خشکسالی، شاخص SPI با مقیاس زمانی یک، شش و ۱۲ ماهه انتخاب شده و به تحلیل خشکسالی‌های دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ پرداخته شد. از آن‌جا که شاخص خشکسالی در صورتی ابزار مفید برای پایش این پدیده است که بتواند خصوصیات خشکسالی مانند شدت، مدت و گستره مکانی آن را مشخص کند (Hayes و همکاران، ۱۹۹۹)، برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بر اثر خشکسالی سه معیار طولانی‌ترین دوره (ماه)، تعداد ماه‌های مواجهه با خشکی و فراوانی و درصد فراوانی ماه‌های خشک محاسبه شد.

نتایج و بحث

واسنجی و ارزیابی مدل LARS-WG: در تحلیل فراوانی وقوع بارش روزانه با استفاده از آزمون K-S، اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهداتی (۱۹۶۵-۲۰۰۸) و داده‌های تولید شده به‌وسیله مدل در تمامی ماه‌ها، به‌جز ماه ژوئن وجود نداشته و مقادیر همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد قابل قبول می‌باشند، بنابراین عدم اطمینان به فراوانی بارش فقط در ماه مذکور وجود دارد. همچنین، در بررسی بارش متوسط ماهانه با استفاده از آزمون T، تنها عدم اطمینان به مدل‌سازی بارش ماه ژوئیه وجود دارد. با توجه به قرارگیری ماه‌های ژوئن و ژوئیه در فصل تابستان و کمبود بارش در این فصل می‌توان از این خطا چشم‌پوشی نمود. شکل ۲، مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی شده بارش را نشان می‌دهد و شکل ۳، این مقایسه را برای مقادیر دمای کمینه و بیشینه به نمایش می‌گذارد. چنانچه ملاحظه می‌شود، بارش شبیه‌سازی شده در ماه‌های فوریه و مارس به‌ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای به‌دست

تولید مقادیر روزانه عوامل بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه برای دوره آتی، عوامل مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط اقلیمی دوره آینده و تغییرات آن نسبت به دوره گذشته مورد بررسی قرار گرفت.

به‌علت این‌که در روزهای گرم، نیاز آبی محصولات کشاورزی افزایش یافته و در حالتی که این روزها با خشکسالی عجین شوند، تخصیص آب به بخش کشاورزی به میزان زیادی کاهش خواهد یافت، نیاز به بررسی تعداد روزهای داغ، یخبندان، تر و خشک دوره آتی ضروری است. در این مطالعه، پس از محاسبه سری زمانی عوامل اقلیمی دهه آتی، تعداد روز داغ^۱ که دمای بیشینه آن از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بوده و روزهای یخبندان^۲ که در آن دمای کمینه صفر یا کمتر است (Semenov و همکاران، ۱۹۹۸)، همچنین روز خشک که مقدار بارش آن کمتر از ۰/۱ میلی‌متر و روز تر که مقدار بارش بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر است (Silberstein و همکاران، ۲۰۱۲) محاسبه و با دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت.

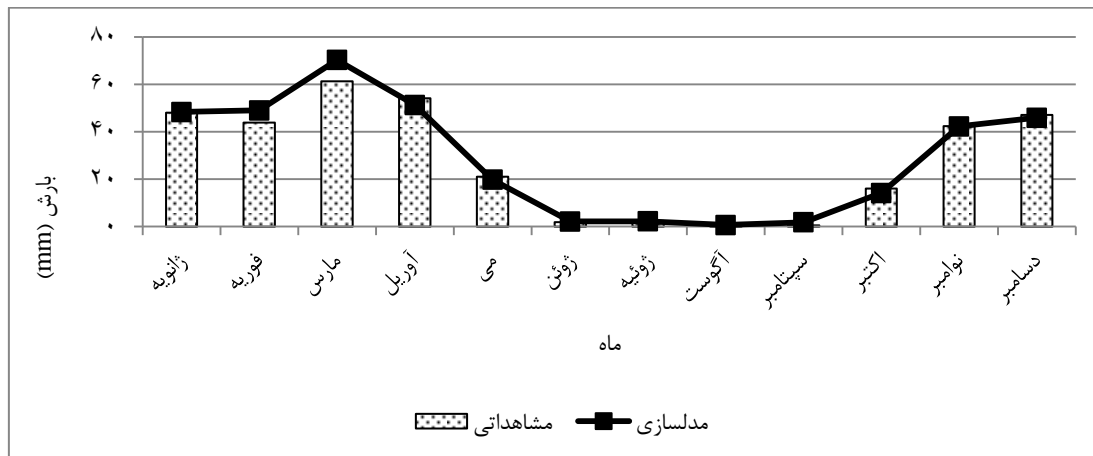
پایش خشکسالی: در این مطالعه برای تعیین طبقات مختلف شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI از طبقه‌بندی Edwards و McKee (۱۹۹۷) استفاده شد. بر اساس شاخص SPI، دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که در آن مقدار این شاخص به‌طور پیوسته منفی بوده و مقدار آن ۱- یا کمتر باشد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار آن مثبت شود (McKee و همکاران، ۱۹۹۳). مقیاس‌های زمانی مختلف شاخص SPI به‌منظور نشان دادن تاثیرات کاهش بارندگی بر منابع آبی مختلف طراحی شده‌اند. برای مثال تغییر رطوبت خاک واکنشی است، در برابر نوسان بارندگی در رابطه با مقیاس‌های زمانی کوتاه-مدت، در حالی‌که کاهش آب‌های زیرزمینی، جریان‌ات سطحی و مخازن آب واکنشی در برابر نوسانات طولانی‌مدت بارندگی است (Shakiba و همکاران، ۲۰۱۰). McKee و همکاران (۱۹۹۳)، به‌منظور پایش خشکسالی در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت سه و شش-ماهه برای اهداف کشاورزی و مقیاس زمانی بلندمدت

