

بررسی و تحلیل شاخص بارش استاندارد شده در حوضه آبریز کارون ۳ در شرایط تغییر اقلیم

علیرضا نیکبخت شهبازی^{۱*}

(۱) گروه مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول: ar_nikbakht@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۵/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۰۳

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی حوضه آبریز کارون ۳ در دوره‌های آتی است. برای این کار از داده‌های اقلیمی ۱۰ مدل گردش عمومی جو تحت سه سناریوی انتشار در حوضه کارون ۳ استفاده شد. برای محاسبه بارش ماهانه حوضه از روش معکوس فاصله وزندار استفاده شد. نمایه بارش استاندارد شده (SPI) در حوضه آبریز سد کارون ۳ و با بازه ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد. برای بررسی امکان تولید و شبیه سازی داده های هواشناسی در دوره های آتی با استفاده از مدل آماری LRAS-WG5 برای سال پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۷) کالیبراسیون و صحت سنجی مدل انجام گرفت. در ادامه تحقیق با استفاده از مدل های گردش عمومی جو و سناریو های تغییر اقلیم IPCC شبیه سازی و تولید داده های هواشناسی در دوره های آتی صورت گرفت و وضعیت خشکسالی با توجه به مقادیر شاخص خشکسالی SPI مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که فراوانی سال های نرمال و مرطوب در سناریو انتشار B1 و A2 بیشتر از A1B است و سال هایی که با خشکی همراه خواهد بود بیشتر در سناریو A1B قرار خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، خشکسالی هواشناسی، شاخص خشکسالی SPI.

مقدمه

پدیده تغییر اقلیم می‌تواند بر سیستم‌های مختلف شامل منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM می‌باشد. مدل‌های GCM مدل‌های سه بعدی هستند که روابط فیزیکی حاکم بر اتمسفر، کریوسفر، بیوسفر و هیدروسفر را بیان می‌کنند. سپس به منظور حل معادلات دیفرانسیل مربوط، کره زمین شبکه‌بندی شده و متغیرهای اقلیمی تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای (A1B, A2, B1) در دوره‌های زمانی مختلف شبیه‌سازی می‌گردند. یکی از ضعف‌های مدل‌های GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد. لذا این متغیرها برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب از دقت کافی برخوردار نیستند. بنابراین می‌بایستی آن‌ها را توسط تکنیک‌های مختلف کوچک مقیاس نمود. مطالعات متفاوتی در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و بخصوص بارش و خشکسالی صورت گرفته است (Zarghami et al., 2011). در این زمینه استفاده از شاخص‌های خشکسالی برای پایش وضعیت گذشته و آینده از اهمیت بسیاری برخوردار است. کمال و مساح (۱۳۹۰) نوسانات و مقادیر متوسط متغیرهای دما و بارش حوضه قره سو را در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی با استفاده از مدل HadCM3-A2 و روش کوچک مقیاس کردن آماری، مورد شبیه‌سازی قرار دادند. نتایج نشان داد که محدوده تغییر عدم قطعیت مربوط به نوسانات اقلیمی منطقه در ماه‌های مختلف سال بین ۰/۵ تا ۲ درجه افزایش برای دما و بین ۱۰- تا ۲۰ میلی‌متر تغییر برای بارش خواهد بود. بابائیان و همکاران (۱۳۹۰) خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریو A1 برای دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ الی ۲۰۳۹ ریز مقیاس کردند و نتایج آنرا بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور تجزیه و تحلیل نمودند. نتایج نشان داد که برای دوره مورد نظر ۹ درصد از بارندگی کاسته می‌شود که با افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتیگراد همراه خواهد بود. به نظر می‌رسد در دوره‌های آتی بارش بصورت سنگین و سیل آسا باشد. عبدالحسینی و همکاران (۱۳۹۰) با در نظر گرفتن زیرحوضه قره‌سو استان گلستان و با استفاده از داده‌های بلند مدت روزانه ایستگاه سینوپتیک گرگان، ابتدا به بررسی تغییرات دمای حداقل و حداکثر و بارش تحت سناریو A2 مدل HADCM3 پرداختند. بدین منظور از روش ریزمقیاس نمودن رگرسیونی و مدل SDSM استفاده شد. سپس با بکارگیری شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI خصوصیات مربوط به خشکسالی دوره‌های سی ساله آتی برآورد و مقایسه گردید. نتایج حاکی از افزایش متوسط بارندگی دوره آتی در تمامی ماه‌ها و شدت گیری احتمال وقوع سیلاب در منطقه است. آنالیز خشکسالی منطقه نیز حاکی از این بود که SPI در دوره گذشته مدت و شدت حداکثر بیشتری در مقایسه با RDI برآورد کرده ولی در مورد تعداد واقعه خشکسالی و متوسط شدت روند عکس مشاهده شد. گل محمدی

