

## تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم آتی (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک)

عطیه حسینی زاده<sup>۱\*</sup>، حسام سید کابلی<sup>۲</sup>، حیدر زارعی<sup>۳</sup> و علی محمد آخوند علی<sup>۴</sup>

<sup>۱\*</sup> - نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۲</sup> - استادیار گروه عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

<sup>۳</sup> - استادیار گروه هیدرولوژی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۴</sup> - استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۲۶

### چکیده

از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم می‌توان به تأثیر بر خشکسالی‌ها و منابع آب اشاره کرد. در این مقاله به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی دشت دزفول - اندیمشک با استفاده از شاخص بارش استاندارد پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا خروجی چهار مدل گردش عمومی جو تحت سناریوی انتشار A2 برای دوره‌ی ۲۰۸۴-۲۰۶۰، به کمک داده‌های روزانه بارش در دوره‌ی پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۵) برای دو ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه ریزمقیاس شدند. سپس با توجه به دوره رشد کشت غالب منطقه، شاخص استاندارد بارش شش ماهه در دوره‌ی پایه و همچنین در دوره‌ی آتی تحت هر چهار سناریوی اقلیمی به دست آورده شد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی در دوره‌ی آتی، تداوم خشکسالی‌های شدید و خشکسالی‌های ضعیف افزایش و تداوم خشکسالی‌های با شدت متوسط کاهش می‌یابد. بنابراین در طول دوره کشت محصول غالب، منطقه مواجه با خشکسالی‌های هواشناسی قابل توجهی در آینده خواهد بود که باید در برنامه‌ریزی‌ها مد نظر قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، دشت دزفول - اندیمشک.

## The Intensity and Return Period of Drought under Future Climate Change Scenarios In Dezful, Iran

A. Hoseinizade<sup>1\*</sup>, H. Seyed Kaboli<sup>2</sup>, H. Zarei<sup>3</sup> and A. M. AkhonAli<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> - M.Sc. Student of Water Resource Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

<sup>2</sup> - Assistant professor, Department of Civil Engineering, Jondishapur University of Dezful

<sup>3</sup> - Assistant professor, Department of Hydrology, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

<sup>4</sup> - Professor, Department of Hydrology, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

Received: 17 March 2014

Accepted: 17 September 2014

### Abstract

One of the most serious consequences of climate change is how it will affect droughts and water resources. This study aims at investigating the impact of climate change on droughts conditions in Dezful-Andimesh Plain using the Standard Precipitation Index (SPI). To achieve this objective, output of four general circulation models (GCMs) under the A2 scenario were downscaled for two climate stations in the period of 2060-2084 compared to the baseline period (1985-2009). Regarding the dominant crop grown in the study area, a 6-month SPI for the baseline and future periods were estimated under the four GCM-scenarios. Results revealed that there is an increase in the duration of severe and mild droughts while there is a decrease in the duration of moderate droughts. This implies that droughts will be a concern in the future during

the growing season (for the dominant crop) which should be considered in water resources management.

**Keywords:** Climate change, Drought, Standardized precipitation index, Dezful.

### مقدمه

تغییر اقلیم وجود دارد. آن‌ها در مطالعه خود به بررسی تاثیر این پدیده بر مسائل اجتماعی و اقتصادی جوامع شهری پرداختند. کیم (۲۰۱۳) به مرور خشکسالی‌های گذشته و موجود و سیاست آبی در استرالیا برای یافتن نقاط ضعف و قدرت این سیاست‌ها در مواجهه و سازگاری با تغییر اقلیم با توجه به احتمال افزایش شدت و فراوانی خشکسالی‌ها در آینده پرداخت. او برای بررسی خشکسالی و تغییر اقلیم در منطقه از مطالعات قبلی استفاده کرد. ویدال و وید<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۹) خشکسالی را با استفاده از شاخص بارش استاندارد، در بریتانیا تحت تاثیر تغییر اقلیم و تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 بررسی کردند، آن‌ها نشان دادند که در آینده تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید با تداوم کم، افزایش یافته و در مقابل تعداد خشکسالی‌های بلند مدت، کاهش می‌یابد. وروچیدو و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۳) نشان دادند که تحت سناریوی A2 تعداد وقایع خشکسالی در دوره آتی در حوضه‌ای در یونان بیش از ۹۸ درصد و تحت سناریوی B1 تعداد خشکسالی‌ها بیش از ۵۶ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین تداوم خشکسالی‌ها تحت دو سناریو بیش از ۳۳٪ افزایش می‌یابد. در اکثر تحقیقات صورت گرفته پیشین در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی از خروجی یک مدل گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر<sup>۱۲</sup> استفاده شده است.

این مدل‌ها دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند که توجه نکردن به آن‌ها می‌تواند سبب ایجاد خطا در پیش‌بینی و برنامه‌ریزی شود (آشفته و مساح بوانی، ۱۳۸۸). در این تحقیق با در نظر گرفتن چهار مدل گردش عمومی جو سعی شده تا حدودی به عدم قطعیت موجود توجه شود. همچنین به منظور بررسی اثر خشکسالی‌های هواشناسی بر روی تولیدات کشاورزی به‌خصوص کشت غالب منطقه (گندم)، طول مدت زمان کشت یا آبیاری محصولات در این ناحیه به عنوان مبنایی برای بررسی شاخص بارش استاندارد در نظر گرفته شد. لذا با توجه به دوره رشد کشت غالب در منطقه (گندم) که شش الی هفت ماه می‌باشد، مقادیر شاخص بارش استاندارد شش ماهه منتهی به ماه می (ماه برداشت محصول) برآورد و سپس با انجام تحلیل فراوانی بر تداوم‌های هر یک از شدت‌های خشکسالی در گذشته و آینده، تحلیلی از اثر تغییر اقلیم آتی بر تغییر شدت و تداوم خشکسالی‌ها ارائه شده است.

