

## بررسی شدت و فراوانی خشکسالی کشاورزی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز سد

### کارون ۳

نیما غلامپور<sup>۱</sup>، علیرضا نیکبخت شهبازی<sup>۲\*</sup> و حسین فتحیان<sup>۳</sup>

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

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

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

\*نویسنده مسئول: ar\_nikbakht@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۴

### چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی حوضه آبریز کارون ۳ در دوره‌های آتی است. برای این کار از داده‌های اقلیمی مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوی انتشار (A2) در حوضه کارون ۳ استفاده شد. با استفاده از شاخص خشکسالی RDI خشکسالی‌های کشاورزی حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۶۵) شبیه‌سازی گردید. در ابتدا با استفاده از بارش روزانه سال‌های آماری (۱۹۹۱-۲۰۱۵) نمایه خشکسالی (RDI) در حوضه سد کارون ۳ بازه سالانه محاسبه شد. جهت بررسی امکان تولید و شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در دوره‌های آتی با استفاده از مدل LRAS-WG5 برای سال پایه (۱۹۹۱-۲۰۱۵) کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل انجام گرفت. با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای تغییر اقلیم IPCC شبیه‌سازی و تولید داده‌های هواشناسی در دوره‌های آتی صورت گرفت و وضعیت خشکسالی با توجه به مقادیر شاخص خشکسالی RDI مشخصات خشکسالی نظیر فراوانی و شدت خشکسالی در بازه‌های سالانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس شاخص خشکسالی RDI فراوانی خشکسالی‌ها در بازه سالانه دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۹/۲ و ۱۲/۳ درصد افزایش نشان می‌دهد شدت خشکسالی‌ها نیز در بازه سالانه دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۰/۸- و ۱/۶- درصد کاهش نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، خشکسالی، شاخص خشکسالی احيایی و حوضه آبریز سد کارون ۳.

## مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده است که به آن پدیده تغییر اقلیم اطلاق می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلف شامل منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. خشکسالی یکی از مهمترین بلایای طبیعی است که در دراز مدت وضعیت اقتصادی- اجتماعی انسان را نیز تحت الشعاع قرار می‌دهد. 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 و همکاران، ۲۰۱۱). در این زمینه استفاده از شاخص‌های خشکسالی برای پایش وضعیت گذشته و آینده از اهمیت بسیاری برخوردار است. Kamal و Massah (۲۰۱۱) 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 شبیه سازی 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. Babaeian و همکاران (۲۰۰۹) خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریو A1 برای دوره ۲۰۱۰ الی ۲۰۳۹ ریزمقیاس 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. Abdolhoseini و همکاران (۲۰۱۱) با در نظر گرفتن زیرحوضه قره سو 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. Massah and Golmohammadi (۲۰۱۱) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی حوضه قره سو 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. Karimi and Azizian (۲۰۱۱) 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 به کار 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. Nikzad و همکاران (۲۰۱۲) 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 بر اساس شاخص بارندگی استاندارد شده 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. Moafimadani و همکاران (۲۰۱۲) 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 آبی (۲۰۰۱-۲۱۰۰) مورد استفاده قرار گرفت. دوره‌های آبی 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)