و مساح (۱۳۹۰) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده پرداخته‌اند. در این راستا در ابتدا با استفاده از مقادیر بارندگی روزانه ۱۱ ایستگاه داخل و خارج از حوضه، سری زمانی روزانه میانگین بارندگی حوضه طی دوره پایه ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ میلادی با روش عکس مربع فاصله در محیط ArcGIS محاسبه شد. نتایج حاکی از این است که حوضه شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. عزیزیان و کریمی (۱۳۹۰) از داده‌های بارش ماهانه و سالانه ۲۱ ایستگاه سینوپتیک کشور طی دوره آماری ۵۱ ساله استفاده کردند و برای تحلیل و تفکیک خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های مورد نظر شاخص بارش استاندارد شده و شاخص درصد نرمال و میانگین متحرک هفت ساله را بکار گرفتند. بررسی شدت خشکسالی نشان داد اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک کشور از نظر شدت خشکسالی دارای خشکسالی متوسط و ضعیف می‌باشند و نیز بیشترین خشکسالی‌های در دوره ۱۹۵۸ الی ۱۹۷۰ رخ داده است. نیکزاد و همکاران (۱۳۹۱) در جهت بهبود پایش خشکسالی توسط کشف وابستگی‌های بین خشکسالی و چندین پارامتر اقیانوسی- اتمسفری به روشی متفاوت به بررسی وابستگی‌ها در ایستگاه آبادان پرداختند. حوادث خشکسالی بر اساس شاخص بارندگی استاندارد شده تعیین و وابستگی‌هایش با شاخص‌های اقیانوسی- اتمسفری SOI, MEI, PNA, PDO, NAO مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که نوع الگوهای منتخب حاکم بر وقوع خشکسالی در این ایستگاه برای تأخیرهای زمانی متفاوت، مشابه هم بوده است و وقایع خشکسالی با دقت حداکثر ۷۴ درصد و حداقل ۴۴ درصد قابل پیش‌بینی است. معافی مدنی و همکاران (۱۳۹۲) وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی را طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری مدل LARS-WG5 تحت سناریو A2 شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که این دو شاخص همخوانی خوبی با هم دارند و طی دو دهه آینده خشکسالی در اغلب ایستگاه‌ها و در بیشتر سال‌ها کاهش می‌یابد و در حالت کلی در بیش از ۹۰ درصد ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی طی بیست سال آینده وضعیت ترسالی افزایش می‌یابد. Zarghami و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که الگوی تغییرات دما و بارش اثرات جدی بر کمیت و کیفیت منابع آب دارند. ایشان از مدل گردش عمومی جو و مدل ریزمقیاس LARS-WG استفاده نمودند. این مدل ریزمقیاس سازی جهت ریزمقیاس سازی شش ایستگاه سینوپتیک با استفاده از مدل HADCM3 و سه سناریو A1B, A2 و B1 در بازه زمانی ۲۰۲۰ الی ۲۰۹۰ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین افزایش دمای سالانه ۲/۳ درجه و میانگین کاهش بارندگی سالانه حدود ۳ درصد است. Verochidou و همکاران (۲۰۱۳) اثرات تغییر اقلیم را بر خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در سطح حوضه آبریز مورد بررسی قرار دادند. مدل هیدرولوژیکی HBV جهت شبیه‌سازی هیدرولوژیکی دوره‌های آتی (۲۰۰۱-۲۱۰۰) مورد استفاده قرار گرفت. دوره‌های آتی به چهار دوره تقسیم شد و تعداد وقایع خشکسالی و دوره خشکسالی و

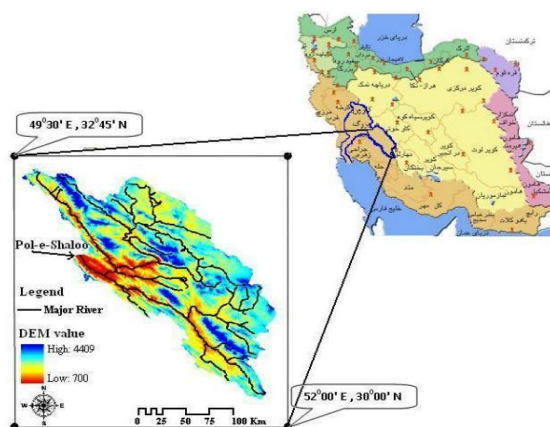
حجم کمبود در این دوره‌های مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد برای سناریو A2 تعداد وقایع به اندازه ۹۸، ۱۰۹ و ۸۱ درصد در زمینه جریان، رطوبت خاک و آبهای زیرزمینی (به ترتیب) افزایش می‌یابد. برای سناریو B1 مقادیر فوق برابر ۵۶، ۹۲ و ۳۴ درصد است. بررسی پارامترهای هیدرولوژیکی در آینده با کاهش بارش و افزایش دما مواجه می‌گردد. Grillakis و همکاران (۲۰۱۱) اثرات تغییر اقلیم را بر هیدرولوژی و خشکسالی های حوضه آبریز Creek در جنوب Ontario کانادا تحت سناریو A2 مورد بررسی قرار داده اند. پارامترهای هیدرولوژیکی مورد بررسی شامل متغیرهای اقلیمی و رژیم جریان فصلی در محدوده مورد مطالعه بوده است. داده های بارندگی و دما جهت شبیه سازی اقلیم در سال های آتی ۲۰۴۹-۲۰۶۹ از سایت NARCCAP اخذ گردید. نتایج مدل های اقلیمی منطقه ای GCM و RCM (HADCM3,) به عنوان ورودی های مدل برای سه مدل هیدرولوژیکی جهت تولید دبی جریان حوضه آبریز مورد استفاده قرار گرفت. تمام شبیه سازی نشان داد که میانگین دبی سالانه افزایش و تغییر قابل توجهی در توزیع دبی جریان فصلی اتفاق می افتد. میزان بارش استاندارد شده برای بازه زمانی ۴۸ ماهه (SPI) برای دوره گذشته و آتی در حوضه آبریز بدست آمد. نتایج نشان داد که در دوره های آتی شرایط خشک و تر حدوداً ۱۳/۲ درصد از میانگین کاهش می‌یابد.

با توجه به تحقیقات گذشته تا کنون در سطح حوضه آبریز تأثیر تغییرات و نوسانات اقلیمی بر شدت و مدت شاخص خشکسالی هواشناسی با تداوم‌های ۶ ماهه تا ۲۴ ماهه و فراوانی آن انجام نگرفته است و وجه تمایز آن با تحقیقات دیگر نیز نحوه بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی در دوره های آتی است. در این تحقیق در نظر است تا تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی با استفاده شاخص بارش استاندارد شده حوضه آبریز سد کارون ۳ در دوره‌های آتی مورد بررسی قرار گیرد. برای این کار از داده‌های اقلیمی ده مدل گردش عمومی جو تحت سه سناریوی انتشار در حوضه سد کارون ۳ استفاده شده است و نهایتاً خشکسالی حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم در سه بازه زمانی در دوره آتی (دوره های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ میلادی) شبیه‌سازی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه کارون ۳ می‌باشد. وسعت حوضه آبریز در محل سد کارون ۳، ۲۴۰۰۰ کیلومتر مربع است. حوضه آبریز کارون بزرگ در طول جغرافیایی ۳۰ تا ۳۴ درجه شمالی و در عرض جغرافیایی ۴۸ تا ۵۲ درجه شرقی واقع شده است. ساختگاه سد و نیروگاه کارون ۳ در ۲۸ کیلومتری شرق شهرستان ایذه و در فاصله ۶۱۰ کیلومتری مصب رودخانه کارون در شمال شرقی استان خوزستان واقع شده است. این سد در حدود ۱۲۰ کیلومتری بالادست سد شهید عباسپور (کارون ۱) قرار دارد. (شکل ۱) حوضه آبریز کارون بزرگ و موقعیت حوضه آبریز کارون ۳ را نشان می‌دهد. طول

