

گرفته است. رشد جمعیت و نیاز روز افزون به غذا، توسعه کمی و رشد صنایع و کارخانجات را اجتناب‌ناپذیر نمود. تخریب محیط زیست، جنگل‌زدائی، تغییر کاربری‌ها، تلاش برای افزایش تولیدات صنعتی و بهره‌گیری بیش‌تر از صنایع، موجب افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای شده که خود گرم شدن جهانی را به دنبال داشته است، به نحوی که پدیده تغییر اقلیم را به مسئله‌ای حائز اهمیت و بسیار جدی تبدیل نموده است. مکان و سبک زندگی انسان به هر شیوه‌ای که باشد، کم یا زیاد از تغییر اقلیم تأثیر می‌پذیرد. هرچند که تغییر اقلیم از زمان پیدایش جو بر روی سیاره زمین وجود داشته، اما سرعت تغییر آن هیچ‌گاه به اندازه عصر حاضر نبوده است به طوری که میزان آن از آغاز انقلاب صنعتی تاکنون، با میزان تغییرات آن، از زمان پایان یافتن آخرین عصر یخبندان در ۱۲۰۰۰ سال پیش مقایسه می‌شود. مسلماً تغییر با چنین سرعتی پیامدهای غیر قابل انتظاری در پی خواهد داشت. تغییر اقلیم منجر به افزایش پدیده‌های حدی و بلایای طبیعی همانند سیل، خشکسالی، طوفان و گرد و غبار می‌شود. 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. جلوگیری کامل از آثار مخرب خشکسالی امکان‌پذیر نیست. پیش‌بینی خشکسالی یکی از راهکارهای مدیریتی است که به برنامه‌ریزی صحیح جهت استفاده از منابع محدود آب کمک شایانی کرده و با تحلیل آن می‌توان زمینه آمادگی را فراهم نموده و با مدیریت تا حد زیادی خسارات این پدیده مخرب را کاهش داد. معافی مدنی و همکاران [۲۰]، گل محمدی و مساح بوانی [۷] و هم‌چنین خزانهداری و همکاران [۱۳] از محققینی بوده‌اند که خشکسالی‌های سال‌های آینده را در نقاط مختلف کشور بررسی نمودند.

هدف از مطالعه پیش‌رو بررسی تغییرات اقلیمی و به دنبال آن بررسی خشکسالی‌های دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در حوزه آبخیز پلاسجان می‌باشد که از منابع تامین کننده آب رودخانه زاینده‌رود است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی این تحقیق، حوزه آبخیز رودخانه پلاسجان واقع در استان اصفهان و از سرشاخه‌ها و منابع مهم تامین‌کننده آب سد زاینده‌رود می‌باشد. وسعت حوزه آبخیز مذکور ۱۶۴۹ کیلومتر مربع

دورنمایی از وضعیت خشکسالی دهه ۲۰۲۰ حوزه آبخیز پلاسجان

معصومه بحری^۱، محمدتقی دستورانی^۲، مسعود گودرزی^۳
 تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۴/۳۱

چکیده

تغییر اقلیم به عنوان یک واقعیت انکارناپذیر در حال رخ دادن است. این پدیده بر وقایع حدی از جمله خشکسالی تأثیر به سزایی می‌گذارد، لذا با شناخت آن و هم‌چنین برنامه‌ریزی و مدیریت می‌توان خسارات و آثار مخرب این پدیده را تا حدودی کاهش داد. در این تحقیق به ارزیابی تغییرات اقلیمی دهه ۲۰۲۰ و اثر آن بر وضعیت خشکسالی حوزه آبخیز پلاسجان پرداخته شده است. در ابتدا داده‌های روزانه خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس شده و توانایی مدل در شبیه‌سازی اقلیم گذشته (۱۹۶۵-۲۰۰۸) منطقه مطالعاتی مورد تأیید قرار گرفته، سپس پارامترهای اقلیمی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ شبیه‌سازی شد. در این بخش نتایج نشان‌دهنده افزایش ۷/۲ درصدی متوسط بارش سالانه دهه آتی بوده است. در مرحله بعد با استفاده از داده‌های بارش پیش‌بینی شده وضعیت خشکسالی منطقه مطالعاتی به کمک شاخص SPI با مقیاس زمانی ۱، ۶ و ۱۲ ماهه و هم‌چنین سالانه مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل خشکسالی‌ها با توجه به SPI سالانه نشان می‌دهد که ۷۵٪ سال‌ها وضعیتی نرمال داشته بنابراین منطقه مطالعاتی در دهه ۲۰۲۰ با فراوانی وقوع خشکسالی رو به رو نخواهد بود. در این بین خشک‌ترین سال‌ها، سال ۲۰۱۹ خواهد بود،

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، خشکسالی، HadCM3، LARS-WG، SPI

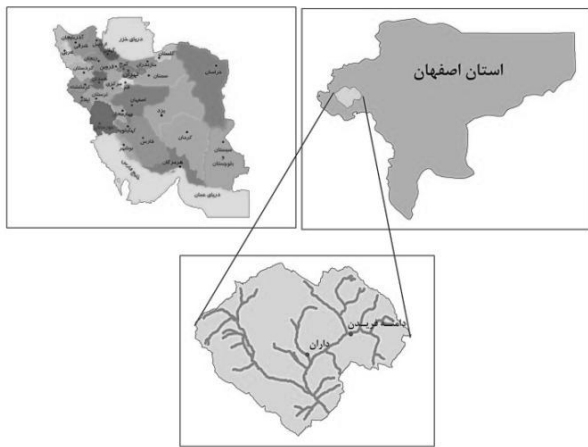
مقدمه

در دهه‌های اخیر روند تغییرات به صورت شگفت‌انگیزی شتاب

۱- نویسنده مسئول مقاله و دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد. bahri.masoumeh@yahoo.com

