

## ارزیابی وضعیت بارندگی در دوره‌های آبی ناشی از سناریوهای تغییر اقلیم در غرب حوضه آبخیز تالاب جازموریان

محمدحسین جهانگیر<sup>۱\*</sup>، مطهره عباسی نوده<sup>۲</sup>

۱. دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران

۲. دانشجوی دکتری مهندسی سوانح، دانشکده محیط زیست، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران، تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۱/۱۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۲/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۳/۳۰)

### چکیده

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات اقلیم در حوضه غرب تالاب جازموریان از مدل گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم CanESM2 و سناریوهای جدید انتشار در آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) استفاده شد و به دنبال آن، به بررسی کلاس‌های شدت خشکسالی پرداخته شد. در نهایت، به منظور روشن کردن روند تغییرات سالانه مؤلفه بارش از آزمون غیرپارامتری من-کندل استفاده شد. نتایج مدل CanESM2 بیانگر آن است که متوسط بارش در ایستگاه دلفارد و دهرود به میزان ۰/۰۱۹ و ۰/۰۳۶ درصد تحت سناریوی RCP2.6 کاهش کرده است. از طرفی، در ایستگاه کهنوج و میانده جیرفت در این سناریو، بارندگی در دوره آبی نسبت به دوره پایه به میزان ۰/۰۸۵ و ۰/۱۷ درصد افزایش یافته است. این تغییرات در سایر سناریوها نیز به همین شکل دارای تغییرات کاهشی و افزایشی است. نتایج روند بارندگی بیانگر آن است که در تعدادی از ایستگاه‌ها روند آن معنادار و در تعدادی بدون روند که سیر نزولی یا افزایشی دارند، است. همچنین، نتایج شاخص خشکسالی SPI در سطح منطقه بیانگر افزایش خشکسالی از سمت شرایط مرطوب به سمت شرایط حادتر است. در این شاخص بیشترین فراوانی مربوط به طبقه نرمال است و کمترین فراوانی مربوط به طبقه خشکسالی بسیار شدید است، به طوری که وضعیت آن در شرایط آینده حادتر است. با توجه به اینکه در بیشتر ایستگاه‌ها بارش روند کاهشی داشته و از طرفی خشکسالی در منطقه روند آن به صورت تشدید شده است.

**کلیدواژه‌گان:** تغییر اقلیم، حوضه غرب تالاب جازموریان، خشکسالی هواشناسی، آزمون روند من-کندل.

## مقدمه

کاهش بارندگی و افزایش دما و به دنبال آن تغییر اقلیم و خشکسالی از پدیده‌های پیچیده جوی است که قسمت‌های زیادی از جهان را تحت تأثیر قرار داده است [۱]. خسارت ناشی از این پدیده مخرب زیاد و در بخش‌های مختلفی نظیر کشاورزی، زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و... دیده می‌شود؛ به خصوص در مواقعی که مدت زمان وقوع آن طولانی و اثرات ناشی از این پدیده تشدید می‌شود [۲]. در مناطق خشک و نیمه‌خشک با توجه به حساسیت این مناطق و بارش‌های کم و غیر یکنواخت این پدیده نمود بیشتری پیدا می‌کند [۳ و ۴]. در این اکوسیستم‌ها این عامل می‌تواند اثرات مستقیم و غیر مستقیمی متعددی روی مناطق مختلف ایجاد کند، به طوری که آثار آن روی این مناطق به صورت تدریجی ظاهر می‌شود و خسارت‌های جبران‌پذیری را سبب می‌شود [۵-۷]. آگاهی از روند این پدیده نقش مهمی در مدیریت و پایش آن، ایفا کرده است [۸]، به طوری که با کمک آن می‌توان میزان خشکسالی را پایش کرد و با بررسی روند آن در گذشته، حال و آینده پدیده مخرب خشکسالی را هشدار داد و از آسیب‌های ناشی از آن جلوگیری کرد [۹] که در همین راستا مطالعاتی متعددی صورت گرفته که در زیر به مواردی از آن‌ها اشاره شده است.

کوثری و همکاران (۱۳۹۹) روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی در مناطق فراه‌خشک، خشک و نیمه‌خشک جهان را براساس شاخص استاندارد شده بارش (SPI) بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها بیانگر فراوانی مناطق بدون روند است. وجود روندهای پراکنده معنادار صعودی و نزولی در بسیاری از مناطق مورد بررسی آن‌ها مشاهده شد. همچنین، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد روندهای منفی SPI که نشان‌دهنده افزایش خشکسالی‌هاست، در منطقه خاورمیانه، مرکز استرالیا و غرب آمریکا بیشتر مشهود است [۱۰]. جوان (۱۳۹۹) در تحقیقی به بررسی روند خشکسالی هیدرولوژیک در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداخت. نتایج تحقیق ایشان نشان داد ایستگاه‌های مراغه، سهند، سقز، تکاب و مهاباد روند کاهشی معنادار در سری‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه دارند. در ارومیه، تبریز و سراب، آزمون من-کندال روند معناداری را نشان نداد [۱۱].

سهیلی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی روند خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در مناطق نیمه‌خشک ایران پرداختند. نتایج به دست آمده از تحقیق آن‌ها نشان داد هر دو خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی روند افزایشی داشته‌اند؛ این روند افزایشی در ارتباط با SDI در همه سری‌ها و در مورد SPI در سری‌های بلندمدت ۹، ۱۲، ۱۸ ماهه در سطح ۵ درصد معنادار است. مقایسه میانگین آماره Z من-کندال شاخص‌های مورد بررسی نشان داد SDI بیش از ۳ برابر از SPI طی دوره آماری فزونی داشته است که بیانگر شدت بیشتر خشکسالی هیدرولوژیک نسبت به هواشناسی در سطح حوضه است [۱۲].