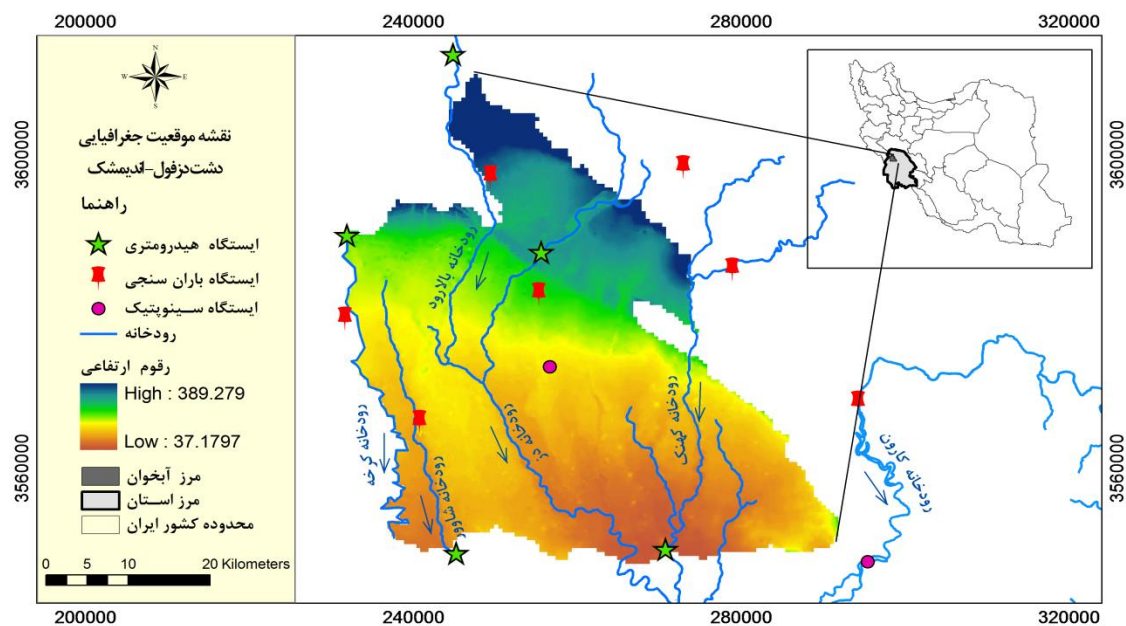
با افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های موجود در قرن اخیر، پدیده تغییر اقلیم است (ون پلت و اسوارت<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). گزارش‌های هیئت بین دولتی تغییر اقلیم<sup>۲</sup> نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی تولید گازهای گلخانه‌ای به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت این گازها تا قبل از پایان قرن ۲۱ می‌تواند به بیش از ۶۰۰ واحد در میلیون برسد (بی‌نام، ۲۰۰۷). حال آنکه اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، تحت چهار سناریوی جدید افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای<sup>۳</sup> ارائه شده در گزارش پنجم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم، دمای سطحی کره‌ی زمین تا اواخر قرن ۲۱ بیش از ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ میلادی افزایش می‌یابد که این افزایش دما در سال‌ها و دهه‌های مختلف، یکسان نیست (بی‌نام، ۲۰۱۳). تبعات منفی پدیده تغییر اقلیم تا آنجاست که در بین ده عامل تهدید آمیز بشر در قرن ۲۱، مانند فقر، سلاح‌های هسته‌ای، کمبود غذا و ... پدیده تغییر اقلیم مقام اول را دارد (کمال و مساح بوانی، ۱۳۸۹). پدیده‌های حدی مانند سیل و خشکسالی بیش از سایر پدیده‌ها تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند (کوایلر<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱). از این رو بررسی این پدیده‌ها برای مقابله، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در دوره‌های آتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر خلاف تحقیقات بی‌شماری که بر تاثیر تغییر اقلیم روی رواناب و سیل انجام گرفته است (چانزینگ و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۳؛ کلودیا و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۳؛ کوبریسکا و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۳)، در زمینه خشکسالی مطالعات به مراتب کمتری انجام شده است. گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) در مطالعه خود برحوضه قره سو نشان دادند که در دوره‌ی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ تحت مدل HadCm3- A2 شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. آن‌ها در تحقیق خود از شدت خشکسالی تجمعی وزنی سالانه، برای رسم منحنی شدت خشکسالی - مقیاس زمانی شاخص بارش استاندارد<sup>۸</sup> دوره بازگشت استفاده کردند. کیم و آستین<sup>۹</sup> (۲۰۱۳) نشان دادند که احتمال افزایش شدت، فراوانی و تداوم خشکسالی‌ها در منطقه ویکتوریا در استرالیا در دوره آتی تحت تاثیر

- 1 - Van Pelt and Swart
- 2 - Intergovernmental Panel on Climate Change
- 3 - Representative Concentration Pathways
- 4 - Quevauviller
- 5 - Changxing *et al.*
- 6 - Claudia *et al.*
- 7 - Kobierska *et al.*
- 8 - Standard Precipitation Index
- 9 - Kiem and Austin

10 - Vidal and Wade

11 - Vrochidou *et al.*

12- Atmosphere- Ocean General Circulation Model



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت دزفول - اندیمشک

جدول ۱- طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس مقدار شاخص بارش استاندارد (ورگنیل و تودیسکو، ۲۰۱۱)

مقدار شاخص بارش استاندارد	طبقه خشکسالی
$\geq 2$	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ - ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ - ۱/۴۹	ترسالی متوسط
-۰/۹۹ تا +۰/۹۹	وضعیت نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
$\leq -2$	خشکسالی بسیار شدید

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

است. با توجه به خشکسالی‌های اخیر در منطقه و تداوم آن‌ها و همچنین تاثیر آن بر کشاورزی و منابع آب، در این تحقیق به بررسی وضعیت خشکسالی در آینده پرداخته شد.

ابتدا داده‌های مربوط به دما و بارش هشت ایستگاه موجود در دشت و اطراف آن جمع‌آوری شدند (شکل ۱). برای اطمینان از صحت داده‌ها در ایستگاه سد تنظیمی دز که بیش‌ترین و کامل‌ترین دوره آماری را دارد، از آزمون همگنی من ویتنی<sup>۱</sup> و همچنین آزمون تصادفی بودن<sup>۲</sup> داده‌ها که شرح آن‌ها در (مک کوئین<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳) آمده، استفاده شد. سپس به بررسی رابطه بین داده‌های این ایستگاه با ایستگاه‌های دیگر پرداخته شد. با در نظر گرفتن ناقص بودن داده‌ها در اکثر ایستگاه‌ها، با توجه به این مسئله که شب دشت بسیار کم می‌باشد و همچنین با توجه به همبستگی بالای بین داده‌های بارش

دشت دزفول- اندیمشک یکی از بزرگ‌ترین دشت‌های استان خوزستان و از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی این استان می‌باشد (شکل ۱). این دشت که در شمال استان خوزستان واقع است، با داشتن بزرگ‌ترین و اولین شبکه آبیاری کشور (شبکه آبیاری دز) نقش مهمی در کشاورزی استان دارد. وسعت دشت ۲۰۷۳ کیلومتر مربع می‌باشد و ارتفاع آن حداقل ۳۷ و حداکثر ۳۸۹ متر می‌باشد. به جز بخش‌های شهری شامل شهرهای دزفول، اندیمشک و شوش در سایر بخش‌های دشت کشاورزی صورت می‌گیرد. دو رودخانه‌ی بزرگ دز و کرخه و همچنین رودخانه‌های کهنک، شور، شاور و رودخانه فصلی بالارود در منطقه جریان دارند. از این حیث این منطقه از لحاظ منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و بررسی وضعیت آن در آینده تحت تاثیر تغییر اقلیم و مدیریت صحیح منابع آب آن بسیار حیاتی می‌باشد. با این وجود تاکنون تحقیقی بر اثر تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرزمینی این دشت انجام نگرفته

1 - Mannwhitney U Test

2 - Run Test

3 - Maccuen

برای این کار از تابع توزیع احتمال تجمعی ویبول استفاده شد. شرح کامل تحلیل فراوانی و برآورد دوره بازگشت تداوم خشکسالی در (بذرافشان و همکاران، ۱۳۸۸) موجود می‌باشد.