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- استادیار و عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز اسکندری

مساوی تقسیم می‌شود اما در مورد سری‌های خشک و تر و مقدار بارندگی، اندازه فاصله با افزایش t افزایش می‌یابد. از آن‌جا که پارامتر تابش از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند، بنابراین یک توزیع نیمه تجربی مبتنی بر تعداد روزهای تر و خشک برای همانندسازی تابش روزانه به کار می‌رود. در این مدل تابش به طور مستقل از دما مدل شده است. برای یک روز تر مقدار بارش از توزیع نیمه تجربی بارش ماه مورد نظر و به طور مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. دمای بیشینه و کمینه روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه نیز درجه حرارت را تخمین می‌زند. سری فوریه مرتبه سوم برای همانندسازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌رود. مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین تولید شده از مقادیر دیده‌بانی شده به دست می‌آیند، برای محاسبه خود همبستگی زمانی داده‌های بیشینه و کمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. فرآیند تولید داده‌های مصنوعی توسط این مدل در سه مرحله کالیبره کردن، ارزیابی و تولید داده‌های مصنوعی صورت می‌گیرد.

بذرافشان و همکاران [۴]، خلیلی اقدم و همکاران [۱۲]، مشکوتی و همکاران [۱۷]، بر توانایی مدل LARS-WG جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در شرایط آب و هوایی ایران اذعان داشته‌اند.

در مطالعه پیش‌رو ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۴۴ ساله ۲۰۰۸-۱۹۶۵ به عنوان دوره پایه، پارامترهای اقلیمی مورد نیاز جهت اجرای مدل جمع‌آوری و مورد پردازش قرار گرفته شد. مدل برای دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله کالیبره کردن صورت گرفت. به منظور اطمینان از صحت کارکرد مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۱۹۶۵-۲۰۰۸ تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید، سپس خروجی‌های مدل شامل دمای کمینه، بیشینه و بارش و همچنین انحراف معیار آن‌ها با داده‌های ۴۴ سال دیدبانی شده ایستگاه مورد مطالعه مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل از طریق مقایسه

و ارتفاع متوسط وزنی آن ۲۶۲۶ متر و میانگین طولانی مدت بارش سالانه آن ۳۲۶ میلی‌متر می‌باشد. جهت انجام مطالعه پیش‌رو از ایستگاه کلیماتولوژی دامنه فریدن که دارای آمار طولانی مدت و ارتفاعی برابر با ارتفاع متوسط وزنی منطقه مطالعاتی می‌باشد و همچنین ایستگاه سینوپتیک‌داران استفاده شده است. شکل ۱ نمایش شماتیکی از منطقه مطالعاتی در سطح کشور و استان اصفهان می‌باشد.

پیش‌بینی تغییرات اقلیمی

محققین معتقدند معتبرترین ابزار جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوسی^۱ می‌باشد [۱۰]. جهت انجام این مطالعه از داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3^۲ استفاده شده است. قدرت تفکیک این مدل در جو، شبکه‌ای با ابعاد ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی و در بخش اقیانوس ۱/۲۵ درجه عرض جغرافیایی و ۱/۲۵ درجه طول جغرافیایی می‌باشد [۹]. سناریوی مورد استفاده در این مطالعه سناریوی A2 به عنوان یک سناریوی حالت متوسط می‌باشد که نشان‌دهنده رشد سریع جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن است.

ضعف مدل‌های AOGCM قدرت مکانی کم آن‌ها و در نتیجه عدم توانایی آن‌ها در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی در مقیاس نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد [۳]. جهت رفع این نقیصه، خروجی مدل‌ها قبل از استفاده ریزمقیاس می‌شوند. در این پژوهش جهت ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل HadCM3 از مدل آماری LARS-WG^۳ بهره جسته شد. مدل نامبرده که 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 به کار می‌رود ابتدا توسط راسکو و همکاران [۲۲] ارائه و سپس توسط سمف و همکاران [۲۳] در سال 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:

$$EPM = \{a_0, a_i; h_i, i = 1, \dots, 10\} \quad \text{رابطه ۱}$$

که هیستوگرامی شامل ۱۰ طبقه است و هریک از طبقات در فاصله $(a_{i-1}, a_i]$ تعریف می‌شود به طوری که a_i و a_{i-1} و h_i فراوانی پدیده‌های مشاهده شده در طبقه i ام می‌باشد. برای تولید مقادیر متغی‌های تصادفی وضع هوا با استفاده از یک توزیع نیمه تجربی، ابتدا یکی از طبقات ده‌گانه به تصادفی انتخاب می‌شود. سپس، با فرض تبعیت داده‌ها از توزیع یکنواخت در طبقه مورد نظر، یک مقدار در آن فاصله برای متغیر انتخاب می‌شود. در مورد تابش خورشید، این فاصله بین حداکثر و حداقل داده‌ها، به قسمت‌های

1- Atmospheric-Ocean General Circulation Model(AOGCM)

2- Hadley Center General Circulation Model

3- Long Ashton Research Station-Weather Generator

جدول ۱- طبقات خشکسالی بر اساس شاخص SPI

مقدار SPI	طبقات خشکسالی
۲ یا بیش تر	تر سالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	تر سالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	تر سالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
-۲ یا کم تر	خشکسالی بسیار شدید