¹ Hot Day

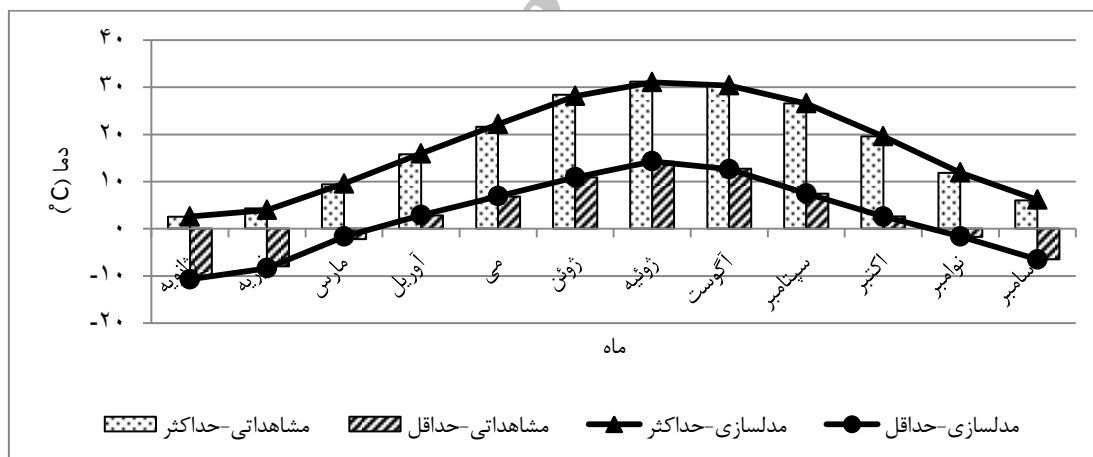
² Frost Day

شبه‌سازی شده به‌وسیله مدل را در همه ماه‌های سال و قابل قبول بودن مقادیر همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد را نشان می‌دهد. ارزیابی مدل از بررسی داده‌های متوسط دمای کمینه و بیشینه ماهانه با استفاده از آزمون T وجود اطمینان بالا به مدل‌سازی این عوامل و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و شبه‌سازی شده دارد.

آمده است. این بدان معناست که مدل بیش برآورد دارد. بنابراین، پیش‌بینی افزایش بارندگی در دوره‌های آتی در این ماه‌ها ناشی از عدم دقت کافی یا همان بیش برآورد مدل LARS-WG خواهد بود. ارزیابی مدل از احتمال فراوانی وقوع متغیرهای دمای کمینه و بیشینه روزانه با استفاده از آزمون K-S عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و



شکل ۲- مقایسه مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی شده بارش در دوره ۱۹۶۵-۲۰۰۸



شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی شده دمای کمینه و بیشینه در دوره ۱۹۶۵-۲۰۰۸

جدول ۳، مقدار آماره‌های خطاسنجی حاصل از عوامل اقلیمی مشاهداتی و مدل‌سازی شده را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که مقدار آماره NSE برای هر سه عامل اقلیمی مطالعه شده نزدیک به عدد یک می‌باشد و همچنین، کم بودن مقدار آماره Bias، مدل لارس دارای دقت مدل‌سازی بالایی است. مقدار آماره RMSE برای دمای کمینه و بیشینه کمتر از مقدار آن برای بارش است. این مسئله بیانگر قدرت بالای

مدل‌سازی شده دمای کمینه و بیشینه در دوره ۱۹۶۵-۲۰۰۸

می‌توان بیان داشت که هر چه عامل حالت پیوستگی داشته باشد، میزان خطای مدل‌سازی کاهش می‌یابد.

باشد. چنین به نظر می‌رسد که تغییرپذیری زیاد بارش در افزایش خطای مدل‌سازی این عامل تاثیرگذار است.

جدول ۳- آماره‌های خطاسنجی متغیرهای هواشناسی مشاهداتی و مدل‌سازی (۱۹۶۵-۲۰۰۸)

میانگین دمای کمینه ماهانه				میانگین دمای بیشینه ماهانه				میانگین بارش ماهانه			
Bias	NSE	MAE	RMSE	Bias	NSE	MAE	RMSE	Bias	NSE	MAE	RMSE
۰/۰۱۷	۰/۹۹۹	۰/۰۱۸	۰/۲۳	۰/۰۵۸	۰/۹۹۹	۰/۰۵۸	۰/۲۲۸	۰/۶۵۸	۰/۹۸۲	۰/۶۵	۳/۱۷۶

میزان افزایش بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ را به ترتیب برای فصل پاییز ۱۸/۷ و ۲۸/۶ و برای زمستان ۱۰/۵ و ۸/۲ درصد پیش‌بینی می‌نمایند. در نتیجه بیشینه افزایش بارندگی تحت سناریوی B1 برای فصل پاییز قابل پیش‌بینی است.

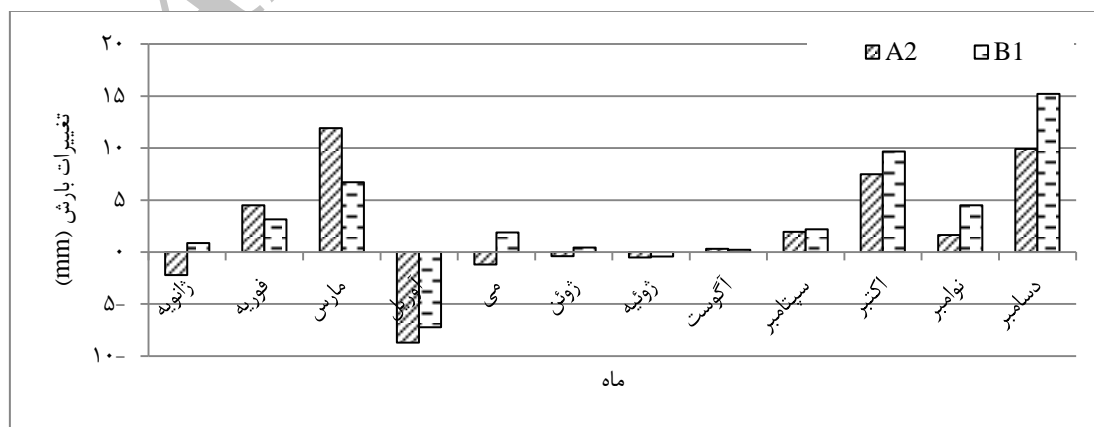
دمای کمینه: بررسی میانگین دمای کمینه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، تحت دو سناریوی A2 و B1 به ترتیب نشان از افزایش ۰/۳ تا ۱/۶۶ و ۰/۵ تا ۱/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به نحوی که بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های ژوئن، ژوئیه، سپتامبر و مارس است. شکل ۶، اختلاف بین میانگین دمای کمینه ماهانه دوره پایه و آینده را نشان می‌دهد.

از نظر تغییرات فصلی همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، هر دو سناریو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ افزایش دمای کمینه را برای تمام فصول پیش‌بینی می‌کنند. این افزایش در مقدار دمای کمینه در فصول بهار و تابستان بیشتر از فصول دیگر به مقدار ۱/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بررسی میانگین ماهانه دمای کمینه نیز بیان‌کننده این مطلب می‌باشد.