دوره مشترک آماری ایستگاه‌های مورد استفاده از سال ۱۹۸۰ الی ۲۰۰۷ بود، بنابراین طول دوره آماری مورد استفاده ۲۸ سال بود. ایستگاه‌های منتخب و دارای آمار کامل شامل ایستگاه‌های مرغک، سد شهید عباسپور، تنگ پنج، بارز و پل شالو می‌باشد. (جدول ۱) مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی در محدوده حوضه آبریز کارون ۳ را مشخص می‌کند. یکی از پارامترهای معتبر در خصوص تعیین رژیم بارش، نمایه بارش استاندارد شده (SPI) است. McKee و همکاران (۱۹۹۳) این پارامتر را به منظور تعریف و پایش هواشناختی بارش ارائه داده اند. این شاخص امکان مشخص کردن بی سابقه بودن یک خشکسالی یا یک ترسالی در مقیاس زمانی مشخص برای هر منطقه‌ای از زمین که دارای سابقه آمار تاریخی باشد را می‌دهد. توزیع گاما، چگونگی سری‌های زمانی اقلیمی بارش را به خوبی بیان می‌کند. توزیع گاما با تابع چگالی احتمال یا تناوبش تعریف می‌شود. در واقع این شاخص معرف مقدار عددی انحراف معیاریست که یک پدیده‌ی بارشی از میانگین دارد. این شاخص به تحلیلگر امکان تشخیص میزان و کیفیت وقوع یک حادثه خشکسالی یا یک ترسالی را در مقیاس زمانی مشخص برای هر منطقه‌ای با سابقه آمار تاریخی مناسب ارائه می‌نماید. (جدول ۲) مقادیر SPI و وضعیت اقلیمی متناظر با آن را نشان می‌دهد. برای آگاهی بیشتر از نحوه بدست آوردن این شاخص به مرجع McKee و همکاران (۱۹۹۳) مراجعه شود.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز کارون بزرگ و حوضه آبریز سد کارون ۳

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی در محدوده حوضه آبریز کارون ۳

ارتفاع	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	نام ایستگاه
۹۴۹	۳۱/۶۷	۵۰/۴۵	مرغک
۳۶۸	۳۲/۰۷	۴۹/۶۰	سد شهید عباسپور
۲۲۷۰	۳۱/۶۵	۵۱/۴۶	تنگ زردالو
۷۰۰	۳۱/۷۵	۵۰/۱۳	پل شالو
۹۸۰	۳۱/۵۱	۵۰/۴۱	بارز

جدول ۲: مقادیر SPI و وضعیت اقلیمی متناظر با آن (McKee et al., 1995)

نمایه مربوطه	حدود SPI	اقلیم
EW	+۲	بسیار مرطوب
VW	۱/۹۹ تا ۱/۵	خیلی مرطوب
MW	۱ تا ۱/۴۹	مرطوب ملایم
NW	۰ تا ۰/۹۹	نرمال مرطوب
ND	۰ تا -۰/۹۹	نرمال خشک
MD	-۱ تا -۱/۴۹	خشک ملایم
VD	-۱/۹۹ تا -۱/۵	خیلی خشک
ED	-۲ و کمتر	بسیار خشک

سناریوهای اقلیمی و ریزمقیاس نمایی

کلیه پیش‌بینی‌های اولیه‌ای که توسط مدل‌های AOGCM انجام می‌گیرد در محدوده بزرگ مقیاس جغرافیایی بوده و نمی‌تواند تغییرات مربوط به اقلیم محلی و شرایط سینوپتیکی کوچک مقیاس را مورد توجه و ارزیابی قرار دهد. به همین دلیل برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای و محلی به طور مستقیم نمی‌توان از این مدل‌ها استفاده کرد. با توجه به این مشکل، با انجام اصلاحات روی مدل‌های GCM و نیز در نظر گرفتن شرایط محلی، مدل‌های کوچک مقیاس به نام مدل‌های منطقه‌ای ارائه شده است. این مدل‌ها از تمامی خصوصیات فیزیکی و ریاضی مدل‌های گردش عمومی جو پیروی می‌کنند. اما توانایی تفکیک آنها ۰/۱۲۵ درجه (۱۵ کیلومتر) می‌باشد. با توجه به این خصیصه می‌توان تغییرات محلی یا منطقه‌ای ابر، بارش، رطوبت و دما را پیش‌بینی نمود. برای مناطقی مانند ایران از روش‌های کوچک مقیاس نمودن داده‌های مدل‌های AOGCM استفاده می‌شود. از جمله روش‌های آماری، مدل‌های معروف به تولید اطلاعات آب و هوایی براساس در نظر گرفتن روابط بین اطلاعات آب و هوایی یک حوضه، نظیر اطلاعات بارش و دمای ثبت شده در ایستگاه‌ها به صورت زمانی و مکانی، شکل می‌گیرند. در حقیقت، ویژگی اصلی این مدل‌ها در جامع‌نگاری تولید اطلاعاتی است که بیانگر وضعیت آب و هوایی حوضه می‌باشد. در این روش از مدل‌های ریاضی و آماری مختلفی می‌توان بهره برد. در پژوهش حاضر به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های هواشناسی خروجی‌های مدل‌های AOGCM در مقیاس روزانه از مدل آماری LARS-WG5 که یکی از مدل‌های مولد هواشناسی بوده و توانایی تولید در مقیاس روزانه را دارد، استفاده شده است (Semenov and Barrow, 2001). در ادامه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی و مدل LARS-WG5 که در این تحقیق از آن استفاده شده توضیح داده خواهد شد. مدل LARS-WG در اقلیم‌های مختلف امتحان شده است و نتایج خوبی را در تولید آمارهای آب و هوای گوناگون شامل حوادث شدید آب و هوایی نشان داده است. مدل LARS-WG برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را بکار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی می‌باشد (Semenov and Stratonovitch, 2010).