خشکسالی با توقف آخرین بارش مفید آغاز نشده بلکه می توان گفت آغاز خشکسالی، زمانی است که ذخیره رطوبتی چه در محیط خاک (خشکسالی کشاورزی) و چه در مخازن آبی (خشکسالی هیدرولوژیک) خاتمه یافته باشد. مقیاس های زمانی مختلف شاخص SPI به منظور نشان دادن تأثیرات کاهش بارندگی بر منابع آبی مختلف طراحی شده اند. برای مثال تغییر رطوبت خاک واکنشی است در برابر نوسان بارندگی در رابطه با مقیاس های زمانی کوتاه مدت، در حالی که کاهش آب های زیرزمینی، جریانات سطحی و مخازن آب واکنشی است در برابر نوسانات طولانی مدت بارندگی [۲۴]. مک کی و همکاران [۱۶]، به منظور پایش خشکسالی در مقیاس زمانی کوتاه مدت ۳ و ۶ ماهه برای اهداف کشاورزی و مقیاس زمانی بلندمدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای اهداف آب شناسی شاخص مذکور را پیشنهاد دادند. دایگنی و همکاران [۵] بیان داشتند که SPI در مقیاس یک ماهه، شروع شرایط خشکسالی را بهتر نشان می دهد.

در این پژوهش جهت بررسی شرایط دوره های خشکسالی و ترسالی و بررسی روند تغییرات آن در دهه آتی بعد از اجرای مدل اقلیمی و تولید پارامترهای اقلیمی بارش برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، با توجه به تأثیر کمبود بارندگی بر هریک از انواع منابع آبی و با هدف بررسی شروع شرایط خشکسالی و هم چنین اثر آن بر وضعیت کشاورزی و جریان آب های سطحی، شاخص SPI با مقیاس زمانی ۱، ۶ و ۱۲ ماهه انتخاب شده و به تحلیل خشکسالی های دهه ۲۰۲۰ پرداخته شد. از آن جا 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، در این تحقیق برای ارزیابی میزان آسیب پذیری بر اثر خشکسالی سه معیار طولانی ترین دوره (ماه)، تعداد ماه های مواجهه با خشکی و فراوانی و درصد فراوانی ماه های خشک محاسبه گردید.

نتایج

واسنجی و اعتبار سنجی مدل LARS-WG

در تحلیل فراوانی وقوع بارش روزانه با استفاده از آزمون K-S، اختلاف معنی داری بین دو دسته مشاهداتی (دوره پایه) و شبیه سازی

داده های دوره آماری و داده های تولید شده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه ای و پارامترهای خطاسنجی، RMSE، MAE، Bias، NSE و هم چنین از آزمون های آماری K-S جهت مقایسه توزیع های فراوانی، از آزمون T-test جهت مقایسه مقادیر میانگین ها و آزمون F-test جهت مقایسه انحراف معیار داده های مشاهداتی و مدل سازی و مقایسه مقدار احتمالاتی P-value آن ها صورت گرفت. پس اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده های اقلیمی، این مدل جهت ریزمقیاس نمایی برون داد مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده مصنوعی جهت پیش بینی اقلیم دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (دهه ۲۰۲۰) اجرا شد. پس از اجرای مدل و تولید مقادیر روزانه پارامترهای بارش، دمای کمینه و بیشینه برای دهه ۲۰۲۰، پارامترهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط اقلیمی دوره آینده پیش بینی گردید.

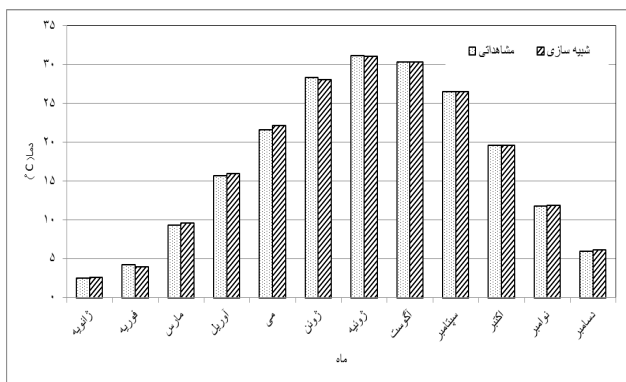
پیش بینی خشکسالی

جهت تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره های مرطوب و خشک بسیار ضروری است [۲۵]. راندمان پایش خشکسالی عمیقاً تحت تأثیر صحت انتخاب شاخص که توصیفی از وضعیت شرایط خشکسالی را فراهم می کند، می باشد [۲۴]. امروزه آنالیز خشکسالی بر اساس داده های بارندگی به عنوان مهم ترین عامل، برای بررسی انواع خشکسالی به کار می رود [۲۱]. کیانتاش و دراکوب [۱۱]، بیان می دارند که بارندگی در شاخص های خشکسالی به تنهایی بیش از ۸۰ درصد تغییرات این شاخص ها را توصیف می کند. امروزه شاخص بارش استاندارد (SPI) جهت پایش خشکسالی در امور اجرایی و پژوهشی در سراسر جهان طور گسترده استفاده می شود. این شاخص، به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه، به عنوان مناسب ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی شناخته شده است [۱۹، ۲۶، ۱۴]. درک این که بارندگی تأثیرات مختلفی بر کشاورزی و منابع آب مانند آب زیرزمینی، ذخایر آب سطحی و برف دارد، منجر به تدوین و ارائه شاخص SPI توسط مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ گردید [۱۶]. برای محاسبه این شاخص، ابتدا با برازش توزیع گاما بر داده های بارندگی ماهیانه یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه، تابع احتمال تجمعی آن محاسبه نموده سپس با انتقال احتمال تجمعی به دست آمده به توزیع تجمعی نرمال استاندارد شده، مقادیر SPI محاسبه می شود [۲۷، ۱۸]. در این مطالعه جهت تعیین طبقات مختلف شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI از طبقه بندی ادوارد و مک کی [۶] به شرح جدول ۱ استفاده شده است.