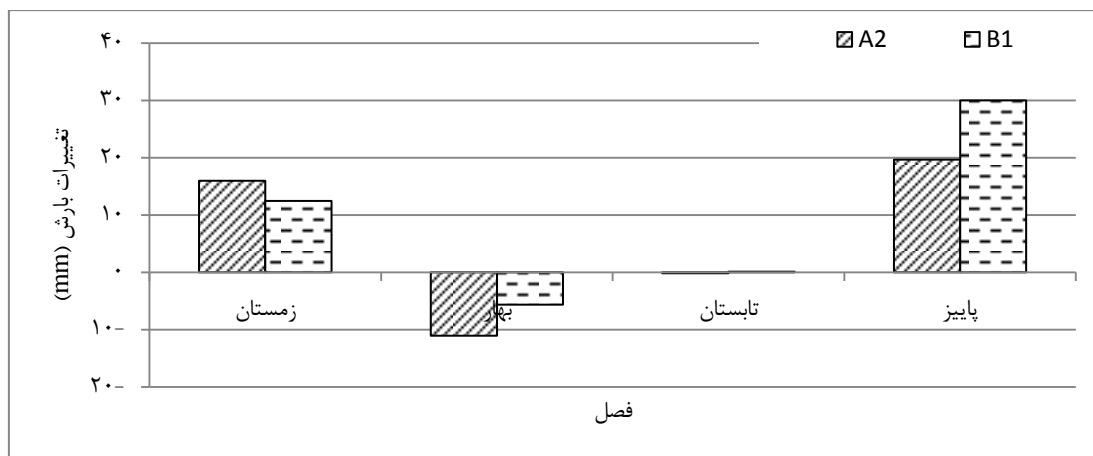
تغییرات اقلیمی دهه ۲۰۱۱-۲۰۳۰

بارش: شکل ۴، میزان اختلاف بارش ماهانه دوره مشاهداتی و دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ را نشان می‌دهد. هر دو سناریو برای ماه‌های فوریه، مارس، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش بارندگی و برای ماه آوریل و ژوئیه کاهش بارندگی را پیش‌بینی می‌کنند که بیشترین کاهش بارندگی مربوط به ماه آوریل است. بیشترین افزایش بر اساس سناریوی A2 و B1 به ترتیب مربوط به ماه مارس و دسامبر می‌باشد. متوسط مجموع بارش سالانه در این دوره روند افزایشی نشان می‌دهد. به‌طوری که پیش‌بینی هر دو سناریوی A2 و B1 به ترتیب ۳۶۴/۵ و ۳۷۶/۹ میلی‌متر بوده که در مقایسه با ۳۳۹/۸ میلی‌متر بارش دوره مشاهداتی (جدول ۱)، به ترتیب ۷/۲ و ۱۰/۹ درصد افزایش بارش را پیش‌بینی می‌کنند.

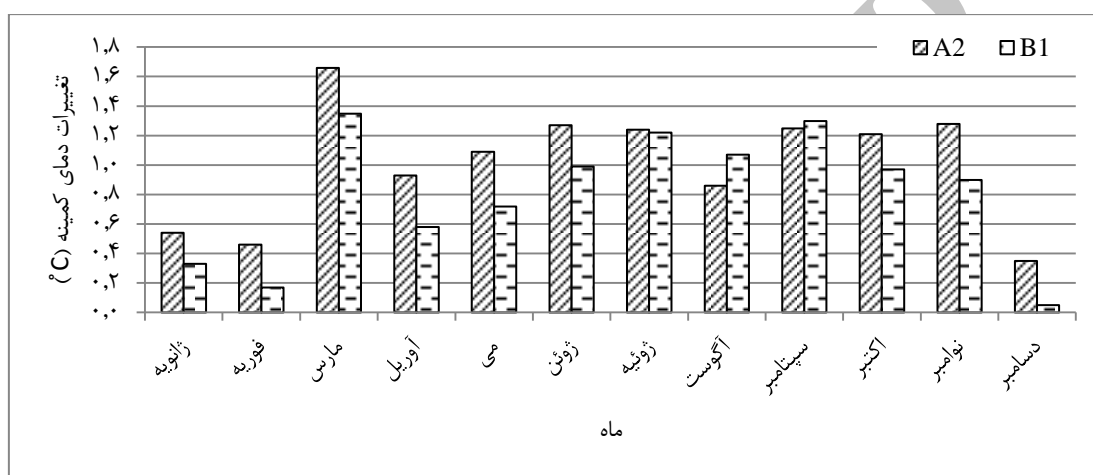
شکل ۵، میزان اختلاف میانگین بارش فصلی دو دوره را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، از نظر تغییرات فصلی، در فصل‌های زمستان و پاییز افزایش بارندگی رخ خواهد داد. دو سناریوی A2 و B1



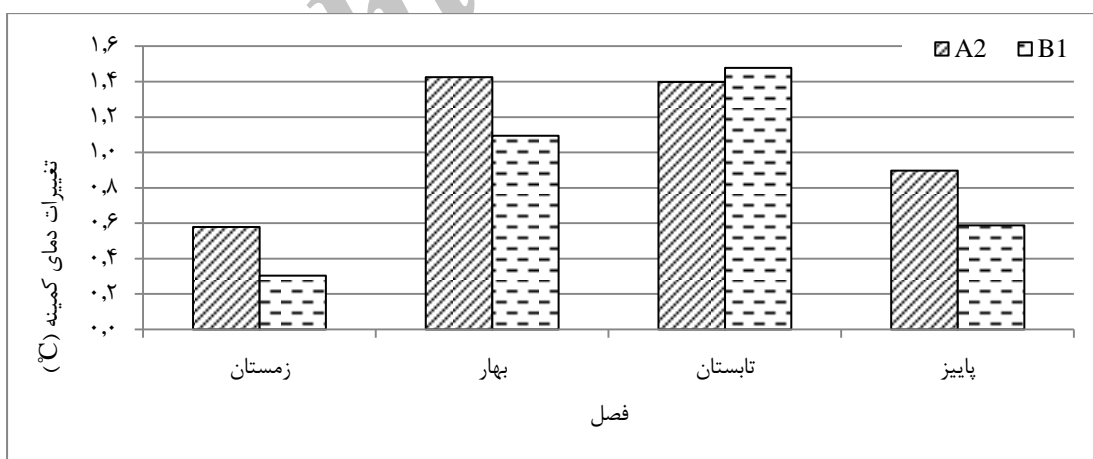
شکل ۴- تغییرات میانگین بارش ماهانه ۱۹۶۵-۲۰۰۸ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای A2 و B1