#### سناریوهای تغییر اقلیم

معتبرترین ابزار برای بررسی تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر می‌باشند (شاه کرمی و همکاران، ۱۳۸۷). همان‌طور که قبلاً ذکر شد در این تحقیق با در نظر گرفتن چهار مدل گردش عمومی جو سعی شد تا حدودی به عدم قطعیت این مدل‌ها توجه شود. در جدول (۲) مشخصات کلی این چهار مدل آورده شده است. خروجی این مدل‌ها تحت سناریوی A2 از مجموعه سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده توسط هیئت بین دولتی تغییر اقلیم به‌دست آمده است (بی‌نام، ۲۰۰۷). خروجی مدل‌های گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر دارای مقیاس مکانی بزرگ (۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر) می‌باشند (آشفته و مساح بوانی، ۱۳۸۹)، که قابل کاربرد در مطالعات بررسی اثر تغییر اقلیم نخواهند بود. کوچک مقیاس سازی به یافتن رابطه بین خروجی مدل‌های گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر و داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های هواشناسی می‌پردازد (گرین و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۱). برای این کار روش‌های متعددی وجود دارد که دو روش رایج دینامیکی و آماری در (ایرتز و دروگرز<sup>۶</sup>، ۲۰۰۴؛ گرین و همکاران، ۲۰۱۱) به تفصیل شرح داده شده است.

در این مقاله خروجی چهار مدل گردش عمومی جو تحت سناریوی A2 با استفاده از داده‌های روزانه بارش و دمای مشاهده‌ای در دوره‌ی پایه در دو ایستگاه موجود در منطقه و به کمک مدل مولد داده لارس<sup>۷</sup> ریزمقیاس شدند. این مدل از نوع مولدهای آب و هوایی می‌باشد که در طبقه روش‌های آماری قرار می‌گیرد. سپس برای هر یک از چهار سناریوی تغییر اقلیم بارش، مقادیر شاخص بارش استاندارد شش ماهه در دوره‌ی آتی محاسبه شد.

#### نتایج و بحث

روند داده‌های بارش و دما در دوره‌ی پایه به‌دست آمده با استفاده از آزمون من-کندال<sup>۸</sup> در شکل (۲) نشان داده شده است. چگونگی انجام این آزمون و تحلیل کامل آن در (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷؛ مک کوئین، ۲۰۰۳) توضیح داده شده است. منحنی U نسبت به سال رسم شده و منحنی U' پس از مرتب کردن نزولی سال‌های آماری رسم می‌شود. اگر روند معنی‌دار در داده‌ها وجود داشته باشد این دو منحنی یکدیگر را قطع می‌کنند. اگر این خطوط همدیگر را در داخل محدوده بحرانی (±۱/۹۶) قطع کنند نشانه

ایستگاه سد تنظیمی دز و سایر ایستگاه‌ها، داده‌های این ایستگاه به عنوان میانگینی از دشت در نظر گرفته شد و برای بالا بردن دقت، ایستگاه گنوند نیز که همبستگی کمتری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها دارد ( $R^2=0.75$ ) برای بررسی در نظر گرفته شد. دوره‌ی پایه با توجه به داده‌های موجود، سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۹ میلادی انتخاب شد.

#### تعیین شدت و دوره بازگشت خشکسالی

برای بررسی وضعیت خشکسالی، شاخص‌های متعددی وجود دارد. ادوارد و مکی در سال ۱۹۹۳ از مرکز اقلیمی کلرادو و مرکز ملی کاهش خشکسالی ایالات متحده آمریکا به منظور تعریف و پایش وضعیت خشکسالی، از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند. این شاخص به دلیل تغییر پذیری هم در مقیاس‌های کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و هم در مقیاس‌های بلند مدت برای بررسی عناصر هیدرولوژی مناسب می‌باشد (معافی مدنی و همکاران، ۱۳۹۱). به همین دلیل و همچنین به دلیل اینکه در محاسبه آن تنها به داده‌های بارش نیاز است که دسترسی به آن آسان می‌باشد، شاخص بارش استاندارد نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی ترجیح داده می‌شود (کوکامو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). در این تحقیق برای مشخص شدن دمای منطقه در آینده علاوه بر بررسی بارش و شاخص خشکسالی به بررسی پارامتر دما نیز پرداخته شد. شاخص بارش استاندارد بر اساس برازش دادن یک توزیع احتمال مناسب بر داده‌های بارش و انتقال آن به توزیع نرمال استاندارد به‌دست می‌آید (داگینز و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰). مک کی و همکاران (۱۹۹۳) نشان دادند که توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع برای برازش بر داده‌های بارندگی می‌باشد (عیوضی و همکاران، ۱۳۸۸). مراحل محاسبه شاخص بارش استاندارد به‌طور کامل در (عیوضی و همکاران، ۱۳۸۸) شرح داده شده است. پس از محاسبه این شاخص، می‌توان به کمک جدول (۱) به تحلیل وضعیت خشکسالی پرداخت.

در این تحقیق ابتدا با استفاده از داده‌های بارش ماهیانه ایستگاه‌های سد تنظیمی دز و گنوند به محاسبه شاخص بارش استاندارد شش ماهه پرداخته شد. دوره‌ی شش ماهه برای محاسبه شاخص بارش استاندارد از این جهت انتخاب شد که در منطقه مورد مطالعه تقریباً به طور کامل کشاورزی انجام می‌شود، دوره‌ی رشد کشت غالب (گندم) از شش تا هفت ماه می‌باشد و بررسی خشکسالی در دوره‌ی کشت از اهمیت بیشتری برخوردار است (ورگنی و تودیسکو<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱). در این مقاله برای محاسبه این شاخص از نرم‌افزار دیپ<sup>۴</sup> استفاده شد. پس از محاسبه شاخص‌های بارش استاندارد برای تعیین دوره‌های بازگشت خشکسالی، برای هر یک از سری‌های مقادیر آستانه شاخص بارش استاندارد که نمایانگر شدت‌های مختلف خشکسالی هستند، تحلیل فراوانی صورت گرفت.

5 - Green *et al.*  
6 - Aerts and Droogers  
7 - LARS-WG  
8-mann-kendal

1 - Caccamo *et al.*  
2 - Duggins *et al.*  
3 - Vergni and Todisco  
4 -DIP

از سال ۱۹۹۵-۱۹۹۴ به بعد در هر دو ایستگاه روند مثبت در سری داده‌های دما وجود دارد، که خود می‌تواند به دلیل گرمایش زمین و بیانگر وقوع تغییر اقلیم در منطقه باشد.