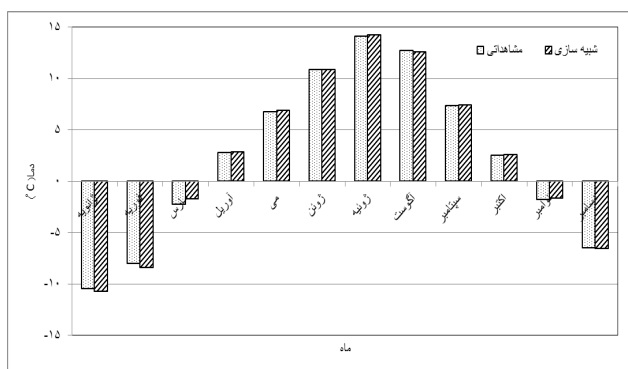
بر اساس شاخص SPI دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می افتد که در آن مقدار این شاخص به طور پیوسته منفی بوده و مقدار آن ۱- یا کمتر باشد و هنگامی پایان می یابد که مقدار آن مثبت گردد.

1- Chi-Squared

2- Standard Precipitation Index



شکل ۳- مقایسه دمای حداکثر مشاهداتی و مدل سازی شده در دوره پایه

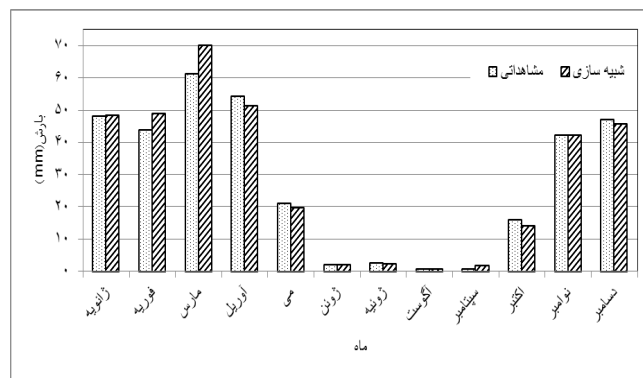


شکل ۴- مقایسه دمای حداقل مشاهداتی و مدل سازی شده در دوره پایه

[۲] و آبابایی و همکاران [۱] مطابقت دارد. این امر به خاطر ماهیت پارامتر دما است که عنصری پیوسته می باشد. با بررسی اشکال بالا دمای کمینه و بیشینه مشاهداتی و مدل سازی شده مطابقت بیشتری با هم داشته که موید مطالب بیان شده می باشد. چنین به نظر می رسد که تغییرپذیری زیاد بارش در افزایش خطای مدل سازی این پارامتر تأثیرگذار است. می توان بیان داشت که هرچه پارامتر حالت پیوستگی داشته باشد، میزان خطای مدل سازی کاهش می یابد.

تغییرات پارامترهای اقلیمی در دهه آتی

شکل ۵ مقایسه میانگین بارش دوره مشاهداتی را در مقابل مقادیر پیش بینی شده آن در دهه ۲۰۲۰ نشان می دهد. با توجه به این شکل سناریوی A۲ برای ماه های فوریه، مارس، آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش بارندگی و برای ماه آوریل و ژوئیه کاهش بارندگی را پیش بینی کرده است. بیش ترین کاهش بارندگی مربوط به ماه آوریل و بیش ترین افزایش میزان بارندگی مربوط به ماه مارس می باشد. در مجموع بارش متوسط سالانه در این دوره روند افزایشی نشان می دهد. میزان بارش متوسط سالانه پیش بینی شده برای این دوره ۳۶۴/۵ میلی متر می باشد، در مقابل میزان بارندگی مشاهداتی ۳۲۶/۹ میلی متر است. در نتیجه میزان افزایش بارندگی در این دوره ۷/۲ درصد می باشد.



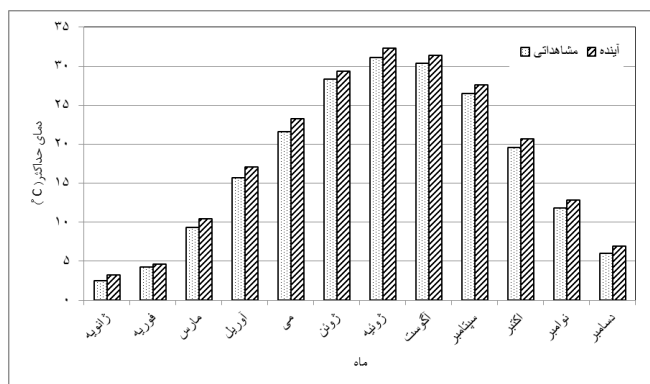
شکل ۲- مقایسه بارش مشاهداتی و مدل سازی شده در دوره پایه

شده توسط مدل LARS-WG در تمامی ماه ها، به جز ماه ژوئن در فصل تابستان وجود ندارد و مقادیر همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد قابل قبول می باشد. هم چنین در بررسی بارش متوسط ماهانه با استفاده از آزمون T-test، تنها عدم اطمینان به مدل سازی بارش ماه ژوئیه وجود دارد که با توجه به فرارگیری ماه های ژوئن و ژوئیه در فصل تابستان و کمبود بارش در این فصل می توان از این خطا چشم پوشی نمود. ارزیابی مدل از احتمال فراوانی وقوع متغیرهای دمای حداقل و حداکثر روزانه با استفاده از آزمون K-S عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل را در همه ماه های سال و قابل قبول بودن مقادیر همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد را نشان می دهد. ارزیابی مدل از بررسی داده های متوسط دمای حداقل و حداکثر ماهانه با استفاده از آزمون T-test وجود اطمینان بالا به مدل سازی این پارامترها و عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده دارد. در اشکال ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مقادیر بارش، دمای حداکثر و حداقل مدل سازی شده در مقایسه با مقادیر آن ها در دوره مشاهداتی مشاهده می شود. با توجه به این اشکال مقدار بارش شبیه سازی شده توسط مدل LARS-WG در ماه های فوریه و مارس به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد بیش تر از مقادیر مشاهده ای به دست آمده است. این بدان معناست که مدل پیش برآورد دارد. بنابراین پیش بینی افزایش بارندگی در دوره های آتی در این ماه ها ناشی از عدم دقت کافی یا همان پیش برآورد مدل LARS-WG خواهد بود.