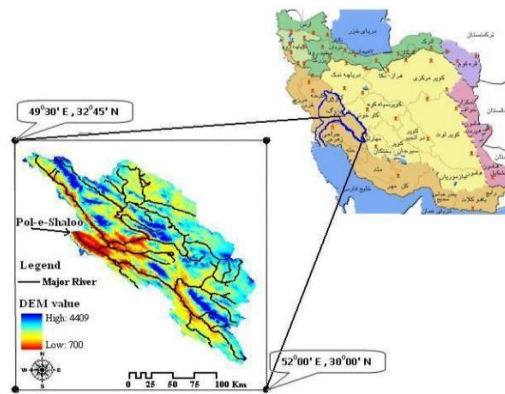
افزایش می یابد. برای سناریو B1 مقادیر فوق برابر ۵۶، ۹۲ و ۳۴ درصد است. بررسی پارامترهای هیدرولوژیکی در آینده با کاهش بارش و افزایش دما مواجه می گردد. Grillaki و همکاران (۲۰۱۱) اثرات تغییر اقلیم را بر هیدرولوژی و خشکسالی های حوضه آبریز Creek در جنوب Ontario کانادا تحت سناریو A2 مورد بررسی قرار داده اند. 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, CGCM3, GFDL) 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 به دست آمد. نتایج نشان داد که در دوره های آتی شرایط خشک و تر حدوداً ۱۳/۲ درصد از میانگین کاهش می یابد. Mirabbasi و همکاران (۲۰۱۳) از شاخص JDI (Joint Deficit Index) جهت ارزیابی شرایط خشکسالی در شمال ایران استفاده نموده اند. داده های بارش ماهانه (۱۹۷۰-۲۰۰۷) از ۵۰ ایستگاه هواشناسی بطور یکنواخت در سطح یک حوضه آبریز جهت محاسبه شاخص JDI استفاده کرده اند. نتایج نشان داد شاخص JDI قابلیت نشان دادن خشکسالی های در حال ظهور و طولانی مدت را در سطح منطقه مورد مطالعه دارد. با توجه به تحقیقات گذشته تا کنون در سطح حوضه آبریز تأثیر تغییرات و نوسانات اقلیمی بر شدت و فراوانی شاخص خشکسالی کشاورزی انجام نگرفته است و وجه تمایز آن با تحقیقات دیگر نیز نحوه بررسی وضعیت خشکسالی کشاورزی در دوره های آتی است. در این تحقیق تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی را با استفاده شاخص خشکسالی RDI حوضه آبریز سد کارون ۳ در دوره های آتی مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار از داده های اقلیمی ۴ 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 بازه زمانی در دوره آتی (دوره های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ میلادی) شبیه سازی شد.

## مواد و روش ها

### محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه کارون ۳ می باشد. 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. این رودخانه از رشته کوه های زاگرس سرچشمه گرفته و در منطقه ای به نام گتوند، وارد دشت خوزستان می شود. متوسط آبدی دراز مدت سالیانه رودخانه کارون در محل احداث سد کارون ۳ حدود ۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه و

حجم آورد سالیانه آن بیش از ۱۰ میلیارد مترمکعب می‌باشد. 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. با توجه به محدوده حوضه کارون ۳ ایستگاه‌های سینوپتیک کوه‌رنگ-شهرکرد- بروجن ویاسوج-دوگنبدان و ایستگاه ایذه جهت این تحقیق انتخاب شد.



شکل ۱: حوضه سد کارون ۳

در این تحقیق از آمار و اطلاعات ۲۵ ساله (۲۰۱۵-۱۹۹۱) شش ایستگاه هواشناسی منتخب در استان‌های خوزستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد که در حوضه کارون ۳ واقع است استفاده شد. (جدول ۱) مشخصات ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. در میان ایستگاه‌های منتخب هواشناسی ایستگاه کوه‌رنگ با ارتفاع ۲۳۶۵ متر مرتفع‌ترین و ایستگاه دوگنبدان با ارتفاع ۷۲۶ متر کم‌ارتفاع‌ترین ایستگاه واقع در این حوضه می‌باشد. ایستگاه کوه‌رنگ با ۱۰۰۴/۸ میلی‌متر بیشترین و ایستگاه بروجن با ۲۱۰/۲ میلی‌متر کمترین بارش را در حوضه دارا می‌باشند. دوگنبدان با ۲۲/۹ و کوه‌رنگ با ۹/۷ درجه سانتیگراد گرمترین و سردترین ایستگاه‌های حوضه بوده و میانگین دمای حوضه نیز معادل ۱۵/۲۲ درجه سانتیگراد می‌باشد.