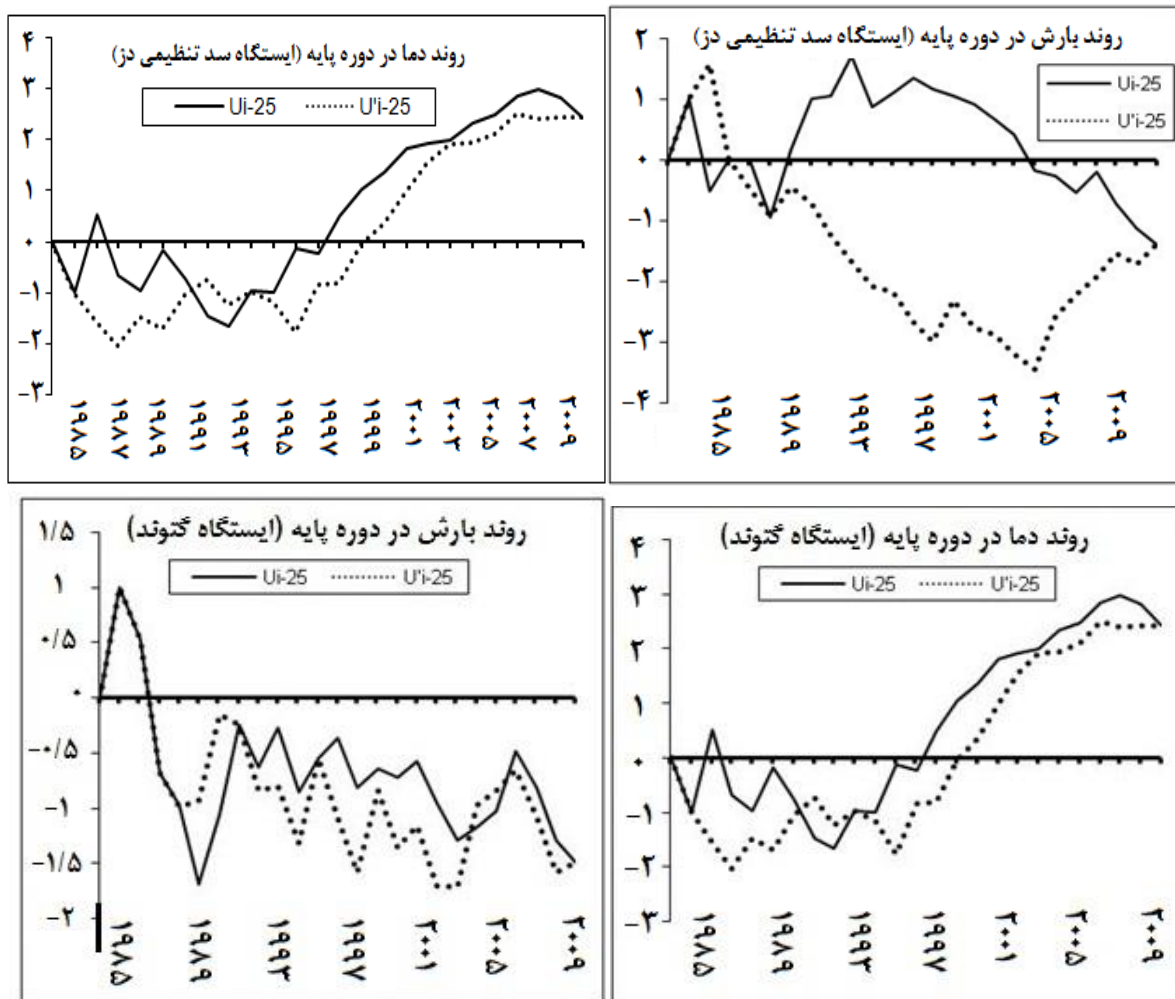
پس از کوچک مقیاس کردن مدل‌های گردش عمومی جو و مقایسه پارامترهای بارش و دما در آینده بادوره‌ی پایه مشخص شد که دما در هر دو ایستگاه تحت تمام مدل‌ها بین دو تا شش درجه سانتی‌گراد در دوره‌ی آتی ۲۰۸۴-۲۰۶۰ افزایش می‌یابد. شکل (۳) تغییرات دما و بارش را در ماه‌های مختلف سال نسبت به دوره‌ی پایه نشان می‌دهد.

زمان تغییر ناگهانی در داده‌ها است ولی اگر نقطه تقاطع در خارج این محدوده باشد، بیانگر وجود روند در سری زمانی داده‌ها است (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷).

شکل (۲) نشان می‌دهد که داده‌های بارش در ایستگاه سد تنظیمی دز در سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۹۰ دارای دو نقطه جهش ناگهانی با حاکمیت روند مثبت بوده‌اند. در ایستگاه گتوند سه نقطه جهش ناگهانی در سال‌های ۱۹۹۲ با حاکمیت روند منفی بارش و ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ با حاکمیت روند مثبت وجود دارد. در مورد داده‌های دما می‌توان گفت که در ایستگاه سد تنظیمی در سال ۱۹۸۷ و در ایستگاه گتوند در سال ۱۹۹۱ روند منفی دما رخ داده است. همچنین

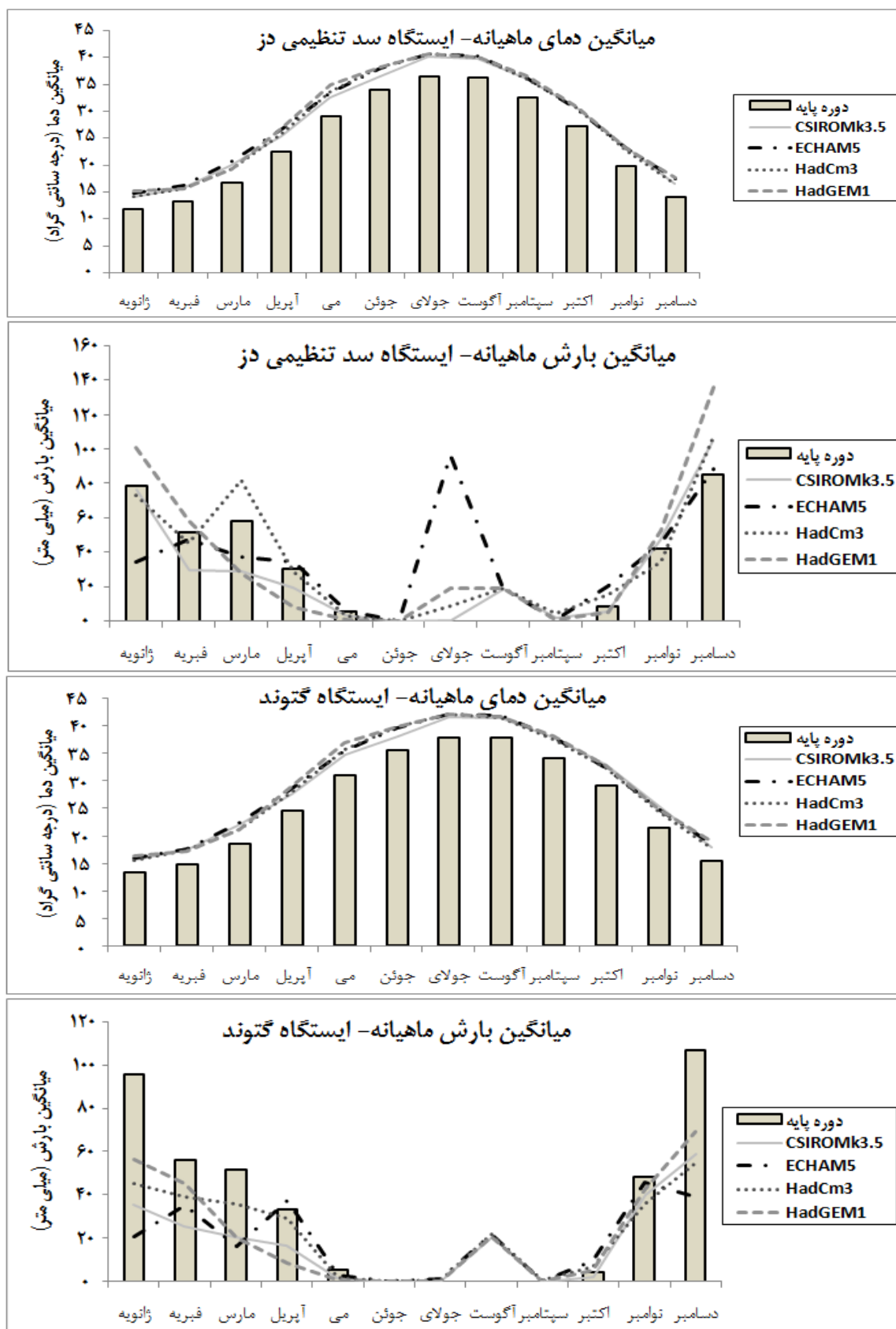
جدول ۲- مشخصات مدل‌های گردش عمومی اقیانوس- اتمسفر