در جدول ۲ پارامترهای خطا سنجی حاصل از مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل ریزمقیاس نمایی آورده شده است. نتایج نشان از توانمندی LARS-WG در مدل سازی اقلیم گذشته ایستگاه مطالعاتی بر اساس یک سناریوی حالت پایه دارا است. با توجه به این که مقدار NSE برای هر سه پارامتر اقلیمی مطالعه شده نزدیک به عدد یک می باشد و هم چنین مقدار آماره Bias نزدیک به صفر است، مدل لارس دارای دقت مدل سازی بالایی است. مقدار آماره RMSE برای دمای کمینه و بیشینه کم تر از مقدار آن برای بارش است. این مسئله بیان گر قدرت بالای LARS-WG در مدل کردن داده های دیدبانی شده دما نسبت به بارش است که نتیجه به دست آمده با نتایج تحقیقات مشابهی نظیر بابائیان و نجفی نیک

جدول ۲- آماره های خطاسنجی جهت مقایسه دوره مشاهداتی و مقادیر مدل سازی شده

میانگین دمای حداقل ماهانه				میانگین دمای حداکثر 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



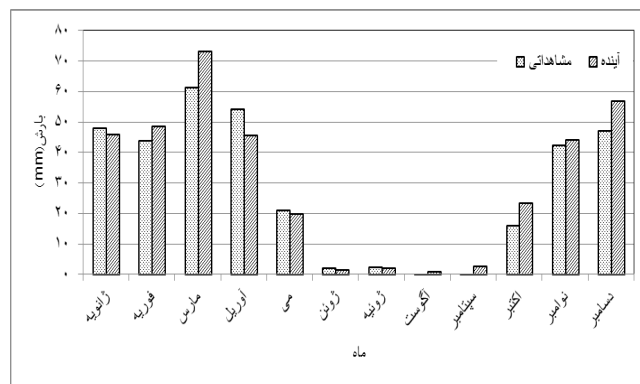
شکل ۷- مقایسه میانگین دمای حداکثر دوره مشاهداتی و دوره آینده

۰/۸۲ درجه سانتی گراد افزایش دمای متوسط سالانه را برای دهه ۲۰۲۰ پیش بینی می نماید. با بررسی دمای متوسط ماهانه ملاحظه می شود که بیشترین افزایش دما برای ماه می و به میزان ۱/۳۷ درجه و کمترین افزایش دما را برای ماه فوریه بیان شده است.

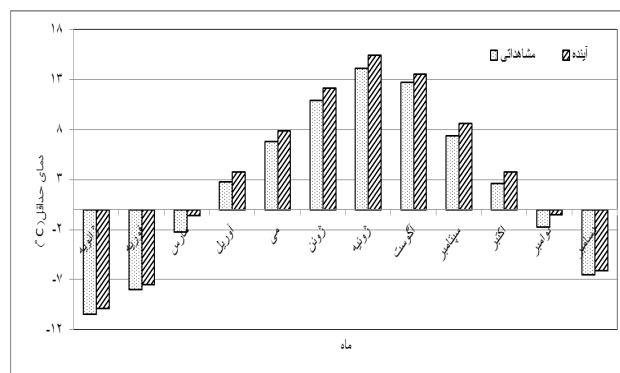
وضعیت خشکسالی دهه آتی

با بررسی شاخص SPI با مقیاس زمانی یک ماهه حاصل از خروجی مدل اقلیمی که بیانگر شروع شرایط خشکسالی است ۷۷٪ ماهها در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ وضعیت نرمال و ۱۵٪ وضعیت تر و ۸٪ ماهها وضعیت خشکی خواهند داشت. در میان ماههای خشک بیشترین فراوانی مربوط به خشکسالی متوسط می باشد. خشکسالیهای متوسط، شدید و بسیار شدید به ترتیب ۴، ۲ و ۱ درصد از کل ماههای دوره آتی را شامل می شوند. سناریوی A۲ بیشترین تداوم خشکسالی را دو ماه و برای ماههای فوریه و مارس ۲۰۱۵ و بیشترین شدت خشکسالی را برای ماه ژانویه ۲۰۲۳ پیش بینی نموده است.