### شاخص خشکسالی احيایی (RDI)

شاخص RDI توسط ساکریس در سال ۲۰۰۴ ارائه گردید. چندی بعد اطلاعات جامع و بیشتری از این شاخص به همراه نحوه محاسبه آن، انتشار یافت. برای تعیین خشکسالی با استفاده از نمایه RDI نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر- تعرق مرجع ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر است. روش محاسبه بدین شرح است که ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال (i) دوره آماری مورد مطالعه، مقداری با عنوان  $a_0$  محاسبه می‌شود:

$$a_0^i = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در حوضه کارون ۳

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
۱	ایذه	۳۱ ۵۱	۴۹ ۵۲	۷۶۷
۲	بروجن	۳۱ ۵۹	۵۱ ۱۸	۲۲۶۰
۳	شهرکرد	۳۲ ۱۷	۵۰ ۵۱	۲۰۴۸
۴	کوهرنگ	۳۲ ۲۷	۵۰ ۰۸	۲۳۶۵
۵	دوگنبدان	۳۰ ۲۹	۵۰ ۴۹	۷۲۶
۶	ياسوج	۳۰ ۵۰	۵۱ ۴۱	۱۸۳۱

جدول ۲: میانگین بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در حوضه کارون ۳ دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۵

نام ایستگاه	میانگین دما دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۵	میانگین بارش دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۵
ایذه	۲۱/۱	۶۸۱/۶
بروجن	۱۱/۰	۲۱۰/۲
شهرکرد	۱۱/۴	۳۲۱/۵
کوهرنگ	۹/۷	۱۰۰۴/۸
دوگنبدان	۲۲/۹	۴۳۹/۵
ياسوج	۱۵/۲	۸۲۸/۵
حوضه کارون ۳	۱۵/۲۲	۴۵۷/۳

چنانچه بارندگی و تبخیر - تعرق بصورت سالانه محاسبه شوند، نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. محاسبه تبخیر - تعرق مرجع به روش فائو- پنمن مانیتث-تورنت وایت با استفاده از شاخص های آماری مورد نیاز در بسته نرم افزاری CropWater انجام شد. گام بعدی تعیین نمای‌های با عنوان RDI نرمال هر سال است که از فرمول زیر محاسبه شد:

$$RDI_n^i = \frac{a_0^i}{a_0} - 1 \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در این فرمول  $a_0$  میانگین حسابی اعداد  $a_0$  هر سال میباشد جهت محاسبه نمایه استاندارد شده RDI از مقادیر سالانه  $a_0$  لگاریتم گرفته که عددی با عنوان  $y_k$  بدست خواهد آمد سپس میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد را محاسبه و به ترتیب  $\bar{y}_k$  و  $\hat{\sigma}_{y_k}$  می‌نامیم. نهایتاً نمایه استاندارد شده RDI در هر سال به کمک فرمول زیر محاسبه شد.