شکل ۵- تغییرات میانگین بارش فصلی ۱۹۶۵-۲۰۰۸ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای A2 و B1



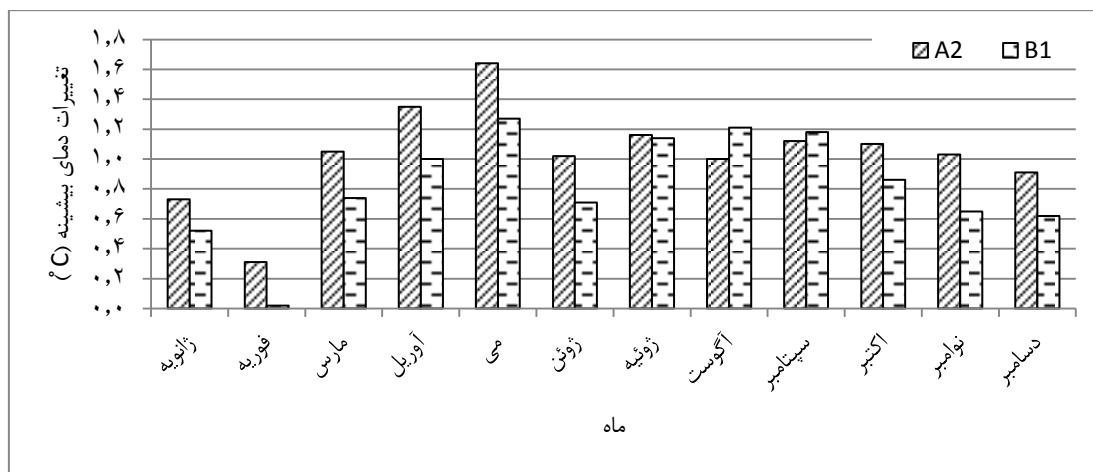
شکل ۶- تغییرات میانگین دمای کمینه ماهانه ۱۹۶۵-۲۰۰۸ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای A2 و B1



شکل ۷- تغییرات میانگین دمای کمینه فصلی ۱۹۶۵-۲۰۰۸ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای A2 و B1

توجه به سناریوهای A2 و B1، بیشترین افزایش دما در ماه می به میزان ۱/۶ تا ۱/۲۷ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. کمترین افزایش دمای بیشینه تحت هر دو سناریوی نامبرده در ماه فوریه و به میزان ۰/۳ تا ۰/۰۲ خواهد بود.

دمای بیشینه: با توجه به شکل ۸، در هر دو سناریو، افزایش دمای بیشینه برای تمامی ماه‌ها در دوره آتی به‌وسیله مدل LARS-WG پیش‌بینی شده است. با مقایسه دمای بیشینه دوره مشاهداتی و دوره آتی با



شکل ۸- تغییرات میانگین دمای بیشینه ماهانه ۱۹۶۵-۲۰۰۸ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای A2 و B1

سناریوی B1 بیشترین افزایش دمای بیشینه در فصل تابستان به میزان ۱/۵ و کمترین آن را در فصل زمستان به میزان ۰/۰۶ درجه سانتی‌گراد است. بدین ترتیب می‌توان بیان داشت که افزایش دمای بیشینه در فصول گرم سال بیشتر از فصول سرد سال خواهد بود. شکل ۹، مطالب بیان شده را به نمایش گذاشته است.

از نظر تغییرات فصلی، هر دو سناریو افزایش دمای بیشینه را در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ پیش‌بینی نموده‌اند. نه تنها دمای کمینه، بلکه دمای بیشینه نیز در فصول بهار و تابستان نسبت به پاییز و زمستان افزایش بیشتری خواهند داشت. بیشترین و کمترین افزایش دمای بیشینه مربوط به سناریوی A2 به ترتیب برای فصل بهار به میزان ۱/۵ و فصل زمستان به میزان ۰/۳ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شده است. بر اساس



شکل ۹- تغییرات میانگین دمای بیشینه فصلی ۱۹۶۵-۲۰۰۸ و ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوهای A2 و B1

متوسط دمای دوره پایه در منطقه مطالعاتی ۹/۸ بوده است، سناریوهای مذکور ۰/۸۲ تا ۱/۰۲ درجه سانتی-گراد افزایش دمای متوسط سالانه را پیش‌بینی می‌نماید. با بررسی دمای متوسط ماهانه ملاحظه می‌شود که سناریوی A2 بیشترین افزایش دما را برای ماه می و به میزان ۱/۳۷ درجه و کمترین افزایش دما را برای

به‌طور کلی، با توجه به افزایش توأم دمای کمینه و بیشینه می‌توان انتظار داشت، میانگین دمای حوضه مطالعاتی در دهه‌های آتی نیز افزایش چشمگیری خواهد داشت. میزان متوسط دمای سالانه پیش‌بینی شده به‌وسیله دو سناریوی A2 و B1 به ترتیب ۱۰/۸ و ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد بوده و با توجه به این‌که

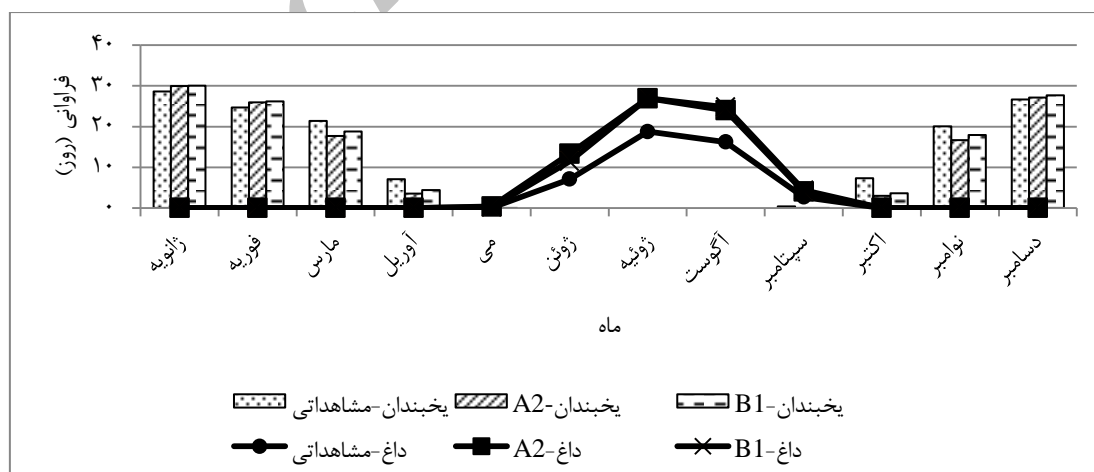
ژوئیه، آگوست و سپتامبر در مقایسه با دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش روزهای داغ با توجه به سناریوی A2 مربوط به ماه ژوئیه به مقدار ۸/۱۹ روز می‌باشد. سناریوی B1 بیشترین افزایش تعداد روزهای داغ را برای ماه آگوست و به تعداد ۸/۵ روز پیش‌بینی نموده است. در سایر ماه‌ها در منطقه مطالعاتی روز داغی وجود نداشته و مدل LARS-WG نیز برای دوره آتی روز داغی را پیش‌بینی ننموده است. همان‌طور که قبلاً بیان شد، بیشترین افزایش دمای بیشینه در فصول تابستان و بهار رخ خواهد داد، در نتیجه مشاهده می‌شود که افزایش تعداد روزهای داغ در این فصول خواهد بود.

در طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۶۵ به‌طور متوسط، سالانه ۴۴ روز، دارای دمای بیشینه بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد یا به‌عبارتی روز داغ بوده است. سناریوی A2 تعداد روزهای مذکور را برای سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۶۹ روز و سناریوی B1، ۶۷ روز پیش‌بینی کرده است. بدین ترتیب می‌توان بیان داشت، در دهه-های آتی میانگین روزهای داغ سالانه افزایش خواهد یافت. چنانچه ملاحظه می‌شود، سناریوی A2 افزایش روزهای داغ بیشتری را پیش‌بینی می‌نماید. همان‌طور که در مباحث قبلی بیان شد، این سناریو نسبت به سناریوی B1 دمای کمینه، بیشینه و متوسط بیشتری را نیز پیش‌بینی نموده است.

ماه فوریه بیان داشته است. سناریوی B1 بیشترین افزایش دما را به میزان ۱/۲۴ درجه و برای ماه سپتامبر و کمترین مقدار در افزایش دما را برای ماه فوریه به میزان ۰/۰۹ درجه سانتی‌گراد به‌دست آورده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بررسی دمای متوسط ماهانه نیز نشان‌دهنده افزایش دمای بیشتر در فصل تابستان می‌باشد.

با توجه به کاهش بارندگی در بهار و تابستان و افزایش دما از یک سو و نیاز بیشتر به آبیاری اراضی کشاورزی و استفاده از آب شرب از سوی دیگر، ذخیره‌سازی آب در فصول پر باران و برنامه‌ریزی مدیریتی برای استفاده صحیح از منابع آب توصیه می‌شود. با افزایش دما در منطقه مطالعاتی، بارش‌ها به-سمت فصول گرم شیف‌ت پیدا کرده و در نتیجه نسبت بارش‌های مایع به کل بارش سالانه افزایش یافته و بدین ترتیب ذخایر آبی (برف) برای بهار و تابستان که با کاهش بارندگی نیز روبه‌رو خواهند بود، کاهش می‌یابد. Ghamdideh (۲۰۰۸)، با بررسی تغییرات اقلیمی در استان کردستان نیز به این نکته اشاره نموده است.

روزهای داغ و یخبندان: شکل ۱۰، میانگین تعداد روزهای داغ و یخبندان را به‌طور ماهانه در دوره پایه (۲۰۰۸-۱۹۶۵) و آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) را نمایش می‌دهد. نتایج هر دو سناریو نشان می‌دهند که میانگین تعداد روزهای داغ در ماه‌های می، ژوئن،



شکل ۱۰- مقایسه تعداد روزهای یخبندان و داغ دوره مشاهداتی و آینده

ماه‌های مارس، آوریل، می، سپتامبر، اکتبر و نوامبر انتظار می‌رود، تعداد روزهای یخبندان کاهش یابد.

در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر به‌طور متوسط یک روز به روزهای یخبندان افزوده خواهد شد. در

که تعداد روزهای تر در دهه ۲۰۲۰ با کاهش کمتر از یک روز مواجه خواهد بود. بیشترین افزایش روزهای تر در ماه اکتبر رخ خواهد داد. در ۴۴ سال دوره مشاهداتی به طور متوسط ۳۲۰/۵ روز خشک به وقوع پیوسته است. با توجه به دو سناریو این روزها به میزان کمتر از یک روز (۰/۱۳) افزایش می‌یابد. در ماه می بیشترین افزایش روزهای خشک در حدود یک روز به وقوع خواهد پیوست و بیشترین کاهش تعداد روزهای تر متعلق به اکتبر است.

با در نظر گرفتن رابطه معکوس بین دمای کمینه و تعداد روزهای یخبندان، افزایش دمای کمینه می‌تواند منجر به کاهش در تعداد روزهای یخبندان شود. در محدوده مطالعاتی نیز مشاهده شد که به دنبال افزایش دمای کمینه، کاهش هفت تا ۱۲ روزه در تعداد روزهای یخبندان پیش‌رو خواهد بود. از طرفی، با توجه به افزایش بارندگی سالانه از یک سو و عدم تغییر محسوس تعداد روزهای تر از سوی دیگر، این مسئله می‌تواند نشان از افزایش مقدار بارش‌های حدی باشد. به عبارتی می‌توان بیان داشت، حجم بارندگی در طی روزهای بارانی زیاد شده ولی تعداد این روزها تغییر چندانی نمی‌کند. فراوانی بارش‌های حدی می‌تواند، افزایش وقوع سیلاب و به دنبال آن هدررفت بیشتر منابع آبی را به دنبال داشته باشد که به تبع آن مدیریت جامع و همه جانبه حوزه آبخیز ضروری است.

بیشترین کاهش روزهای یخبندان را سناریوی A2 و B1 برای ماه اکتبر و به ترتیب ۴/۳ و ۳/۷ روز پیش‌بینی نمودند. کمترین کاهش تعداد روزهای مذکور با توجه به هر دو سناریو در ماه می و سپتامبر و به میزان کمتر از یک روز رخ خواهد داد. در فصل تابستان روز یخبندانی پیش‌بینی نشده است، چنانچه در دوره گذشته نیز در این فصل روز یخبندانی رخ نداده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، افزایش دما (کمینه، بیشینه و متوسط) در تمامی فصول دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ پیش‌بینی شده است که این افزایش باعث کاهش روزهای یخبندان خواهد شد. در دوره پایه به طور متوسط ۱۳۶ روز در سال یخبندان رخ داده است که سناریوی A2 تعداد این روزها را در دهه‌های آتی، ۱۲۴ روز و سناریوی B1، ۱۲۸ روز پیش‌بینی نموده است. بدین ترتیب به طور کلی تعداد کل روزهای یخبندان در طول سال در دهه آتی با توجه به سناریوی B1 و A2 نسبت به دوره پایه کاهش هفت تا ۱۲ روزه خواهد داشت.