می توان بیان نمود SPI با تاخیر زمانی ۶ ماه، هشدار جهت بیان اتمام ذخایر رطوبتی خاک و شروع خشکسالی در بخش کشاورزی می باشد. محاسبه SPI ۶ ماهه با استفاده از پارامتر بارش پیش بینی شده توسط مدل LARS-WG، فراوانی ماههای نرمال، تر و خشک را نسبت به کل دوره مورد مطالعه به ترتیب ۶۸، ۱۶ و ۱۷ درصد بیان نموده است. با استفاده از این شاخص نیز خشکسالی متوسط از فراوانی بیشتری برخوردار بوده. ماههایی که با شرایط خشکسالی متوسط، شدید و بسیار شدید رو خواهند بود ۹/۸، ۴/۹ و ۱/۷ درصد است. طولانی ترین دوره خشکسالی کشاورزی که با توجه به شاخص SPI با تاخیر ۶ ماه پیش بینی شده است تداومی ۱۱ ماهه



شکل ۵- مقایسه میانگین بارش دوره مشاهداتی و دوره آینده



شکل ۶- مقایسه میانگین دمای حداقل دوره مشاهداتی و دوره آینده

بررسی میانگین دمای حداقل در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، تحت سناریوی A۲ حاکی از آن است که دمای کمینه در دوره مذکور در تمامی ماهها افزایش خواهد داشت. بیشترین افزایش مربوط به ماههای ژوئن، ژوئیه، سپتامبر و مارس و به میزان ۰/۳ تا ۱/۶ است. نتایج حاصل در شکل ۶ آورده شده است.

با توجه به شکل ۷، افزایش دمای حداکثر برای تمامی ماهها در دوره آتی توسط مدل LARS-WG پیش بینی شده است. با مقایسه دمای حداکثر دوره مشاهداتی و دوره آتی با توجه به سناریوهای A۲، بیشترین افزایش دما در ماه می به میزان ۱/۶ درجه سانتی گراد رخ خواهد داد. کمترین افزایش دمای بیشینه تحت در ماه فوریه و به میزان ۰/۳ خواهد بود.

به طور کلی با توجه به افزایش توامان دمای کمینه و بیشینه می توان انتظار داشت میانگین دمای حوزه مطالعاتی در دهه ۲۰۲۰ افزایش شایانی را تجربه نماید. میزان متوسط دمای سالانه پیش بینی شده توسط سناریوی A۲ ۱۰/۸ درجه سانتی گراد بوده و با توجه به این که متوسط دمای دوره پایه در منطقه مطالعاتی ۹/۸ بوده است، سناریوی مذکور

جدول ۳- فراوانی و درصد فراوانی ماه‌های تر، خشک و نرمال دوره آینده

مقیاس زمانی شاخص SPI	ماه های نرمال		ماه های تر		ماه های خشک	
	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی
۱ ماهه	۱۷۵	۷۷	۳۴	۱۵	۱۹	۸
۶ ماهه	۱۵۱	۶۸	۳۵	۱۶	۳۷	۱۷
۱۲ ماهه	۱۴۷	۶۸	۳۱	۱۴	۳۹	۱۸

جدول ۴- فراوانی انواع خشکسالی، طولانی ترین دوره و تعداد دوره‌های خشکسالی دوره آینده

مقیاس زمانی شاخص SPI	فراوانی خشکسالی(ماه)			درصد خشکسالی از کل دوره			طولانی ترین دوره	تعداد دوره‌های
	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی(ماه)	مواجهه با خشکسالی
۱ ماهه	۱۰	۵	۴	۴/۳۹	۲/۱۹	۱/۷۵	۲	۱۷
۶ ماهه	۲۲	۱۱	۴	۹/۸۷	۴/۹۳	۱/۷۹	۱۱	۱۲
۱۲ ماهه	۱۷	۱۶	۴	۷/۸۳	۷/۳۷	۱/۸۴	۱۴	۸

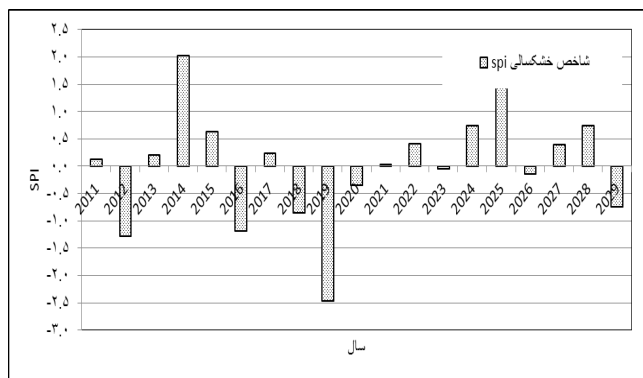
بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برون‌داد مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوهای A2 به منظور ارزیابی تغییر اقلیم حوزه آبخیز پلاسجان طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس گردید. جهت بررسی خشکسالی‌های دوره مذکور از شاخص SPI ۱، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دارای توانایی بالایی است. با توجه به تحقیق صورت گرفته، حوزه آبخیز پلاسجان در دهه ۲۰۲۰ با افزایش ۷/۲ درصدی متوسط بارندگی سالانه روبه‌رو خواهد بود. بیش‌ترین افزایش بارندگی در ماه مارس و دسامبر و بیش‌ترین کاهش آن در ماه آوریل خواهد بود. فصول زمستان و پاییز افزایش بارندگی و بهار و تابستان کاهش بارندگی را نشان می‌دهد. دمای بیشینه و کمینه در منطقه مطالعاتی افزایش پیدا خواهند نمود و به دنبال آن دمای متوسط منطقه به میزان ۰/۸۲ درجه سانتی‌گراد با افزایش مواجه خواهد بود. بیش‌ترین افزایش دمای کمینه و بیشینه در فصول بهار و تابستان به وقوع خواهد پیوست. با توجه به این که بیان شد در تابستان و بهار کاهش بارندگی رخ خواهد داد و افزایش دما در این فصول بیش‌تر از سایر فصول است و هم‌چنین آبیاری کشاورزی و استفاده از آب شرب بیش‌تر در این محدوده زمانی سال است، برنامه‌ریزی مدیریتی جهت استفاده صحیح از منابع آب در این فصول و ذخیره‌سازی آب در فصول پر باران توصیه می‌شود. چنان‌چه ملاحظه می‌شود منطقه مطالعاتی با افزایش دما مواجه خواهد بود. با افزایش دما نسبت بارش‌های مایع به کل بارش سالانه افزایش یافته و میزان بارش‌های برف کاهش می‌یابد. بدین ترتیب ذخایر آبی (برف) برای تابستان و بهار که چنان‌چه بیان شد با کاهش بارندگی روبه‌رو خواهند بود، نکته‌ای منفی به‌شمار می‌آید. چنین به نظر می‌رسد که بارش‌ها به

دارد. شدیدترین خشکسالی با توجه به سناریوی A2 در آگوست ۲۰۱۹ به وقوع خواهد پیوست.