مرجع	سامان دهنده	دقت مکانی	سناریوی انتشار	نام مدل
بی‌نام، ۲۰۰۷	انگلستان	2.5°×3.75°	A2	HadCm3
بی‌نام، ۲۰۰۷	انگلستان	1.25°×1.875°	A2	HadGEM1
بی‌نام، ۲۰۰۷	آلمان	1.8°×1.8°	A2	ECHAM5
بی‌نام، ۲۰۰۷	استرالیا	1.9°×1.9°	A2	CSIRO-MK3.5



شکل ۲- نمودار آماره‌های آزمون روند من کندال مربوط به داده‌های بارش و دما

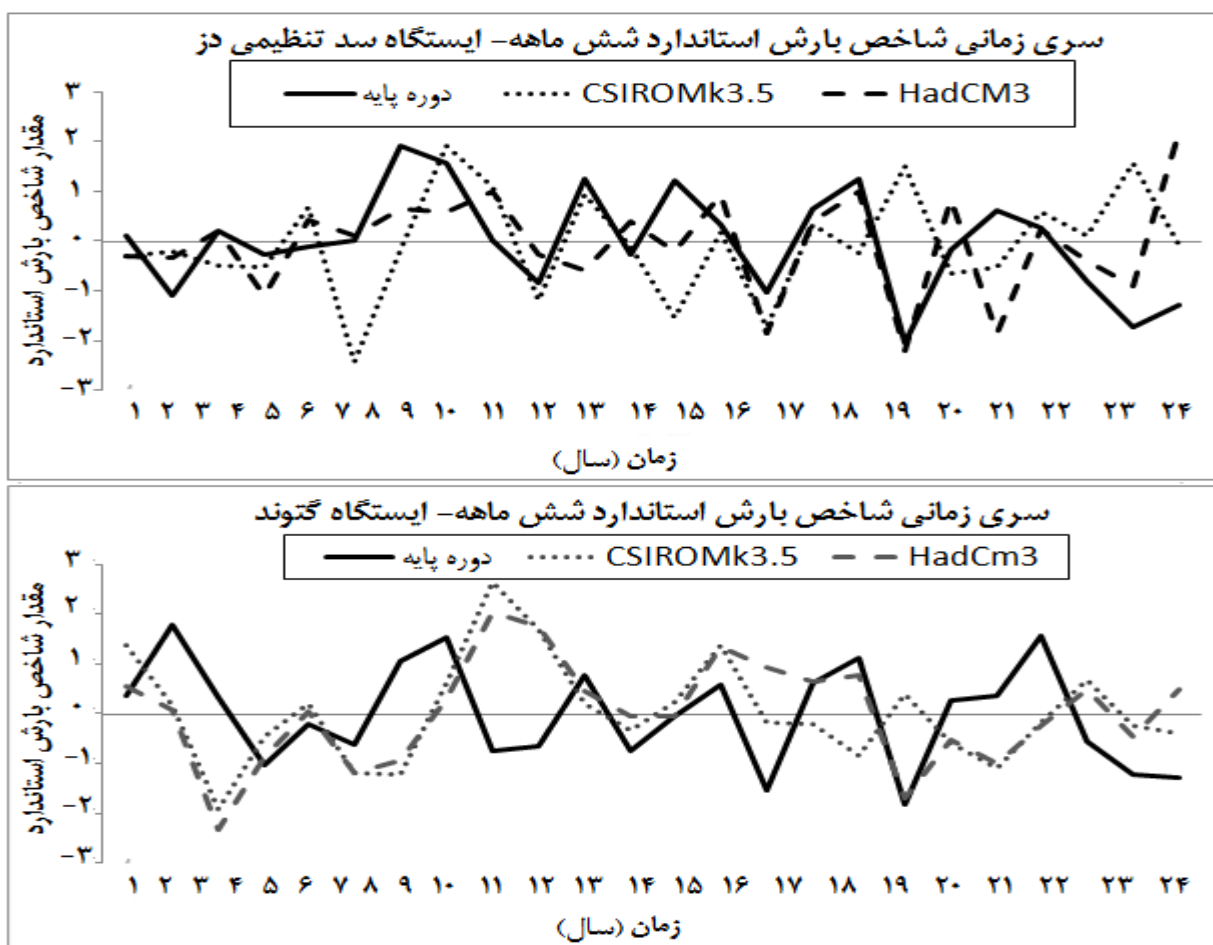
حسینی زاده و همکاران: تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در...