مراحل انجام تحقیق حاضر به ترتیب شامل این موارد است: ۱- آماده سازی اطلاعات هواشناسی و محاسبه بارش ماهانه در حوضه آبریز کارون ۳: در این تحقیق داده‌های پایه مورد استفاده شامل متغیرهای هواشناسی در دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۷ میلادی از ایستگاه‌های منتخب منطقه می‌باشد. متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق شامل میزان بارش روزانه، حداقل دمای روزانه و حداکثر دمای روزانه می‌باشد. تحلیل آماری روی متغیرهای مورد بررسی انجام گرفت و پس از بررسی و کنترل کیفی داده ها، نرمال بودن آنها مورد آزمون قرار گرفت و همگنی داده‌ها ارزیابی و تصادفی بودن مقادیر پذیرفته شد. به منظور بررسی تغییرات بارندگی و توسعه مدل پیش‌بینی برای محدوده مورد مطالعه که توسط سیستم برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب قابل بهره برداری باشد، ۳ بازه زمانی به شرح ذیل تعریف شده است: مجموع بارش فصول پاییز و زمستان (۶ ماهه)، مجموع بارش فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان (۱۲ ماهه)، مجموع بارش های دو سال فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان (۲۴ ماهه). این اطلاعات در روی کل حوضه آبریز کارون ۳ به منظور تخمین بارش استاندارد شده در هر یک از سناریوهای فوق در هر سال بکار رفته است. ۲- محاسبه بارش مجموع و شاخص SPI: بارش ماهانه به روش عکس فاصله وزندار با استفاده از داده‌های بارش روزانه محاسبه شد. سپس بارش مجموع ۶ ماه، ۱۲ ماه و ۲۴ ماه محاسبه شد و شاخص بارش استاندارد شده در سه بازه ۶ ماهه، ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه محاسبه شد، سپس بررسی شدت، مدت و فراوانی دسته شاخص SPI در دوره دیده بانی انجام گرفت. ۳- تولید سناریوهای اقلیمی ماهانه با استفاده از مدل‌های AOGCM: جدول ۳ خلاصه ویژگی‌های مهم ۱۰ مدل GCM بکاررفته در این مطالعه می‌باشد. برای بسیاری از مدل‌های GCM پیش‌بینی‌های آب و هوا برای ۳ سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای در دسترس می‌باشد. در این مطالعه سعی شد از میانگین ۱۰ مدل GCM و سناریوهای انتشار مربوطه در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش در حوضه کارون ۳ طی سه دوره در مقایسه با دوره پایه استفاد شود. ۴- ریزمقیاس نمایی و اجرای مدل LARS-WG برای دوره های آبی با داده های هواشناسی زمینی دما و بارش روزانه: در مجموع ۴۰ زیرسناریوی متفاوت به نام سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای که در برگیرنده طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت انسان در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی موثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق می‌باشد ارائه شده‌است. هر کدام از این زیر سناریوها مربوط به یکی از گروه‌های A1، A2، B1 و B2 می‌باشد. سناریو A1B ترسیم کننده جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی و رشد سریع فناوریهای نوین است و بنابراین تغییر اقلیم متوسطی برای دوره آینده ترسیم می‌کند. سناریو A2 بر هویت‌های منطقه ای و حفظ آنها تکیه دارد که سبب افزایش جمعیت می‌شود. همچنین رشد اقتصادی و فناوری در این سناریو کندتر است. اما در سناریو B1 رشد جمعیت سریع بوده و تأکید بیشتر در استفاده از انرژی‌های پاکف پایداری محیط زیست و اقتصاد در سطح جهانی است (IPCC, 2007). در پژوهش حاضر به منظور ریزمقیاس نمایی داده‌های هواشناسی خروجی‌های مدل‌های چرخه عمومی

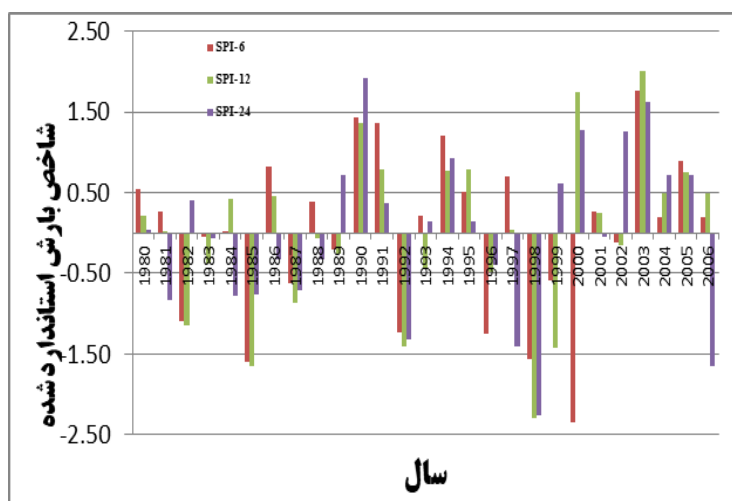
جو در مقیاس روزانه از مدل LARS-WG5 که یکی از مدل‌های مولد هواشناسی بوده و توانایی تولید در مقیاس روزانه را دارد، استفاده شد. مدل LARS-WG در اقلیم‌های مختلف امتحان شده است و نتایج خوبی را در تولید آمارهای آب و هوای گوناگون شامل حوادث شدید آب و هوایی مانند خشکسالی‌ها نشان داده است. در بخش واسنجی مدل، بعد از جمع آوری داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های هواشناسی مورد اشاره برای دوره پایه و آماده کردن فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه در ایستگاه‌های مورد نظر اجرا شد. در گام بعدی نیز صحت سنجی مدل انجام شد و توانایی مدل برای پیش‌بینی بلند داده‌های بارش روزانه پذیرفته شد. ۵- محاسبه بارش میانگین ماهانه و شدت، مدت و فراوانی دسته شاخص SPI در دوره های آتی: پس از اجرای مدل LARS-WG برای هر مدل AOGCM و هر سناریو میزان بارش ماهانه و مجموع بارش‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد و به تبع آن میزان شاخص SPI محاسبه شد. در واقع مراحل شماره ۲ که برای داده‌های تاریخی انجام شده بود، در دوره‌های آتی (سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) تکرار شد.