همان‌طور که بیان شد تأثیرات کاهش بارندگی بر روی رطوبت خاک، مخازن آب، جریان‌ات سطحی رودخانه‌ها و سطح آب زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف زمانی نشان داده می‌شوند [۱۴]. بررسی وقوع خشکسالی در منابع آب سطحی حوزه مطالعاتی را می‌توان با شاخص SPI با تاخیر ۱۲ ماهه مورد بررسی قرار داد. شاخص مذکور ۶۸٪ ماه‌ها را با شرایط نرمال و ۱۴ درصد ماه‌ها را دارای شرایط مرطوب و ۱۸٪ ماه‌ها را ماه خشک پیش‌بینی نموده است. در این بین خشکسالی متوسط با فراوانی بیش‌تر برای دهه ۲۰۲۰ پیش‌بینی شده است. بیش‌ترین تداوم در کاهش منابع آب قابل دسترس منطقه مطالعاتی، ۱۴ ماه می‌باشد و بیش‌ترین شدت خشکسالی در دسامبر ۲۰۱۹ پیش‌بینی نموده‌اند. جدول ۳ فراوانی شرایط خشکسالی، ترسالی و نرمال را با استفاده از شاخص SPI ۱، ۶ و ۱۲ ماهه با استفاده از خروجی سناریوی A2 را نشان می‌دهد. به‌علت این که بحث اصلی پژوهش حاضر خشکسالی می‌باشد در جدول ۴ انواع خشکسالی‌ها و درصد وقوع آن‌ها آورده شده است.

بررسی SPI سالانه با توجه به شکل ۸ در دوره آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ سه دوره خشکسالی و دو دوره ترسالی را نشان می‌دهد. ۷۵٪ سال‌ها وضعیتی نرمال دارند. خشک‌ترین سال در دهه ۲۰۲۰ سال ۲۰۱۹ خواهد بود، سال ۲۰۱۶ نیز با کمبود بارندگی و وضعیت خشکی رو به رو 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.



شکل ۸- مقادیر شاخص SPI سالانه دوره آینده

طبیعی در محدوده مطالعاتی جلوگیری کند و در عین حال بازدهی بالایی داشته باشد توصیه می‌گردد.

منابع

1-Ababayi, B., F. Mirzayi and T. Sohrabi. 2011. Evaluation of performance of LARS-WG in 12 coastal weather station of Iran. Journal of Iran water research, 5(9): 217-222(in Persian).

2-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).

3-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).

4-Bazrafshan, J., A. Khalili, A. Hoorfar, S. Torabi and S. Hajjam. 2009. Comparison of the performance of climGen and LARS-WG models in simulating the weather factors for divers climate of Iran. 2009. Iran water resource research journal, 5(1): 44-57(in Persian).

5- DupignyGiroux, L., 2001: Towards Characterizing and Planning for Drought in Vermont - Part I: A Climatologically Perspective, J. of the Am. Water Res. Asso, v37, p505-525.

6-Edwards D.C., and McKee T.B. 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales, Climatology Report Number 97-2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

7- Golmohammadi. M and A. Massah Bavani.

سمت بارش‌های فصل سرد شیفیت پیدا کرده‌اند که این خود موید مطالب قبل است.

تحلیل خشکسالی‌ها با توجه به SPI سالانه نشان می‌دهد که حوزه آبخیز پلاسجان در دهه ۲۰۲۰ با فراوانی وقوع خشکسالی رو به رو نخواهد بود. در میان دوره ۲۰ ساله پیش‌بینی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تنها سه سال با خشکسالی مواجه خواهد بود و ۷۵٪ سال‌ها وضعیتی نرمال خواهند داشت. در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ به ترتیب خشکسالی متوسط و خشکسالی شدید پیش‌بینی شده است. با توجه به این نکته که منطقه مطالعاتی از منابع مهم تامین‌کننده آب زاینده‌رود و تامین‌کننده بخش مهمی از آب کشاورزی حوضه‌های پایین دست و آب شرب شهر اصفهان می‌باشد، ذخیره آب در سال‌های قبل از وقوع خشکسالی از توصیه‌های مدیریتی برای منطقه مطالعاتی می‌باشد.

کشاورزی بزرگ‌ترین عامل مصرف آب شیرین است. از آن‌جا که زمین‌های کشاورزی سطح قابل توجهی از منطقه مطالعاتی را پوشش داده‌اند، در این پژوهش با محاسبه و بررسی SPI با مقیاس زمانی ۶ ماهه برای دوره آتی به‌عنوان پارامتری جهت پیش‌بینی خشکسالی کشاورزی، سعی در تحلیل این پدیده شده است. با توجه به این شاخص سناریوی A2، ۱۲ دوره خشکی پیش‌بینی نموده است. دو دوره خشکی با تداوم بیش‌تر در میان سال‌های آتی قابل توجه می‌باشد. اولین دوره خشکی که مدل LARS-WG پیش‌بینی نموده است، شامل سال‌های کنونی می‌باشد. برای ماه‌های دسامبر ۲۰۱۸ تا آگوست ۲۰۱۹ نیز با خشکسالی متوسط و بسیار شدید با تداوم ۹ ماهه پیش‌بینی شده است. در بخش مقابله با خشکسالی چنانچه بپذیریم این موضوع یک پدیده ذاتی ناشی از اقلیم است، لازم است 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.