روزهای تر و خشک: جدول ۴، مقایسه تعداد روزهای تر و خشک در دوره پایه و آتی را نمایش می‌دهد. طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۶۵ به طور متوسط سالانه ۴۴/۴ روز دارای بارندگی بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر و جز روزهای تر بوده است. سناریوی A2 و B1 تعداد این روزها را برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۴۴/۳ روز پیش‌بینی نموده است. بدین ترتیب، ملاحظه می‌شود

جدول ۴- مقایسه تعداد روزهای تر و خشک دوره مشاهداتی و آینده

تعداد روزهای تر	تعداد روزهای خشک	مشاهداتی	۲۰۳۰	۲۰۲۰	۲۰۱۱	۲۰۰۸	۱۹۶۵	۲۰۳۰	۲۰۲۰	۲۰۱۱	۲۰۰۸	۱۹۶۵	
۵/۸۳	۵/۸۱	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۸۳	
A2	B1	مشاهداتی	A2	B1	مشاهداتی	A2	B1	مشاهداتی	A2	B1	مشاهداتی	A2	B1

با توجه به سناریوی A2 در آگوست ۲۰۱۹ به وقوع خواهد پیوست. سناریوی B1 شدیدترین خشکسالی را برای ماه آگوست سال ۲۰۲۷ پیش‌بینی نموده است. همان‌طور که بیان شد، تأثیرات کاهش بارندگی بر روی رطوبت خاک، مخازن آب، جریان‌های سطحی رودخانه‌ها و سطح آب زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف زمانی نشان داده می‌شوند (Lloyd-Hughes و Saunders, ۲۰۰۲). شاخص SPI با تاخیر ۱۲ ماهه می‌تواند شروع خشکسالی‌های منابع سطحی آب را نشان دهد. شاخص مذکور حاصل از سناریوی A2 و B1 در پیش‌بینی ماه‌های دارای وضعیت نرمال به‌طور یکسان عمل نموده و ۶۸ درصد ماه‌ها را با شرایط نرمال پیش‌بینی می‌نمایند. اما در پیش‌بینی شرایط ماه‌های خشک و تر عملکردی متفاوت دارند که حاصل از تفاوت در پیش‌بینی میزان بارندگی می‌باشد. سناریوی A2، ۱۴ درصد و B1، ۱۶ درصد ماه‌ها را دارای شرایط مرطوب پیش‌بینی نموده‌اند. سناریوهای مذکور به‌ترتیب بیان داشته‌اند که ۱۸ و ۱۷ درصد ماه‌ها، دارای وضعیت خشکسالی می‌باشند. سناریوی A2، خشکسالی متوسط و سناریوی B1 خشکسالی شدید را با فراوانی بیشتر برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ پیش‌بینی نموده‌اند. بیشترین تداوم با توجه به این مقیاس زمانی، ۱۴ ماه می‌باشد و بیشترین شدت خشکسالی را هر دو سناریو در دسامبر ۲۰۱۹ پیش‌بینی نموده‌اند. جدول ۵ فراوانی شرایط خشکسالی، ترسالی و نرمال را با استفاده از شاخص SPI یک، شش و ۱۲ ماهه با استفاده از خروجی سناریوهای A2 و B1 را نشان می‌دهد. در جدول ۶، انواع خشکسالی‌ها و درصد وقوع آن‌ها آورده شده است.

خشکسالی‌های دهه ۲۰۱۱-۲۰۳۰: بررسی وضعیت بارش ماهیانه در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از شاخص SPI با مقیاس زمانی یک‌ماهه نشان‌دهنده آن است که حدود ۷۷ درصد ماه‌ها در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ وضعیت نرمال و ۱۵ درصد وضعیت تر و هشت درصد ماه‌ها وضعیت خشکی خواهند داشت. در میان ماه‌های خشک بیشترین فراوانی مربوط با وضعیت خشکسالی با شدت متوسط می‌باشد. خشکسالی‌های متوسط، شدید و بسیار شدید به‌ترتیب چهار، دو و یک درصد از کل ماه‌های دوره آبی را شامل می‌شوند. سناریوی A2 بیشترین تداوم خشکسالی را دو ماه و برای ماه‌های فوریه و مارس ۲۰۱۵ و بیشترین شدت خشکسالی را برای ماه ژانویه ۲۰۲۳ پیش‌بینی نموده است. سناریوی B1 نیز بیشترین تداوم خشکسالی را دو ماهه پیش‌بینی نموده است و شدیدترین آن مربوط به ماه نوامبر ۲۰۲۹ خواهد بود.

می‌توان بیان نمود، SPI با تاخیر زمانی شش ماه، هشدار برای بیان اتمام ذخایر رطوبتی خاک می‌باشد. محاسبه SPI شش‌ماهه با استفاده از عامل بارش پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل LARS-WG، سناریوهای A2 و B1 درصد فراوانی ماه‌های نرمال، تر و خشک را نسبت به کل دوره مورد مطالعه به‌ترتیب ۶۸، ۱۶ و ۱۷ درصد بیان نمودند. با استفاده از این شاخص خشکسالی متوسط از فراوانی بیشتری برخوردار بوده است. ماه‌هایی که با شرایط خشکسالی متوسط، شدید و بسیار شدید روبه‌رو خواهند بود، ۹/۸، ۴/۹ و ۱/۷ می‌باشد. طولانی‌ترین دوره خشکسالی با توجه به شاخص SPI با تاخیر شش ماه پیش‌بینی شده است که تداومی ۱۱ ماهه دارد. شدیدترین خشکسالی

جدول ۵- فراوانی و درصد فراوانی ماه‌های تر، خشک و نرمال دوره آینده

مقیاس زمانی شاخص SPI	سناریو	ماه‌های نرمال		ماه‌های تر		ماه‌های خشک	
		درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی
یک‌ماهه	A2	۱۷۵	۷۷	۳۴	۱۵	۱۹	۸
	B1	۱۷۵	۷۷	۳۵	۱۵	۱۹	۸
شش‌ماهه	A2	۱۵۱	۶۸	۳۵	۱۶	۳۷	۱۷
	B1	۱۵۱	۶۸	۳۵	۱۶	۳۷	۱۷
۱۲‌ماهه	A2	۱۴۷	۶۸	۳۱	۱۴	۳۹	۱۸
	B1	۱۴۷	۶۸	۳۴	۱۶	۳۹	۱۷