جدول ۳: مشخصات ۱۰ مدل چرخه عمومی اتمسفر-اقیانوس (AOGCM) موجود در پایگاه اطلاعات IPCC-AR4 که خروجی آن‌ها در این تحقیق استفاده خواهد شد (Stratonovitch and Semenov, 2010).

مرجع	سناریوهای انتشار	قدرت تفکیک	گروه مؤسس	مخفف مدل	نام مدل
Gordon et al, 2000	A1B,A2,B1	2.5*3.75	UKMO(Uk)	HADCM3	HADCM3
G.j . Boer et al ,2001	A1B,A2,B1	0.9*1.4	CCCMA(Canada)	CGCM3	CGCM3T63
Deque et al ,1994	A1B,A2,B1	1.9*1.9	CNRM(France)	CNCM3	CNRMCM3
Gordon et al ,2002	A1B,A2,B1	1.9*1.9	ABM(Australia)	CSMK3	CSIROMK3.0
GFDL-GAMDT, 2004	A1B,A2,B1	2.0*2.5	NOAA/GFDL(USA)	GFCM2	GFDLGM2.0
Schmidt et al ,2006	A1B,A2,B1	4.0*5.0	NASA/GISS(USA)	GIER	GISS-ER
Alekseev et al ,1998	A1B,A2,B1	4.0*5.0	INM(Russia)	INM	INMCM3.0
Hourdin et al ,2006	A1B,A2,B1	2.5*3.75	IPSL(France)	IPCM4	IPSLCM4
Hasumi , 2004	A1B,A2,B1	2.81*2.81	NIES(Japan)	MIMR	MIROC3.2MEDRE
Terray et al ,1998	A1B,A2,B1	1.5*1.5	BBCR(Norway)	BCM2.0	BCM2.0

نتایج و بحث

مقادیر بارش میانگین ماهانه حوضه محاسبه و به تبع آن مقادیر میانگین بارش استاندارد شده محاسبه شده ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در سال های آماری مشاهده‌ای محاسبه شد (شکل ۲). سپس نتایج ناشی از اجراهای مختلف مدل LARS-WG5 برای دوره مشاهداتی جهت بررسی قابلیت مدل برای تولید داده های هواشناسی دوره های آتی مورد بررسی قرار گرفت که حاکی از امکان تولید داده های هواشناسی برای دوره های آتی با مدل LARS-WG5 بود.



شکل ۲: میزان میانگین بارش استاندارد شده محاسبه شده در سال های آماری مورد نظر.

در مرحله بعد مدل های چرخه عمومی برای دوره های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و سناریوهای A1B، A2 و B1 اجرا شد و نتایج ذیل برای شدت و فراوانی شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده بطور متوسط از خروجی کلیه مدل ها حاصل شد.

دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰

سناریو A1B: در این سناریو از شدت خشکسالی ها در این دوره زمانی کاسته می شود. مجموع ۲۴ ماهه بارش ها افزایش پیدا می کند و خشکسالی ها کاهش می یابد که نشان از افزایش خشکسالی های کوتاه مدت و مقطعی در این دوره می باشد.

سناریو A2: در این سناریو که خشکسالی ها نیز افزایش می یابد و شاخص بارش استاندارد شده محاسبه شده نیز گویای همین مطلب است که شدت خشکسالی ها بسیار شدید خواهد بود، اگرچه این خشکسالی ها در بین سال های بدون خشکسالی و نرمال با یک دوره برگشت معین رخ خواهد داد. سناریو B1: در این سناریو که با فرض جهان همگرا و فناوری های پاک است، بارش ها افزایش قابل ملاحظه ای می یابد و ترسالی ها و سالهای نرمال بارندگی افزایش یافته و خشکسالی ها با تناوب کمتر و شدت کمتری در دوره ۲۰۱۱ الی ۲۰۳۰ رخ خواهد داد.

دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵

سناریو A1B: مجموع بارش های شش ماهه و دوازده ماهه به خصوص در سال های اولیه و سالهای بعد از ۲۰۶۰ کاهش پیدا می کند و خشکسالی ها افزایش می یابد. شدت خشکسالی ها در این دوره ها بیشتر خواهد بود اگر چه اکثر سال ها در این دوره نرمال و بارش مانند دوره مشاهده ای است. سناریو A2: در این سناریو انتشار گازهای گلخانه ای افزایش

یافته و بارندگی در دراز مدت کاهش یافته و خشکسالی های با شدت بالا اتفاق خواهد افتاد. فراوانی خشکسالی ها با شدت بالا در این دوره بیشتر خواهد شد. اما در کوتاه مدت تغییری در بارندگی ها (مجموع ۶ و ۱۲ ماهه) رخ نخواهد داد. سناریو B1: در این دوره بارش ها افزایش یافته و خشکسالی ها با توجه به شاخص بارش استاندارد شده کاهش قابل ملاحظه ای یافته و فراوانی تر سال ها افزایش می یابد.

دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹

سناریو A1B: تغییرات بارندگی حاکی از کاهش بارش ها در دراز مدت است، بطوریکه در سال های پایانی این دوره بارندگی بسیار کاهش یافته و خشکسالی ها با تداوم بیشتری رخ خواهد داد. عدم قطعیت ها در نتایج به دست آمده در این دوره شبیه سازی بارش ها بسیار زیاد است و ممکن است با نتایج سایر سناریوها تفاوت آشکاری مشاهده شود. سناریو A2: بارش ها در این مقطع زمانی کاهش یافته و با خشکسالی های شدیدی همراه است. سناریو B1: تغییرات نوسانی در بارندگی ها اتفاق می افتد و خشکسالی ها تقریباً شدید نیز اتفاق خواهد افتاد. در (جدول ۳) تا (جدول ۵) فراوانی شدت های خشکسالی در دوره آتی ۲۰۱۱ الی ۲۰۹۹ تحت سناریو های مختلف آورده شده است. فراوانی سال های نرمال و مرطوب در سناریو B1 و A2 بیشتر از A1B است و سالهایی که با خشکی همراه خواهد بود بیشتر در سناریو A1B قرار خواهد داشت که در دوره ۲۰۸۰ میزان خشکسالی ها در کلیه سناریوها بیشتر از سایرین می باشد.