شاخص SPI با تاخیر ۱۲ ماهه که بیان‌گر کاهش منابع آب منطقه می‌باشد ۸ دوره خشکسالی پیش‌بینی شده است. با توجه به این شاخص نیز دو دوره خشکی با تداوم زیاد قابل توجه می‌باشد. ماه فوریه ۲۰۱۹ تا ماه مارس ۲۰۲۰ دوره خشکسالی از نظر منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشند.

با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از SPI با مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه این نکته شایان ذکر است 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 است سری‌های ۶ و ۱۲ ماهه تعداد دوره خشکی را کم‌تر ولی دارای تداوم بیش‌تر نشان می‌دهند. همان‌گونه که ملکی نژاد و سلیمانی مطلق [۱۵]، در پژوهش خود به این نکته اشاره نموده‌اند. مطالب بیان شده به مدیریت منابع آب در منطقه مطالعاتی کمک مضاعف نموده تا بتوان برای کنترل و تعدیل خشکسالی و کاهش خسارات حاصل از آن راهکارهای مناسبی ارائه کرد. هر نوع توسعه کشاورزی که آسیب کم‌تری به منابع محدود آب و خاک وارد سازد و از تخریب مراتع

- 18-Mishra A.k., Singh V.P., and Desai V.R. 2009: Drought characterization: a probabilistic approach, *Stochastic Environ Research Risk Assess*, v23, p 41–55.
- 19-Mishra A.K., and Singh V.P. 2010: A review of drought concepts, *Journal of Hydrology*, v39, 202–216.
- 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- Mosaedi. A and M. Ghabaeisough. 2011. Modification of standardized precipitation index(SPI) based on relevant probability distribution function. *Journal of water and soil*, 25(5): 1206-1216(in Persian).
- 22-Racsko, P., Szeidl, L. and Semenov M. 1991, "A serial approach to local stochastic weather model. *Ecological Modelling*, 57, pp. 27-41.
- 23-Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W., 1998: Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators in diverse Climates, *Climate Research*, v10, p 95-107
- 24- Shakiba. A.L., B. Mirbagheri and A. Kheiri. 2010. Drought and its impact on ground water in east Kermanshah province using SPI index. *Iran geographic society*, 8(25)(in Persian).
- 25-Silva. V.P.R., 2004, On climate variability in northeast Brazil, *Journal of Arid Environment*, 58 (2004) 575–596
- 26-Wu H., Hayes M.J., Wilhite D.A., and Svoboda M.D. 2005: The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation, *International Journal of Climatology*, v 25, p 505–520.
- 27-Wu H., Svoboda M.D., Hayes M.J., Wilhite D.A., and Wen F. 2007: Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons, *International Journal of Climatology*, v 27, p 65–79.
2011. The perusal of climate change impact on drought intensity and duration. *Journal of water and soil*, 25(2): 315-326(in Persian).
- 8-Hayes M.J., Svoboda M.D., Wilhite D.A., Vanyarkho O.V, 1999.: Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index, *Bulletin of the American Meteorological Society*, v80, p429–438.
- 9-IPCC. 2007. Summary for policymakers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, p 881.
- 10-IPCC. 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific Technical Analyses. Cambridge University Press, p878.
- 11-Keyantash J., and Dracup J.A. 2002. The Quantification of Drought Indices, *American Meteorological Society*, 83 (8):1167-1180
- 12- Khalili Aqdam, N., A. Mosaedi, A. Soltani and B. Kamkar. 2013. Water conservation, 19(4) (in Persian).
- 13- Khazanehdari, L., F. Zabolabbasi, Sh. Ghanehari, M. Kouhi and Sh. Malboosi. 2009. *Geography and regional development*, 12: 84-98(in Persian).
- 14-Lloyd-Hughes B., Saunders M.A. 2002: A drought climatology for Europe, *International Journal of Climatology*, v22, p1571–1592.
- 15- Malekinejad. H and M. Soleiman motlagh. 2011. Assessment the sensitivity of climatic and hydrologic drought in Ghaghavandi basin. *Iran water research*, 5(9): 61-72(in Persian).
- 16-McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist. 1993: The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In: Proc. 8 Conference. on applied Climatology, 17-22 January. American Meteorological Society, Massachusetts, p179-184.
- 17- 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)(in Persian).

*Abstract***Drought Conditions During 2020s in Plasjan Basin**M. Bahri¹, M. T. Dasturani² and M. Goodarzi³

Received: 2013. 06. 21 Accepted: 2014. 07. 22

Studies of climate change impacts on future droughts can help programming for the management of water resource and adaptation of the destructive effects of this phenomenon. In this study was tried to assess the climate change in 2011-2030 period and its impact on drought in Plasjan basin. To achieve this purpose, after validating Lars-WG to generate weather parameters, HadCM3 output under A₂ scenario downscaled. Next, minimum and maximum temperature and precipitation was predicted. Then SPI index was calculated. The results indicate increase of 7.2 percent in the average of annual precipitation. The most severe agricultural drought will occur in August and hydrological drought will fall out in December based on 6 and 12 months SPI respectively. The annual analysis showed that 75% of the years are in normal condition. Therefore, in Plasjan basin, increasing in droughts frequency will not be expected in 2020s.

Keywords: *Drought, Climate change, HadCM3, LARS- WG and SPI index*

1- MSc graduated of Watershed Management Engineering, Yazd University

2- Associate Professor, University of Mashhad

3- Assistant professor, SCWMRI Institute