شکل ۳- مقایسه مقدار بارش و دمای متوسط دراز مدت ماهیانه در دوره پایه و دوره آتی

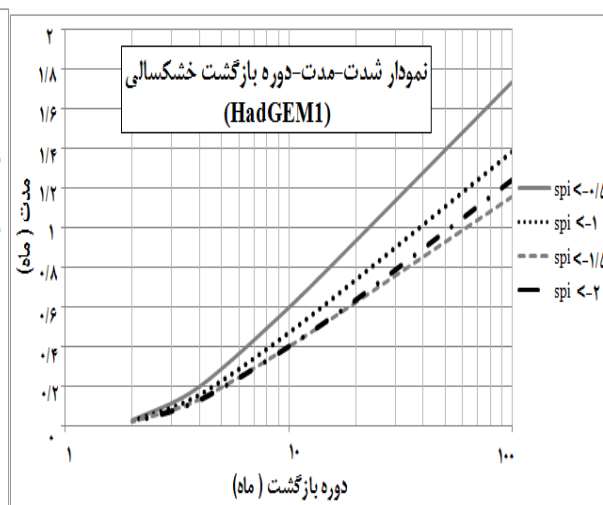
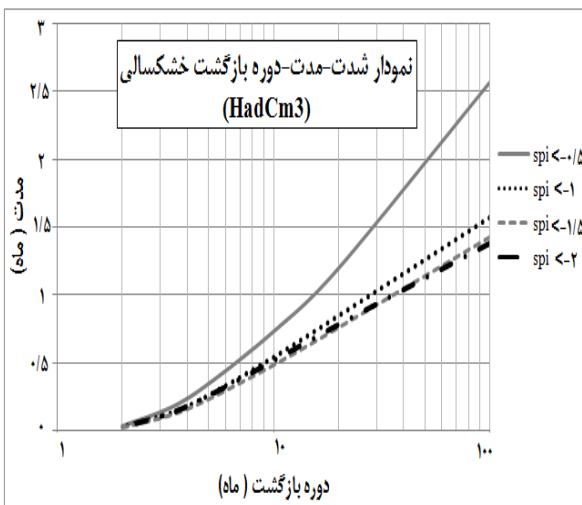
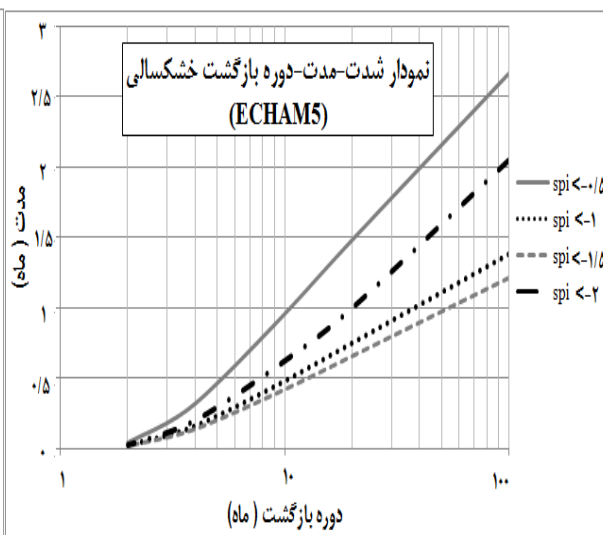
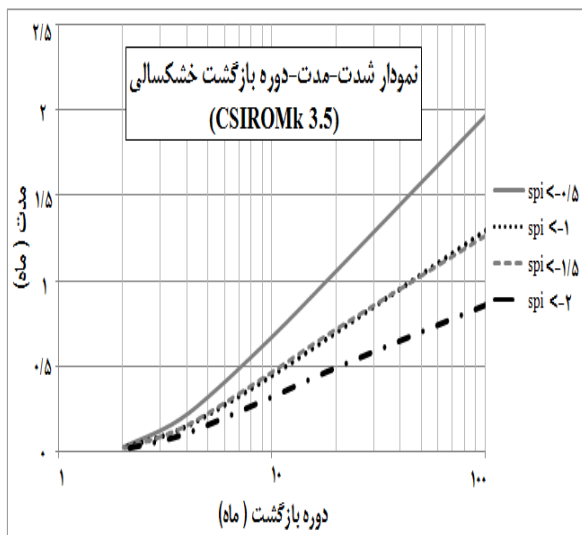
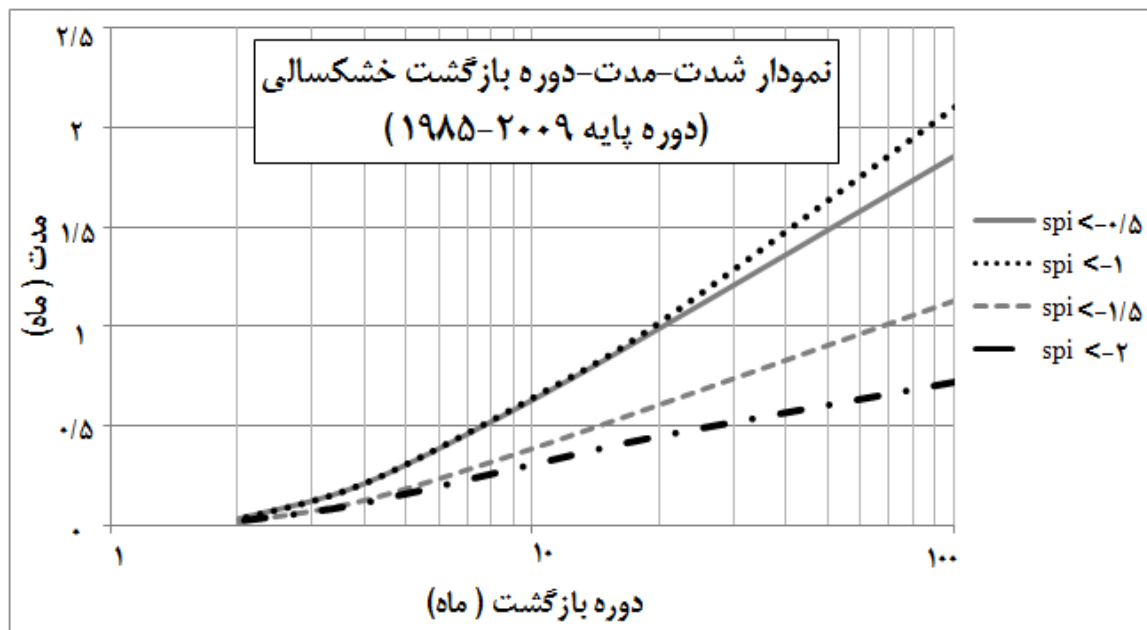
شاخص منتهی به ماه می (ماه برداشت محصول) برای دوره پایه و دوره آتی تحت دو مدل اقلیمی در شکل (۴) رسم گردید. شاخص بارش استاندارد شش ماهه منتهی به ماه می از این جهت انتخاب شد چون نشانگر خشکسالی شش ماهه در طول دوره رشد گندم (کشت غالب منطقه) می‌باشد. همانطور که در شکل (۴) پیداست در هر دو ایستگاه تغییر مشخصی در سری زمانی شاخص خشکسالی در آینده نسبت به دوره پایه دیده نمی‌شود و نوسانات زیادی وجود دارد، اما می‌توان به ایجاد شاخص‌های بارش استاندارد بیش از +۲ و کمتر از -۲ در آینده اشاره کرد. که نمایانگر رخداد حالت‌های حدی خشکسالی و ترسالی‌های شدید در آینده می‌باشد. پس از محاسبه شاخص بارش استاندارد در هر دو ایستگاه برای شدت‌های مختلف خشکسالی، تحلیل فراوانی داده‌ها انجام گرفت. تداوم خشکسالی مربوط به چهار آستانه شاخص بارش استاندارد در دوره بازگشت‌های مختلف به دست آمد و نمودارهای شدت - تداوم - دوره بازگشت خشکسالی برای دو ایستگاه گتوند و سد تنظیمی دز رسم شد (شکل ۵ و ۶).

شکل (۳) نشان می‌دهد که دما الگوی نسبتاً یکسانی در هر دو ایستگاه دارد، بیشترین افزایش دما در ماه می (اردیبهشت - خرداد) که ماه برداشت محصول در منطقه است، مشاهده می‌شود. این مسئله می‌تواند بر کشاورزی و برداشت محصول در آینده تأثیر بگذارد که باید مورد توجه کشاورزان قرار گیرد و در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و آبیاری و حتی شاید در تغییر الگوی کشت منطقه مؤثر می‌باشد. در مورد بارش بین نتایج دو ایستگاه اختلاف وجود دارد که این تفاوت می‌تواند ناشی از اختلاف ارتفاع ایستگاه گتوند و ایستگاه سد تنظیمی باشد. در ایستگاه گتوند تحت تمام سناریوهای اقلیمی در تمام ماه‌های سال کاهش بارندگی مشاهده شده اما در ماه آگوست افزایش چشمگیر بارندگی دیده می‌شود. در ایستگاه سد تنظیمی در ماه‌های جولای، آگوست، نوامبر و دسامبر تحت تمام سناریوهای اقلیمی افزایش و در ماه آوریل و می کاهش بارش مشاهده می‌شود. در ماه‌های دیگر طیف وسیع‌تری از تغییرات وجود دارد و مدل‌های مختلف نتایج متفاوتی نشان می‌دهند. با توجه به آنچه شرح داده شد، شاخص بارش استاندارد شش ماهه برای دوره پایه و دوره آتی محاسبه شد. سری زمانی این