$$RDI_s^i = \frac{y_k^i - \bar{y}_k}{\sigma_{y_k}} \quad \text{رابطه ۳:}$$

## جدول ۳: طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی براساس نمایه RDI

حدود RDI	اقلیم
+۲	بسیار مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم
-۰/۴۹ تا ۰/۴۹	نرمال
-۰/۹۹ تا -۰/۵	خشکی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشک متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خیلی خشک
-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 گردیده 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، خصوصیت اصلی این مدل‌ها در جامع نگاری 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 ریزمقیاس نمایی داده‌های هواشناسی خروجی 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 ریزمقیاس نمایی 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 دوره های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی می باشد ( Semenov and Stratonovitch, 2010). مراحل انجام تحقیق حاضر به ترتیب شامل موارد زیر 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 ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۵ 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. ۲- محاسبه شاخص RDI: بارش ماهانه به روش عکس فاصله وزندار با استفاده از داده‌های بارش روزانه محاسبه شد. سپس بارش مجموع ۱۲ ماه و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و ۱۲ ماهه محاسبه شد و شاخص RDI در دوره دیده بانی انجام گرفت. ۳- تولید سناریوهای اقلیمی ماهانه با استفاده از مدل‌های AOGCM: جدول ۴ خلاصه ویژگی‌های مهم ۴ 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. ۴- ریز مقیاس نمایی و اجرای مدل LARS-WG برای دوره های آتی با داده های هواشناسی زمینی دما و بارش روزانه: در مجموع ۴۰ زیرسناریوی متفاوت به نام سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای که در برگزیده 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 این پژوهش از خروجی سناریو A2 استفاده شد. 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 شاخص RDI در دوره های آتی: پس از اجرای مدل LARS-WG برای هر مدل AOGCM و هر سناریو میزان بارش ماهانه و تبخیر ماهانه محاسبه شد و به تبع آن میزان شاخص خشکسالی محاسبه شد. در واقع مراحل شماره ۲ که برای برای داده‌های دیده بانی انجام شده بود، در دوره‌های آتی (دو دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵) تکرار شد.



جدول ۴: مشخصات ۴ 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)

نام مدل	مخفف مدل	گروه مؤسس	قدرت تفکیک	سناریوهای انتشار	مرجع
HADCM3	HADCM3	UKMO(Uk)	2.5*3.75	A1B,A2,B1	Gordonet al ,2000
CGCM3T63	CGCM3	CCCMA(Canada)	0.9*1.4	A1B,A2,B1	G.j . Boer et al ,2001
CNRMCM3	CNCM3	CNRM(France)	1.9*1.9	A1B,A2,B1	Deque et al ,1994
GFDLCM2.0	GFCM2	NOAA/GFDL(USA)	2.0*2.5	A1B,A2,B1	GFDL-GAMDT, 2004

### نتایج و بحث

#### خشکسالی کشاورزی دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۱

نتایج فراوانی و میانگین شدت خشکسالی های کشاورزی ایستگاههای حوضه کارون ۳ در بازه سالانه طی دوره مشاهدهای ۱۹۹۱-۲۰۱۵ در (جدول ۵) آورده شده است. طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۵ میانگین شدت خشکسالیهای کشاورزی در بازه سالانه در حوضه کارون ۳ معادل ۱/۲۷- بوده است. بیشترین شدت خشکسالی در حوضه متعلق به ایستگاه یاسوج با شدت ۱/۶۱- و کمترین آن مربوط به ایستگاه بروجن با شدت ۱/۱- بوده است. طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۵ میانگین فراوانی خشکسالی های کشاورزی در بازه سالانه در حوضه معادل ۶/۵ دوره بوده است. همچنین ایستگاه بروجن با فراوانی هشت دوره خشکسالی بیشترین تعداد خشکسالی کشاورزی را طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۵ دارا بوده است و ایستگاه یاسوج با فراوانی پنج دوره کمترین تعداد وقوع خشکسالی کشاورزی را دارا بوده است.

#### جدول ۵: فراوانی و میانگین شدت خشکسالی های کشاورزی ایستگاههای حوضه کارون ۳ در بازه سالانه دوره ۲۰۱۵-

۱۹۹۱

مدل/ایستگاه	میانگین شدت خشکسالی	فراوانی خشکسالی
ایذه	-۱/۱۷	۶
شهرکرد	-۱/۲	۷
بروجن	-۱/۱	۸
کوهرنگ	-۱/۲۵	۷
دوگنبدان	-۱/۳۱	۶
یاسوج	-۱/۶۱	۵
میانگین حوضه کارون ۳	-۱/۲۷	۶/۵

#### بررسی ویژگی های خشکسالی (شدت و فراوانی) دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱

با توجه به نتایج بدست آمده از چهار مدل گردش عمومی جو طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میانگین شدت خشکسالیهای کشاورزی و میانگین فراوانی خشکسالی در بازه سالانه در ایستگاه های حوضه کارون ۳ محاسبه شد و با دوره مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده از ۴چهار مدل GFCM2-HADCM3-NCPCM3-CNCM3

طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میانگین شدت خشکسالی‌های کشاورزی در بازه سالانه محاسبه شده و با دوره مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفته است (جدول ۶).