جدول ۶- فراوانی انواع خشکسالی، طولانی‌ترین دوره و تعداد دوره‌های خشکسالی دوره آینده

مقیاس زمانی	فرآوانی خشکسالی (ماه)	درصد خشکسالی از کل دوره			فرآوانی خشکسالی (ماه)			تعداد دوره‌های مواجهه با خشکسالی
		شدید	متوسط	شدید	بسیار شدید	متوسط	شدید	
یک- ماهه	A2	۱۰	۵	۴	۴/۳۹	۲/۱۹	۱/۷۵	۲
شش- ماهه	B1	۹	۵	۴	۳/۹۵	۲/۱۹	۱/۷۵	۲
۱۲ ماهه	A2	۲۲	۱۱	۴	۹/۸۷	۴/۹۳	۱/۷۹	۱۱
	B1	۲۲	۱۱	۴	۹/۸۷	۴/۹۳	۱/۷۹	۱۱
	A2	۱۷	۱۶	۴	۷/۸۳	۷/۳۷	۱/۸۴	۱۴
	B1	۱۴	۱۹	۳	۶/۴۵	۸/۷۶	۱/۳۸	۱۴

اگوست ۲۰۱۹ نیز با خشکسالی متوسط و بسیار شدید با تداوم نه‌ماهه پیش‌بینی شده است. در بخش مقابله با خشکسالی چنانچه بپذیریم که این موضوع یک پدیده ذاتی ناشی از اقلیم است، لازم است تا برای رویارویی با آن برنامه‌ریزی نموده و بر اساس آن به اقدامات مناسب و آگاهانه متوسل شد. در این دوره‌ها می‌توان با کاشت گیاهانی با مصرف آب کمتر و بازدهی بیشتر کمبود رطوبت را تا حدی کنترل نمود.

بر اساس شاخص SPI با تاخیر ۱۲ ماهه، در هر دو سناریو هشت دوره خشکسالی پیش‌بینی شده است. با توجه به این شاخص نیز دو دوره خشکی با تداوم زیاد قابل توجه می‌باشد. ماه دسامبر ۲۰۱۲ تا ماه اکتبر ۲۰۱۳ و همچنین، ماه فوریه ۲۰۱۹ تا ماه مارس ۲۰۲۰ دو دوره خشکسالی می‌باشند.

با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از SPI با مقیاس زمانی شش و ۱۲ ماهه می‌توان بیان داشت که هرچه سری زمانی شاخص SPI افزایش یابد، تداوم خشکسالی بیشتر و تکرار آن کمتر می‌شود. به همین دلیل، همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده و همان‌گونه که Malekinejad و Soleimanimotlagh (۲۰۱۱) نیز در پژوهش خود به این نکته اشاره نموده‌اند، سری‌های شش و ۱۲ ماهه تعداد دوره خشکسالی را کمتر ولی دارای تداوم بیشتر نشان می‌دهند.

این نکته شایان ذکر است که نتایج این مطالعه به ماهیت شاخص SPI که شاخصی مبتنی بر روش پارامتریکی است و نوع طبقه‌بندی آن وابسته است. لذا، چنانچه شاخص دیگری به‌ویژه شاخص‌های مبتنی بر روش ناپارامتریکی برای پایش خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد، ممکن است که نتایج متفاوتی به-

بررسی SPI سالانه در دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ سه دوره خشکسالی و دو دوره ترسالی را نشان می‌دهد. ۷۵ درصد سال‌ها وضعیتی نرمال دارند. خشک‌ترین سال در دهه ۲۰۲۰ سال ۲۰۱۹ خواهد بود، سال ۲۰۱۶ نیز با کمبود بارندگی و وضعیت خشکی روبه‌رو خواهد بود. در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۵ میانگین بارندگی بیش از میانگین دوره مطالعاتی پیش‌بینی شده است. شاخص SPI سالانه نیز برای این دو سال وضعیت ترسالی را پیش‌بینی می‌نماید.

تحلیل خشکسالی‌ها با توجه به SPI سالانه نشان می‌دهد که حوزه آبخیز اسکندری در دهه ۲۰۲۰ با فراوانی وقوع خشکسالی روبه‌رو خواهد بود. در دوره ۲۰ ساله پیش‌بینی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تنها سه سال با خشکسالی مواجه خواهد بود و ۷۵ درصد سال‌ها وضعیتی نرمال خواهند داشت. در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ به ترتیب خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید پیش‌بینی شده است.

شاخص SPI با مقیاس زمانی شش‌ماهه حاصل از خروجی سناریوی A2، ۱۲ دوره خشکی و سناریوی B1، ۱۱ دوره خشکی پیش‌بینی نموده است. دو دوره خشکی با تداوم بیشتر در میان سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ قابل توجه می‌باشد. اولین دوره خشکی که مدل LARS-WG پیش‌بینی نموده است، شامل سال‌های کنونی می‌باشد و از ماه سپتامبر ۲۰۱۲ شروع شده و تا ماه ژوئیه سال ۲۰۱۳ ادامه خواهد داشت. این دوره که تداومی ۱۱ ماهه داشته، در ابتدا شامل خشکسالی - های بسیار شدید بوده و در انتها بعد از خاتمه خشکسالی‌های متوسط، سال‌هایی با وضعیت نرمال آغاز خواهد شد. برای ماه‌های دسامبر ۲۰۱۸ تا

کننده آب زاینده‌رود و تامین‌کننده بخش مهمی از آب کشاورزی حوضه‌های پایین‌دست و آب شرب شهر اصفهان می‌باشد، ذخیره آب در سال‌های قبل از وقوع خشکسالی از توصیه‌های مدیریتی برای منطقه مطالعاتی می‌باشد. هر نوع توسعه کشاورزی با بازدهی بالا که آسیب کمتری به منابع حیاتی و محدود آب و خاک وارد سازد و از تخریب مراتع طبیعی در محدوده مطالعاتی جلوگیری کند، توصیه می‌شود.