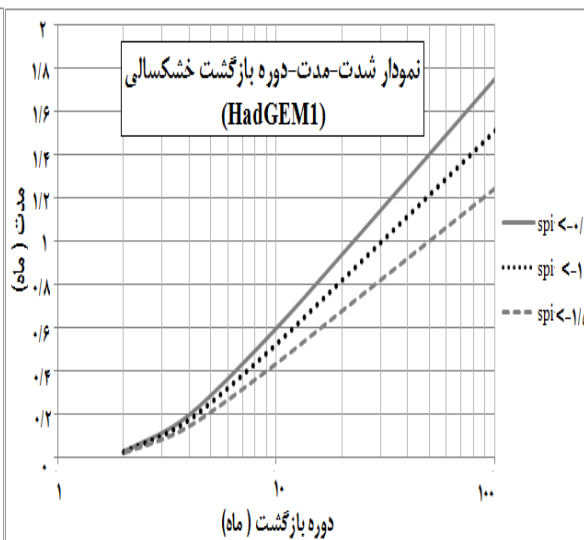
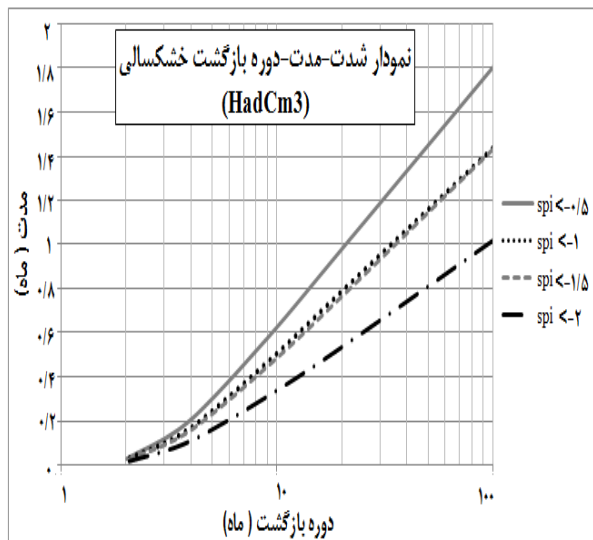
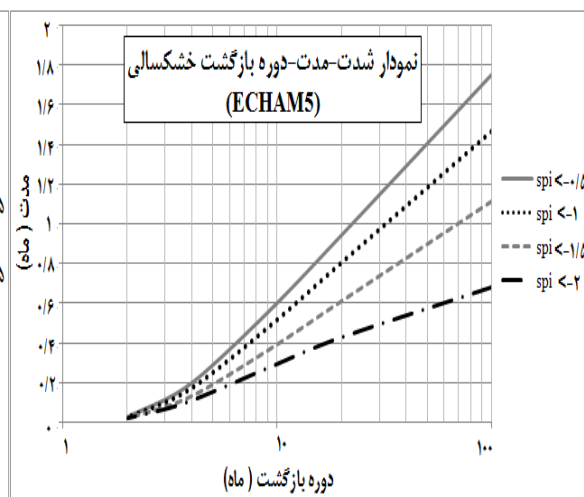
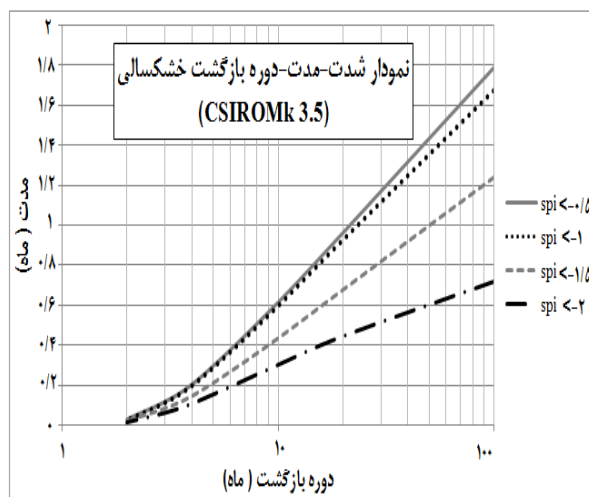
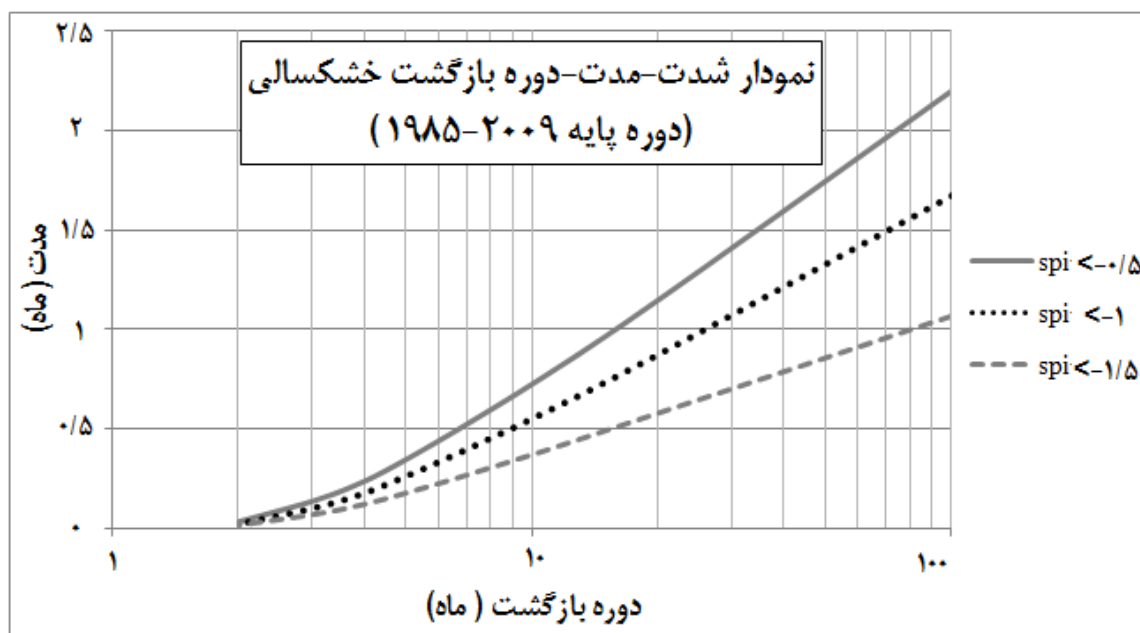
شکل ۴- سری زمانی شاخص بارش استاندارد شش ماهه منتهی به ماه می در دوره پایه و دوره آتی

حسینی زاده و همکاران: تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در...