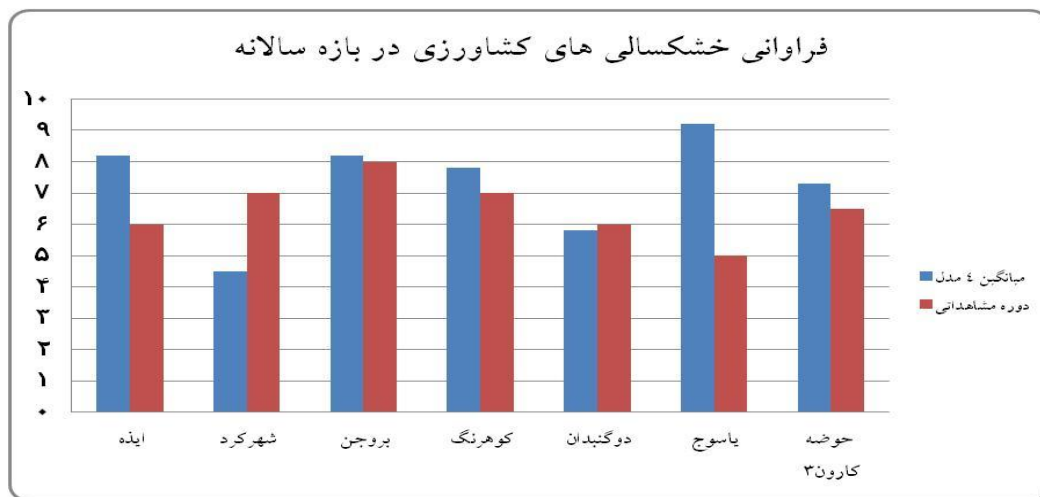
جدول ۶: مقایسه میانگین شدت خشکسالی‌های کشاورزی بازه سالانه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰

مدل/ایستگاه	CNCM 3	GFCM 2	HADCM 3	NCPCM 3	میانگین ۴ مدل	دوره مشاهداتی	درصد افزایش یا کاهش
ایذه	-۱/۱۶	-۱/۰۶	-۱/۱۸	-۱/۱۸	-۱/۱۵	-۱/۱۷	-۱/۷
شهرکرد	-۱/۰۷	-۱/۷۳	-۱/۷۳	-۱/۴۳	-۱/۴۹	-۱/۲	۲۴/۲
بروجن	-۱/۲۳	-۱/۲۳	-۱/۱۵	-۱/۲۳	-۱/۲۱	-۱/۱	۱۰
کوهرنگ	-۱/۲۵	-۱/۰۶	-۱/۲۴	-۱/۱۳	-۱/۱۷	-۱/۲۵	-۶/۳
دوگنبدان	-۱/۳۷	-۱/۵۵	-۱/۳۶	-۱/۳۶	-۱/۴۱	-۱/۳۱	۷/۶
ياسوج	-۱/۱۱	-۱/۱۱	-۱/۰۸	-۱/۱۱	-۱/۱	-۱/۶۱	-۴۶/۳
میانگین حوضه کارون ۳	-۱/۱۴	-۱/۱۶	-۱/۱۳	-۱/۱۱	-۱/۲۶	-۱/۲۷	-۰/۸

طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میانگین شدت خشکسالی‌های کشاورزی در بازه سالانه در حوضه کارون ۳ معادل ۱/۲۶- بوده است. بیشترین شدت خشکسالی طی این دوره متعلق به ایستگاه شهرکرد یاسوج با شدت ۱/۴۹- و کمترین آن مربوط به ایستگاه یاسوج با شدت ۱/۱- بوده است. همچنین در بررسی نتایج شدت خشکسالی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با دوره مشاهداتی بیانگر کاهش شدت خشکسالی‌ها در حوضه کارون ۳ به میزان ۰/۸- درصد خواهد بود و به عبارتی دیگر شدت خشکسالی‌های کشاورزی سالانه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ نسبت به دوره مشاهداتی ضعیف‌تر خواهد بود. با توجه به نتایج (جدول ۷) از چهار مدل GFCM-HADCM-NCPCM-CNCM طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ فراوانی خشکسالی‌های کشاورزی بازه سالانه محاسبه شده و با دوره مشاهده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میانگین فراوانی خشکسالی‌های کشاورزی در بازه سالانه در حوضه کارون ۳ معادل ۷/۳ بوده است. بیشترین فراوانی خشکسالی طی این دوره متعلق به ایستگاه شهرکرد یاسوج با ۹/۲ دوره و کمترین آن مربوط به ایستگاه شهرکرد با ۴/۵ دوره بوده است. همچنین بررسی نتایج فراوانی خشکسالی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با دوره مشاهداتی بیانگر افزایش فراوانی خشکسالی‌ها در حوضه کارون ۳ به میزان ۱۲/۳ درصد خواهد بود. به عبارتی دیگر فراوانی خشکسالی‌های کشاورزی طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره مشاهداتی بیشتر خواهد بود.

جدول ۷: فراوانی خشکسالی کشاورزی بازه سالانه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰

مدل ایستگاه	CNCM 3	GFCM 2	HADCM 3	NCPCM 3	میانگین ۴ مدل	دوره مشاهداتی	درصد افزایش یا کاهش
ایذه	۸	۹	۸	۸	۸/۲	۶	۳۶/۶
شهرکرد	۸	۳	۳	۴	۴/۵	۷	-۳۵/۴
بروجن	۸	۸	۹	۸	۸/۲	۸	۲/۶
کوهرنگ	۷	۹	۷	۸	۷/۸	۷	۱۱/۵
دوگنبدان	۶	۵	۶	۶	۵/۸	۶	-۳/۵
ياسوج	۹	۹	۱۰	۹	۹/۲	۵	۸۴
میانگین حوضه کارون	۷/۷	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۳	۶/۵	۱۲/۳



شکل ۲: نمودار مقایسه فراوانی خشکسالی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و دوره مشاهداتی

### بررسی ویژگی های خشکسالی (شدت و فراوانی) دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵

با توجه به نتایج (جدول ۸) از چهار مدل GFCM2-HADCM3-NCPCM3-CNCM3 طی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میانگین شدت خشکسالی های کشاورزی بازه سالانه محاسبه شد و با دوره مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت. طی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میانگین شدت خشکسالی های کشاورزی در بازه سالانه در حوضه کارون ۳ معادل ۱/۲۵- بوده است. بیشترین شدت خشکسالی طی این دوره متعلق به ایستگاه دوگنبدان با شدت ۱/۵۳- و کمترین آن مربوط به ایستگاه ایذه با شدت ۱/۰۶- بوده است. همچنین بررسی نتایج شدت خشکسالی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با دوره مشاهداتی بیانگر کاهش شدت خشکسالی ها در حوضه کارون ۳ به میزان ۱/۶- درصد خواهد بود. طی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میانگین فراوانی خشکسالی های کشاورزی در بازه سالانه در حوضه کارون ۳ معادل ۷/۱ بوده، بیشترین فراوانی خشکسالی طی این دوره متعلق به ایستگاه بروجن و یاسوج با ۸/۸ دوره و کمترین آن مربوط به ایستگاه شهرکرد با ۴/۸ دوره بوده است. همچنین بررسی نتایج فراوانی