جدول ۳: فراوانی شدت های خشکسالی در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تحت سناریوهای مختلف

وضعیت خشکسالی	بسیار مرطوب	خیلی مرطوب	مرطوب ملایم	مرطوب نرمال	نرمال خشک	خشک ملایم	خیلی خشک	بسیار خشک
SPI-6	۰	۱	۳	۱۲	۵	۳	۲	۱
SPI-12	۱	۱	۳	۱۲	۷	۳	۱	۱
SPI-24	۰	۱	۲	۱۰	۹	۳	۱	۱
SPI-6	۰	۲	۳	۹	۱۰	۳	۰	۰
SPI-12	۰	۱	۲	۹	۷	۲	۲	۱
SPI-24	۰	۲	۱	۱۲	۹	۰	۳	۱
SPI-6	۰	۰	۱	۱۴	۶	۱	۱	۲
SPI-12	۰	۱	۶	۱۰	۵	۴	۰	۱
SPI-24	۰	۱	۱	۸	۱۱	۴	۱	۱
SPI-6	۰	۲	۰	۹	۱۰	۳	۲	۱
SPI-12	۰	۱	۲	۸	۸	۶	۱	۱
SPI-24	۱	۱	۲	۱۲	۹	۰	۱	۱

در (شکل ۳) الی (شکل ۵) درصد تغییرات فراوانی خشکسالی ها نسبت به دوره دیده بانی نشان داده شده است. در دوره ۲۰۱۱ و سناریو های A1B و A2 خشکسالی ها افزایش داشته و میزان ترسالی ها کاهش داشته است و به ترتیب به رقم ۱۸/۵ درصد و ۱۴/۵- نیز رسیده است در حالیکه در دوره B1 فراوانی سال های مرطوب ملایم تا ۱۸/۵ درصد افزایش داشته است.

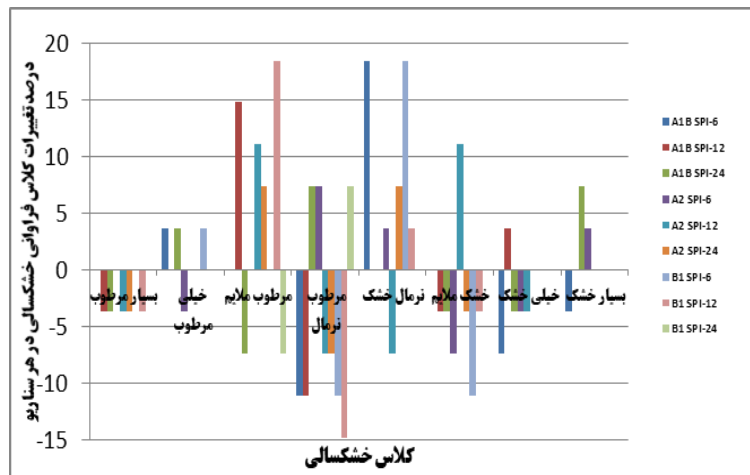
جدول ۴: فراوانی شدت های خشکسالی در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) تحت سناریوهای مختلف

وضعیت خشکسالی	بسیار مرطوب	خیلی مرطوب	مرطوب ملایم	مرطوب نرمال	نرمال خشک	خشک ملایم	خیلی خشک	بسیار خشک
سال پایه	۰	۱	۱	۱۲	۳	۵	۲	۱
SPI-6	۰	۱	۱	۱۲	۳	۵	۲	۱
SPI-12	۰	۱	۱	۱۲	۳	۵	۲	۱
SPI-24	۰	۱	۱	۱۰	۳	۹	۱	۱
A1B	۰	۲	۱	۹	۳	۱۰	۱	۱
SPI-6	۰	۱	۱	۸	۵	۹	۲	۱
SPI-12	۰	۱	۱	۸	۵	۹	۲	۱
SPI-24	۰	۲	۱	۱۴	۰	۸	۲	۰
A2	۰	۲	۱	۹	۳	۱۰	۲	۰
SPI-6	۰	۱	۱	۸	۵	۹	۲	۱
SPI-12	۰	۱	۱	۸	۵	۹	۲	۱
SPI-24	۰	۲	۱	۱۳	۰	۸	۲	۱
B1	۰	۲	۱	۱۰	۲	۱۰	۲	۱
SPI-6	۰	۲	۱	۹	۴	۸	۲	۱
SPI-12	۰	۲	۱	۹	۴	۸	۲	۱
SPI-24	۰	۲	۲	۱۲	۲	۶	۲	۱

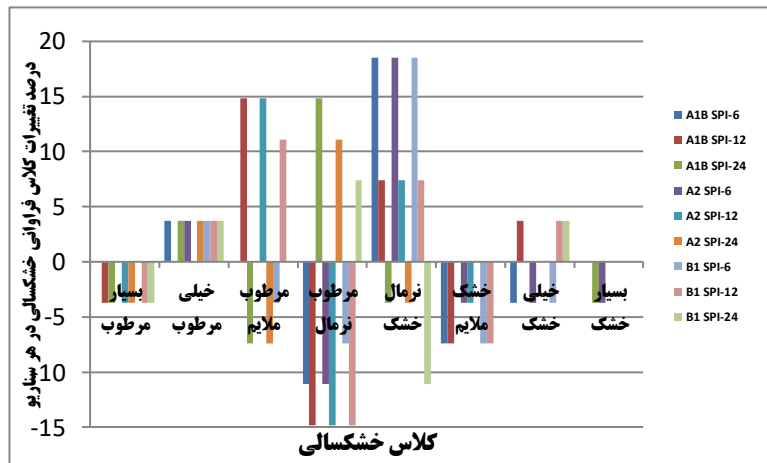
جدول ۵: فراوانی شدت های خشکسالی در دوره آتی (۲۰۸۰-۲۰۹۹) تحت سناریوهای مختلف