دست آید. بنابراین، مد نظر قرار دادن عدم قطعیت و توجه به نقاط قوت و ضعف نتایج مربوط به شاخص-های خشکسالی علاوه بر عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی ضروری به نظر می‌رسد. مطالب بیان شده به مدیریت منابع آب در حوزه مطالعاتی کمک مضاعف نموده تا بتوان برای پیش‌بینی، مدیریت و کاهش اثرات خشکسالی راه‌کارهای مناسبی ارائه کرد. با توجه به این نکته که حوزه اسکندری از مناطق مهم تامین-

منابع مورد استفاده

1. Ababayi, B., F. Mirzayi and T. Sohrabi. 2011. Evaluation of performance of LARS-WG in 12 coastal weather station of Iran. *Journal of Iranian Water Research*, 5(9): 217-222 (in Persian).
2. Alizadeh, A., N. Sayari, M. Hesami, M. Banayan and A. Faridhoseini. 2010. Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resource of Kashafrood basin. *Journal of Water and Soil*, 24(4): 815-835 (in Persian).
3. Babayian, I. and Z. Najafinik. 2006. Presentation and evaluation of LARS-WG for modeling Khorasan province parameters, period:1965-2003. *Nivar Journal*, 62: 49-65 (in Persian).
4. Babayian, I. and M. Kouhi. 2012. Agro climatic indices assessment over some selected weather stations of Khorasan Razavi province under climate change scenarios. *Journal of Water and Soil*, 26(4): 953-967 (in Persian).
5. Bazrafkan, J., A. Khalili, A. Hoorfar, S. Torabi and S. Hajjam. 2009. Comparison of the performance of climate Gen and LARS-WG models in simulating the weather factors for divers climate of Iran. *Iranian Water Resource Research Journal*, 5(1): 44-57 (in Persian).
6. Charlton, M.B. and N.W. Arnell. 2012. Adapting to climate change impacts on water resources in England, An assessment of draft Water Resources Management Plans. *Global Environmental Change*, 3: 238-248.
7. Dupigny-Giroux, L. 2001. Towards characterizing and planning for drought in Vermont, Part I: A climatologically perspective. *Journal of the American Water Resources Association*, 37: 505-525.
8. Edwards, D.C. and T.B. McKee. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales. *Climatology Report Number 97-2*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
9. Ghamdideh, A. 2008. The impact of climate change on temperature and rain, case study: Kordestan province. MSc Thesis, 125 pages (in Persian).
10. Golmohammadi, M. and A. Massah Bavani. 2011. The perusal of climate change impact on drought intensity and duration. *Journal of Water and Soil*, 25(2): 315-326 (in Persian).
11. Hayes, M.J., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite and O.V. Vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80: 429-438.
12. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 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 pages.
13. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific technical analyses. Cambridge University Press, 878 pages.
14. Khazanehdari, L., F. Zabolabbasi, Sh. Ghanehari, M. Kouhi and Sh. Malboosi. 2009. Geography and regional development. *Journal of Water and Soil*, 12: 84-98 (in Persian).
15. Lloyd-Hughes, B. and M.A. Saunders. 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22: 1571-1592.
16. Malekinejad, H. and M. Soleimanimotlagh. 2011. Assessment the sensivity of climatic and hydrologic drought in Ghaghalvandi Basin. *Journal of Iranian Water Research*, 5(9): 61-72 (in Persian).
17. Massah Bavani, A.R. and S. Morid. 2006. Impact of climate change on the water resources of Zayandeh Rud Basin. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 9(4): 28-38.
18. McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *American Meteorological Society*, 179-184.
19. Meshkati, A., M. Kordjozi and I. Babayian. 2009. Evaluation of LARS-WG in simulating Golestan

- Province weather data, period: 1993-2007. *Applied Research in Geographic Science*, 16(9):238-258 (in Persian).
20. Moafimadani, F., M. Mosavibaygani and H. Ansari. 2012. Prediction of Khorasan Razavi Province drought condition at 2011-2030 with LARS-WG downscaling model. *Geography and Natural Hazards*, 3: 21-37 (in Persian).
 21. Shakiba, A.L., B. Mirbagheri and A. Kheiri. 2010. Drought and its impact on ground water in east Kermanshah Province using SPI index. *Iranian Geographic Society*, 8(25): 45-58 (in Persian).
 22. Semenov, M.A., R.J. Brooks, E.M. Barrow and C.W. Richardson. 1998. Comparison of the WGEN and LARSWG stochastic weather generators in diverse climates. *Climate Research*, 10: 95-107.
 23. Silberstein, R.P., S.K. Aryal, J. Durrant, M. Pearcey, M. Braccia, S.P. Charles, L. Boniecka, G.A. Hodgson, M.A. Bari, N.R. Viney and D.J. McFarlane. 2012. Climate change and runoff in South Western Australia. *Journal of Hydrology*, 475(2012): 441-455.
 24. Won, J., H. Moradkhani and H. Chang. 2012. Uncertainty assessment of climate change impacts for hydrological distinct river basins. *Journal of Hydrology*, 466(2012): 73-87.

Archive of SID

Assessment of future drought under climate change status, case study: Eskandari Basin, Isfahan Province

Masoumeh Bahri¹, Mohammadtaghi Dastorani² and Masoud Goodarzi^{*3}

¹MSc, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran ²Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran and ³Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 25 December 2013

Accepted: 18 April 2013

Abstract

Studies of climate change and its impacts on the frequency and intensity of future droughts can help programming for the management of water resource and adaptation of the destructive effects of this phenomenon. The aim of this research is trying to assess the climate change in 2011-2030 period and its impact on drought in Eskandari Basin. To achieve this purpose, after validating Lars-WG to generate weather parameters, HadCM3 output downscaled under A2 and B1 scenarios. Next, minimum and maximum temperature and precipitation was predicted. Also, SPI index was calculated. Underlying these scenarios minimum temperature growth dramatically in March, June, July and September 0.3 to 1.6 °C. Additionally, highest and lowest increment in maximum temperature will occur about 0.02 and 1.6 in May and April, respectively. However, the results indicated an increase of 7.2 to 10.9 percent in the average of annual precipitation, but due to the fact that there is no any increase in the number of wet days, extreme rainfall intensity will soar remarkably. Substantial reduction in precipitation belongs to May and April. Regarding this issue, this shortage will affect with several months lag and the most severe agricultural drought will occur in August and hydrological drought will fall out in December based on six and 12 months SPI, respectively. Annual analysis showed that 75 percent of the years are in normal condition. Therefore, in Eskandari Basin, increasing drought frequency will not be expected in 2020s. But, precipitation oriented towards warm seasons.

Key words: Downscaling, HadCM3, Index, LARS-WG, SPI

* Corresponding author: massoudgoodarzi@yahoo.com