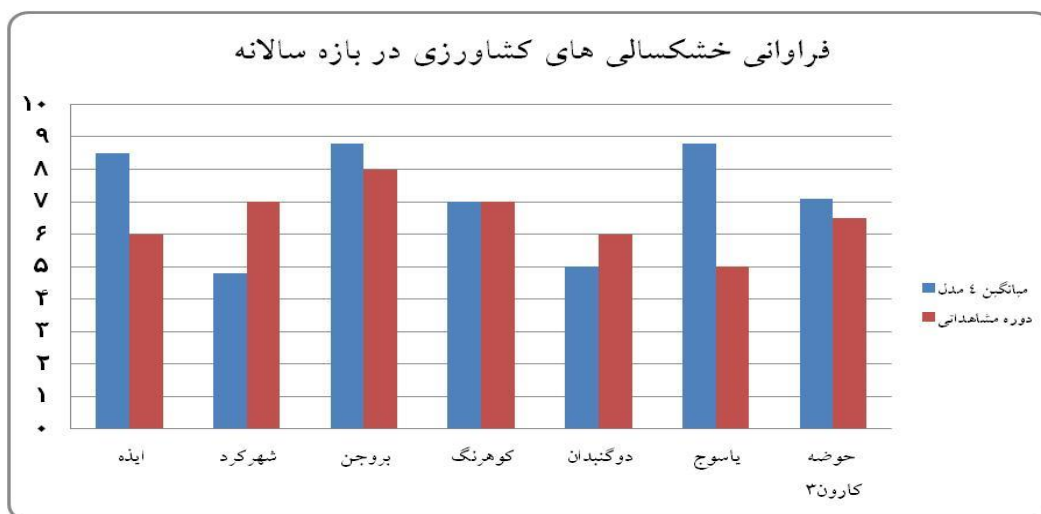
خشکسالی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با دوره مشاهداتی بیانگر افزایش فراوانی خشکسالی‌ها در حوضه کارون ۳ به میزان ۹/۲ درصد است.

جدول ۸: مقایسه میانگین شدت خشکسالی‌های کشاورزی بازه سالانه دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵.

مدل/ایستگاه	CNCM 3	GFCM 2	HADCM 3	NCPCM 3	میانگین ۴ مدل	دوره مشاهداتی	درصد افزایش یا کاهش
ایذه	-۰/۹	-۱/۰۴	-۱/۲۷	-۱/۰۶	-۱/۰۷	-۱/۱۷	-۸/۵
شهرکرد	-۱/۱	-۱/۲۸	-۱/۷۳	-۱/۴۴	-۱/۳۹	-۱/۲	۱۵/۸
بروجن	-۱/۱۱	-۱/۱۴	-۱/۱۲	-۱/۱۲	-۱/۱۳	-۱/۱	۲/۷
کوهرنگ	-۱/۳۵	-۱/۰۳	-۱/۳۶	-۱/۲۱	-۱/۲۴	-۱/۲۵	-۰/۸
دوگنبدان	-۱/۴۱	-۱/۶۹	-۱/۳۸	-۱/۶۲	-۱/۵۳	-۱/۳۱	۱۶/۷
یاسوج	-۱/۱۱	-۱/۱۶	-۱/۰۹	-۱/۱۲	-۱/۱۲	-۱/۶۱	-۴۳/۳
میانگین حوضه کارون	-۱/۱۶	-۱/۲۲	-۱/۳۳	-۱/۲۶	-۱/۲۵	-۱/۲۷	-۱/۶

جدول ۹: فراوانی خشکسالی کشاورزی بازه سالانه دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵

مدل/ایستگاه	CNCM 3	GFCM 2	HADCM 3	NCPCM 3	میانگین ۴ مدل	دوره مشاهداتی	درصد افزایش یا کاهش
ایذه	۹	۹	۷	۹	۸/۵	۶	۴۱/۶
شهرکرد	۷	۵	۳	۴	۴/۸	۷	-۳۱/۵
بروجن	۹	۸	۹	۹	۸/۸	۸	۱۰
کوهرنگ	۶	۹	۶	۷	۷	۷	۰
دوگنبدان	۶	۴	۶	۴	۵	۶	-۱۶/۵
یاسوج	۹	۸	۹	۹	۸/۸	۵	۷۶
میانگین حوضه کارون	۷/۷	۷/۲	۶/۷	۷	۷/۱	۶/۵	۹/۲