وضعیت خشکسالی	بسیار مرطوب	خیلی مرطوب	مرطوب ملایم	مرطوب نرمال	نرمال خشک	خشک ملایم	خیلی خشک	بسیار خشک
سال پایه	۰	۱	۱	۱۲	۳	۵	۲	۱
SPI-6	۰	۱	۱	۱۲	۳	۵	۲	۱
SPI-12	۰	۱	۱	۱۲	۳	۵	۲	۱
SPI-24	۰	۱	۱	۱۰	۳	۹	۱	۱
A1B	۰	۲	۱	۸	۳	۱۱	۱	۰
SPI-6	۰	۲	۱	۹	۳	۹	۲	۰
SPI-12	۰	۲	۱	۹	۳	۹	۲	۰
SPI-24	۰	۴	۱	۱۰	۴	۸	۲	۱
A2	۰	۲	۱	۸	۳	۱۱	۱	۰
SPI-6	۰	۱	۱	۸	۳	۱۱	۱	۰
SPI-12	۰	۱	۱	۹	۳	۱۱	۱	۰
SPI-24	۰	۱	۱	۱۲	۱	۹	۲	۱
B1	۰	۲	۱	۹	۳	۱۰	۲	۱
SPI-6	۰	۲	۱	۹	۳	۱۰	۲	۱
SPI-12	۰	۱	۲	۱۰	۶	۶	۱	۱
SPI-24	۰	۱	۲	۱۴	۰	۷	۱	۱

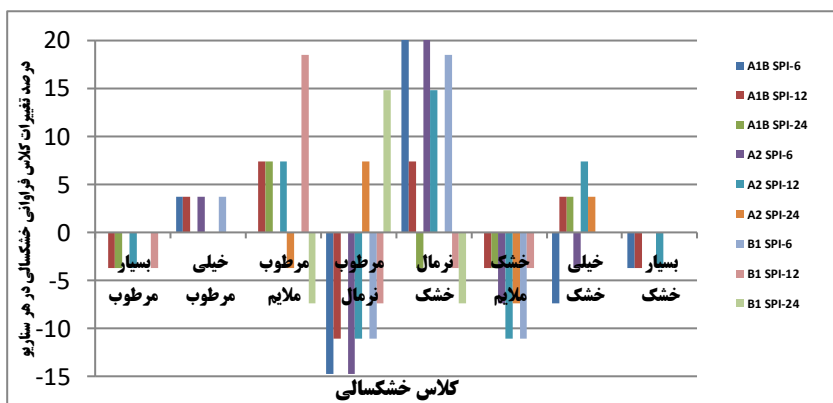
در دوره ۲۰۴۶ نیز برای سناریو A1B و A2 مانند دوره ۲۰۱۱ است اما افزایش سال های مرطوب کمتر خواهد بود. در دوره ۲۰۸۰ برای سناریو A1B و A2 نرخ افزایش خشکسالی ها به ۲۲ درصد و کاهش ترسالی ها به ۱۴/۸- می رسد که حاکی از وضعیت بحرانی در این دوره می باشد. از طرفی سناریو B1 در این دوره مانند دوره ۲۰۱۱ خواهد بود. برآیند کلی از فراوانی های خشکسالی در دوره های آتی نشان میدهد که دوره ۲۰۱۱ با افزایش سال های مرطوب همراه خواهد بود و دوره ۲۰۴۶ به تدریج وارد خشکسالی ها با تداوم بیشتر خواهیم شد و در دوره ۲۰۸۰ وضعیت خشکسالی ها بحرانی تر و با فراوانی بیشتری نسبت به دوره های قبلی رخ خواهد داد.



شکل ۳: درصد تغییر وضعیت فراوانی خشکسالی ها نسبت به دوره دیده بانی با توجه به دسته SPI در هر سناریو (۲۰۳۰-۲۰۱۰)



شکل ۴: درصد تغییر وضعیت فراوانی خشکسالی ها نسبت به دوره دیده بانی با توجه به دسته SPI در هر سناریو (۲۰۶۰-۲۰۴۶)



شکل ۵: درصد تغییر وضعیت فراوانی خشکسالی ها نسبت به دوره دیده بانی با توجه به دسته SPI در هر سناریو (۲۰۹۹-۲۰۸۰)

بررسی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM

در این تحقیق تغییر اقلیم بارندگی از ۱۰ مدل مختلف AOGCM (تحت سه سناریوی انتشار A1B و A2 و B1) برای سه دوره نسبت به دوره ۲۰۰۷-۱۹۸۰ با استفاده از مدل آماری LARS-WG محاسبه شد و نتایج متفاوتی از یک سری از مدل‌ها بدست آمد. مدل‌های مختلف در تخمین میزان تغییر بارش دوره آتی نسبت به پایه هماهنگ نبوده و برخی از مدل‌ها بارش دوره آتی را نسبت به دوره پایه بیشتر و برخی نیز کمتر نشان می‌دهند. در این میان مدل‌های GISS-ER و GFDLCM2.0 و سناریو A1B در مقایسه با سایر مدل‌ها و سناریوها در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، بیشترین افزایش میزان بارش آتی را نسبت به پایه و مدل‌های CSIRO MK3.0 در همه سناریوها و مدل CNRMCM3 برای سناریو A1B و مدل MIROC3.2MEDRES برای سناریو A2 بیشترین کاهش را دارد. جدول (۶) میزان درصد تغییرات بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه را برای فصل‌های مختلف تحت سه سناریو نشان می‌دهد. بیشترین درصد تغییرات بارش مربوط به فصل بهار و کمترین آن در فصل پاییز بوده است.

جدول ۶: درصد تغییرات بارش در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) نسبت به دوره پایه را برای فصل‌های مختلف تحت سه سناریو انتشار

فصل	سناریو		
	B1	A2	A1B
بهار	۱۷,۲۹	۹,۵۵	۱۹,۲۴
تابستان	۱۵,۹۱	-۹,۰۸	۱۸,۳۳
پاییز	۰,۶۹	-۸,۸۸	۲,۵۸
زمستان	۴,۷۱	۴,۹۹	۱۰,۶۳
میانگین	۹,۶۵	۶,۱۹	۱۲,۷۹