شکل ۵- نمودارهای دوره بازگشت- تداوم خشکسالی برای شدت‌های مختلف خشکسالی با توجه به شاخص بارش استاندارد در ایستگاه سد تنظیمی دز





۶- نمودارهای دوره بازگشت- تداوم خشکسالی برای شدت‌های مختلف خشکسالی با توجه به شاخص بارش استاندارد در ایستگاه گتوند

## حسینی زاده و همکاران: تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در...

نتایج، تداوم خشکسالی‌ها در تمام شدت‌ها در آینده نسبت به دوره‌ی پایه تحت تاثیر تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت. در این مقاله بر خلاف مطالعات قبلی با بررسی خروجی چهار مدل گردش عمومی جو تحت سناریوی انتشار A2 به عدم قطعیت موجود در این مدل‌ها توجه شد. همچنین سعی بر آن بود که با در نظر گرفتن شاخص بارش استاندارد در دوره رشد کشت غالب در منطقه مورد مطالعه، به مقوله کشاورزی و تاثیر خشکسالی هواشناسی بر محصولات کشاورزی توجه بیشتری شود. این مسئله با توجه به درصد بالای کشاورزی در دشت دزفول- اندیمشک و نقش مهم این دشت در کشاورزی استان خوزستان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هرچند که لازم است به بررسی مدل‌های گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر بیشتر و سناریوهای انتشار مختلف برای کاهش هرچه بیشتر عدم قطعیت پرداخت. همچنین پیشنهاد می‌شود برای بررسی دقیق‌تر خشکسالی با رویکرد کشاورزی در منطقه در دوره‌های آتی از شاخص‌های خشکسالی کشاورزی استفاده شود.

همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است در ایستگاه سد تنظیمی دز در دوره‌ی پایه، خشکسالی‌های متوسط با شاخص بارش استاندارد کمتر از ۱- تداوم بیشتری نسبت به سایر خشکسالی‌ها دارند و خشکسالی‌های بسیار شدید کمترین تداوم را دارند. با افزایش دوره بازگشت و کاهش احتمال وقوع، تداوم خشکسالی‌ها در تمام شدت‌ها افزایش می‌یابد. در دوره‌ی آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم با توجه به هر چهار مدل گردش عمومی اقیانوس-اتمسفر تداوم خشکسالی‌های متوسط کاهش یافته و در عوض خشکسالی‌های بسیار شدید و بسیار خفیف تداوم بیشتری می‌یابند. در دوره بازگشت‌های بالاتر خشکسالی‌های ضعیف با تداوم بسیار بیشتری نسبت به سایر انواع خشکسالی‌ها مشاهده می‌شود. در شکل (۶) مربوط به ایستگاه گنوند در دوره‌ی پایه، خشکسالی بسیار شدید با شاخص بیش از ۲- دیده نمی‌شود اما در دوره‌ی آتی تحت سه مدل گردش عمومی جو خشکسالی بسیار شدید دیده می‌شود، هرچند تداوم آن بسیار کم می‌باشد. تداوم خشکسالی‌ها با کاهش شدت خشکسالی و با افزایش دوره بازگشت، افزایش می‌یابد. با توجه به

## منابع

- ۱- آشفته، پ. و ع. مساح بوانی. ۱۳۸۸. تاثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی. نشریه دانش آب و خاک، ۱۹ (۲): ۸۵-۹۸.
- ۲- آشفته، پ. و ع. مساح بوانی. ۱۳۸۹. تاثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر: مطالعه موردی، حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۵۳: ۳۹-۲۵.
- ۳- بذرافشان، ج.، هورفر، ع.، خلیلی، ع.، ترابی، ص. و س. حجام. ۱۳۸۸. ارزیابی کارایی روش‌های گوناگون برآورد دوره‌ی بازگشت تداوم خشکسالی در شرایط استقلال و وابستگی زمانی داده‌های بارندگی. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۸ (۳): ۱۰-۱.
- ۴- شاه کرمی، ن.، مرید، س.، مساح بوانی، ع. و ه. فهیمی. ۱۳۸۷. تاثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM بر ریسک تغییر در نیاز آبی محصولات کشاورزی در اثر تغییر اقلیم در زاینده رود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲: ۱۰-۱.
- ۵- عزیزی، ق. و م. روشنی. ۱۳۸۷. مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من کندال. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۴: ۲۸-۱۳.
- ۶- عیوضی، م.، مساعدی، ا. و ا. دهقانی. ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های مختلف پیش‌بینی شاخص خشکسالی SPI. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۶ (۲): ۱۶۷-۱۴۵.
- ۷- کمال، ع. و ع. مساح بوانی. ۱۳۸۹. تاثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی. نشریه آب و خاک، ۵: ۹۳۱-۹۲۰.
- ۸- گل محمدی، م. و ع. مساح بوانی. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک، ۲۵ (۲): ۳۲۶-۳۱۵.
- ۹- معافی مدنی، س. ف.، موسوی بایگی، م. و ح. انصاری. ۱۳۹۱. پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از ریزمقیاس نمای آماری خروجی مدل LARS-WG. نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳: ۳۷-۲۱.

- 11-Anonymous. 2007. Climate change 2007: The physical science basis-summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Intergovernmental Panel of Climate Change, Geneva.
- 12-Anonymous. 2013. Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The physical science basis-summary for policymakers. Intergovernmental Panel of Climate Change, Stockholm.
- 13-Caccamo, G., Chisholm, L. A., Bradstock, R. A. and M. L. Puotinen. 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 115:2626-2639.
- 14-Changxing, S., Yuanyuan, Z., Xiaoli, F. and S. Wenwei. 2013. A study on the annual runoff change and its relationship with water and soil conservation practices and climate change in the middle Yellow river basin. *CATENA*, 100:31-41.
- 15-Claudia, A., Braga, M., Silva, R. M. D., Santos, C. A. G., Galvao, C. D. O. and P. Nobre. 2013. Downscaling of a global climate model for estimation of runoff, sediment yield and dam storage: a case study of Pirapama basin, Brazil. *Journal of Hydrology*, 498:46-58.
- 16-Duggins, J., Williams, M., Kim, D. Y. and E. Smith. 2010. Change point detection in SPI transition probabilities. *Journal of Hydrology*, 388:456-463.
- 17-Green, T. R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J. J., Allen, D. M., Hiscock, K. M., Treidel, H. and A. Aureli. 2011. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, 405:532-560.
- 18-Kiem, A. S. and E. K. Austin. 2013. Drought and the future of rural communities: Opportunities and challenges for climate change adaptation in regional Victoria, Australia. *Global Environmental Change*, 23:1307-1316.
- 19-Kiem, A. S. 2013. Drought and water policy in Australia: Challenges for the future illustrated by the issues associated with water trading and climate change adaptation in the Murray–Darling Basin. *Global environmental change*, 23(6): 1615-1626.
- 20-Kobierska, F., Jonas, T., Zappa, M., Bavay, M., Magnusson, J. and S. M. Bernasconi. 2013. Future runoff from a partly glacierized watershed in Central Switzerland: A tow model approach. *Advances in Water Resources*, 55:204-214.
- 21-Maccuen, R. H. 2003. Modeling hydrologic change, statistical methods. Department of civil and environmental engineering university of Maryland. LEWIS Publishers. Boca Raton, London, New York and Washington, D.C.
- 22-Quevauviller, P. 2011. Adapting to climate change: reducing water-related risks in Europe – EU policy and research considerations. *Environmental Science and Policy*, 14:722-729.
- 23-Van Pelt, S. C. and R. J. Swart. 2011. Climate change risk management in transnational river basin: The Rhine. *Water Resource Management*, 25:3837-3861.
- 24-Vergni, L. and F. Todisco. 2011. Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in Central Italy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151:301-311.
- 25-Vidal, J. P. and S. Wade. 2009. A multimodel assessment of future climatological droughts in the United Kingdom. *International Journal of Climatology*, 29:2056-2071.
- 26-Vrochidou, A. E. K., Tsanis, I. K., Grillakis, M. G. and A. G. Koutroulis. 2013. The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale. *Journal of Hydrology*, 476:290-301.