شکل ۳: نمودار مقایسه فراوانی خشکسالی در بازه سالانه دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و دوره مشاهداتی

## نتیجه گیری

تحلیل نتایج شدت خشکسالی کشاورزی درحوضه کارون ۳ طی دو دوره اقلیمی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ بیانگر کاهش این پارامتر خشکسالی نسبت به دوره مشاهداتی بوده است، این کاهش در دوره اقلیمی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ معادل ۰/۸- درصد و در دوره اقلیمی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ معادل ۱/۶- درصد نسبت به دوره مشاهداتی می باشد. تحلیل نتایج فراوانی خشکسالی کشاورزی درحوضه کارون ۳ طی دو دوره اقلیمی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ بیانگر افزایش فراوانی این پارامتر خشکسالی نسبت به دوره مشاهداتی بوده است این افزایش در دوره اقلیمی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ معادل ۱۲/۳ درصد و در دوره اقلیمی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ معادل ۹/۲ درصد نسبت به دوره مشاهداتی می باشد. بنابراین طی دوره های اقلیمی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ شدت خشکسالی های کشاورزی نسبت به دوره های مشاهداتی کاهش می یابد در حالیکه فراوانی خشکسالی های کشاورزی طی دوره های مذکور نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد یافت. با توجه به نتایج بدست آمده و افزایش فراوانی و شدت خشکسالی ها در دوره های آتی در بخش کشاورزی توصیه می شود در امر استفاده بهینه از منابع آب در حوضه سد کارون ۳ به ویژه در سال هایی که بارندگی ها با تأخیر نازل می شود دقت بیشتری گردد و نسبت به بررسی الگو یا الگوهای کشت جدید یا جایگزین در پایین دست سد تحقیقات بیشتری با هدف استفاده از محصولات با نیاز آبی کمتر صورت پذیرد.

## منابع

- آبابایی ب، میرزایی ف و سهرابی ت. (۱۳۹۰). برآورد استفاده از مدل LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی در ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۹(۵). صفحه ۲۱۷-۲۲۲.
- بابائیان. الف، ز. نجفی نیک، ف. زابل عباسی، م. حبیبی نوخندان، ح. ادب و ش. ملبوسی. (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه. ش ۱۶: ۱۳۵-۱۵۲.
- پور علی حسین، ش. و مساح بوانی ع. (۱۳۹۲). تحلیل مخاطره و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲. فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹. شماره ۲. صفحه ۱۹۱-۲۰۸.
- عبدالحسینی، م.، س. 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 مدنی س ف. م. موسوی و ح. انصاری. (۱۳۹۱). 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.، بهبهانی، م. و رحیمی خوب، ع. (۱۳۹۰). 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, A. G. Koutroulis and I. K. Tsanis. (2011).** Climate change impact on the hydrology of Spencer Creek watershed in Southern Ontario, Canada. Journal of Hydrology 409. pp:1-19.

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

**Mirabbasi, R., Emmanouil N. Anagnostou, Ahmad Fakheri-Fard, Yagob Dinpashoh and S. Eslamian. (2013).** Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index, Journal of Hydrology, 492, pp: 35-48.

**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 Elaine Barrow. (2002).** LARS-WG manual., A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies.
- Semenov, M. A. 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.
- Vrochidou, A.-E. K., I. K. Tsanis, M. G. Grillakis and A. G. Koutroulis . (2013).** The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale. *Journal of Hydrology* 476 , pp: 290–301.
- Zarghami M, Amin Abdi ,I. Babaeian, Y. Hassanzadeh. and R. Kanani. (2011).** Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan. *Global and Planetary Change*. 78: pp: 137-146.