نتیجه‌گیری

در این تحقیق وضعیت خشکسالی حوضه آبریز کارون ۳ در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ میلادی تحت تأثیر تغییر اقلیم از مدل آماری LARS-WG استفاده شد. در این راستا از خروجی ۱۰ مدل AOGCM تحت سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A1B، A2 و B1 طی دوره‌های ذکر شده آتی به منظور برآورد مقادیر بارندگی روزانه در دوره آینده استفاده شد. مقادیر بارندگی ماهانه حوضه مورد مطالعه برای محاسبه و برآورد شاخص خشکسالی SPI برای مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه و برای سناریوهای انتشار مورد استفاده قرار گرفت. پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی مدل و قابلیت مدل آماری LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، این مدل برای ریز مقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو و تولید داده یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در دوره‌های آتی با استفاده از سناریوهای اقلیمی مورد تایید IPCC اجرا گردید و نتایج برای حوضه آبریز کارون ۳ حاصل شد. بطور کلی در دوره‌های

آتی فراوانی سال‌های نرمال و مرطوب از نظر شاخص خشکسالی SPI در سناریو انتشار B1 و A2 بیشتر از A1B است و سالهایی که با خشکی همراه خواهد بود بیشتر در سناریو A1B قرار خواهد داشت که در دوره ۲۰۸۰ میزان خشکسالی‌ها در کلیه سناریو‌ها بیشتر از سایر سناریو‌ها می‌باشد. در این تحقیق درصد تغییرات فراوانی خشکسالی‌ها نسبت به دوره دیده بانی مورد بررسی قرار گرفت و این نتایج حاصل شد: در دوره ۲۰۱۱ و سناریو‌های A1B و A2 خشکسالی‌ها افزایش داشته و میزان ترسالی‌ها کاهش داشته است و به ترتیب به رقم ۱۸/۵ درصد و ۱۴/۵- نیز رسیده است در حالیکه در دوره B1 فراوانی سال‌های مرطوب ملایم تا ۱۸/۵ درصد افزایش داشته است. در دوره ۲۰۴۶ نیز برای سناریو A1B و A2 مانند دوره ۲۰۱۱ است اما افزایش سالهای مرطوب کمتر خواهد بود. در دوره ۲۰۸۰ برای سناریو A1B و A2 نرخ افزایش خشکسالی‌ها به ۲۲ درصد و کاهش ترسالی‌ها به ۱۴/۸- می‌رسد که حاکی از وضعیت بحرانی در این دوره می‌باشد. از طرفی سناریو B1 در این دوره مانند دوره ۲۰۱۱ خواهد بود. برآیند کلی از فراوانی‌های خشکسالی در دوره‌های آتی نشان می‌دهد که دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با افزایش سال‌های مرطوب همراه خواهد بود و دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ به تدریج وارد خشکسالی‌ها با تداوم بیشتر خواهیم شد و در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ وضعیت خشکسالی‌ها بحرانی تر و با فراوانی بیشتری نسبت به دوره‌های قبلی رخ خواهد داد. بنابراین اتکا بر تامین منابع آب از منابع ذخیره شده در پایین دست سد کارون ۳ در بخش کشاورزی در بلند مدت امکان‌پذیر نبوده و لازم است با افزایش بهره‌وری در کشت آبی و کاهش سطح زیر کشت دیم با توجه به جابجایی فصلی بارش‌ها اقدام موثری در این زمینه صورت گیرد. مدل‌های مختلف در تخمین میزان تغییر بارش دوره آتی نسبت به پایه هماهنگ نبوده و برخی از مدل‌ها بارش دوره آتی را نسبت به دوره پایه بیشتر و برخی نیز کمتر نشان می‌دهند. در این میان مدل‌های GISS-ER و GFDLCM2.0 و سناریو A1B در مقایسه با سایر مدل‌ها و سناریو‌ها در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، بیشترین افزایش میزان بارش آتی را نسبت به پایه نشان داد. جهت ادامه تحقیق حاضر پیشنهاد می‌گردد: از سایر شاخص‌های خشکسالی مانند RDI و شاخص‌های هیدرولوژیکی جهت بررسی وضعیت هیدرولوژیکی دوره‌های آتی با توجه به محدودیت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم استفاده شود. همچنین تأثیر عدم قطعیت توأم مربوط به مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر خشکسالی و مدل‌های منطقه‌ای RCM در تحقیقات بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

بابائیان، الف.، ز. نجفی نیک.، ف. زابل عباسی.، م. حبیبی نوخندان.، ح. ادب. و ش. ملبوسی. (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو

عبدالحسینی، م.، اسلامیان، س. و ف. موسوی. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات خصوصیات خشکسالی اقتصادی - اجتماعی و تأثیر تغییر اقلیم بر آن در دوره آتی. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

عزیزیان، ص. و م. کریمی. (۱۳۹۰). بررسی شدت و فراوانی خشکسالی با استفاده از شاخص های SPI و میانگین متحرک ۷ ساله در ایستگاه های سینوپتیک کشور. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

کمال، ع. و ع. مساح بوانی. (۱۳۹۰). تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت مدل های هیدرولوژی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

گل محمدی، م. و ع. مساح بوانی. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک. ج ۲۵ ش ۲: ۳۱۵-۳۲۶.

معافی مدن، ی. س. ف. م. موسوی. و ح. انصاری. (۱۳۹۲). پیش بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG. جغرافیا و مخاطرات محیطی شماره سوم، ص: ۲۱-۳۷.

نیکزاد، م.، م. بهبهانی. و ع. رحیمی خوب. (۱۳۹۱). آشکارسازی وابستگی های بین پارامترهای اقیانوسی - اتمسفری و اقلیمی به منظور پایش خشکسالی در استان خوزستان بوسیله روش داده کاوی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

Grillakis, M.G. Koutroulis, A.G. and Tsanis, I.K. (2011). Climate change impact on the hydrology of Spencer Creek watershed in Southern Ontario, Canada. *Journal of Hydrology* 409, pp:1-19.

IPCC. (2007). The Physical Science Basis. Summary for Policymakers.

McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. Am. Meteor. Soc., Boston, pp:179-184.

McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. In: *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*. Am. Meteor. Soc., Boston, pp: 233-236.

Semenov, M. A. and Barrow, B. (2001). LARS-WG manual., A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies.

Semenov MA and Stratonovitch P. (2010). The use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Clim Res*, 41, pp: 1–14.

Zarghami, M., Amin Abdi, I., Babaeian, Y., Hassanzadeh, H. and Kanani, R. (2011). Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan. *Global and Planetary Change*. 78: pp: 137-146.