میرفتاح و هوشمند (۱۳۹۸) به تجزیه و تحلیل خشکسالی‌ها (اقلیم‌شناسی-هیدرولوژیکی) با به کارگیری روش من-کندال در حوضه زاینده‌رود پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد بیشترین میزان بارش انجام شده در سال‌های ۱۳۲۹-۱۳۳۴-۱۳۵۵-۱۳۵۹-۱۳۶۷-۱۳۷۳ بوده است. از سال ۱۳۷۵ به بعد شاهد کمترین میزان بارش طی سال‌های بررسی شده در ایستگاه منطقه مورد مطالعه آن‌ها رخ داده است و بیشترین میزان بارندگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت رخ داده و کمترین میزان بارش در ماه‌های شهریور و مرداد و مهر اتفاق افتاده است. همچنین، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد با استفاده از آزمون من-کندال پارامتر بارش در مقیاس سالانه بدون روند بود و در مقیاس ماهانه در ماه‌های خرداد، تیر، مهر و آذر دارای روند و در سایر ماه‌ها فاقد روند است [۱۳]. قاسمی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی روند تغییرات اقلیمی آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال (مطالعه موردی: جنوب اهواز) پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد دما در دوره ۲۰۱۶-۲۰۳۵ بین ۰/۵ تا ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۰) افزایش می‌یابد. این در حالی است که منطقه مورد مطالعه شاهد کاهش بارش در بیشتر ماه‌ها خواهد بود. روند تغییرات فصلی بارش با استفاده از آزمون من-کندال نشان داد پارامتر بارش در بیشتر مدل‌ها و سناریوها از روند معناداری پیروی نمی‌کند و تنها در الگوی اقلیمی RCP2.6-EC-EARTH برای فصل تابستان در سطح اطمینان ۹۰ درصد روند افزایشی دارد. روند تغییرات دما، در الگوی اقلیمی EC-

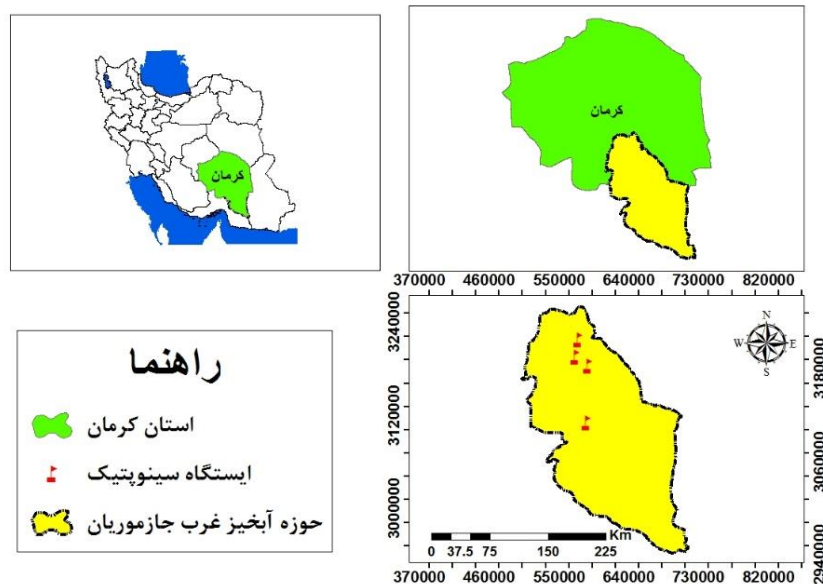
صورت‌گرفته در داخل و خارج از کشور و با توجه به قرارگیری حوضه غرب تالاب جازموریان در منطقه خشک و نیمه‌خشک در تحقیق حاضر اقدام به بررسی تغییر اقلیم و بررسی خشکسالی هواشناسی و ارزیابی روند تغییرات مؤلفه بارش شد [۱۵].

### مواد و روش‌ها

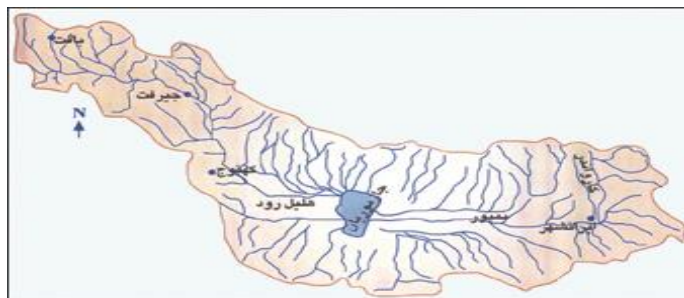
#### منطقه مطالعه شده

حوضه غرب تالاب جازموریان در بین مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۵ دقیقه و ۵۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و ۲۸ درجه و ۱۲ دقیقه و ۲۹ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی، در جنوب ایران و در استان کرمان قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع آن از سطح دریا ۵۵۰ تا ۸۰۰ متر متغیر است. این منطقه بر اساس روش دومارتن جزء اقلیم نیمه‌خشک به شمار می‌رود و متوسط بارندگی طی دوره درازمدت ۴۰ ساله در این منطقه ۱۷۰ میلی‌متر است. قسمت عمده کشاورزی در این منطقه به کشت باغ‌های پرتقال و خرما اختصاص دارد و آبیاری این باغ‌ها وابسته به آب زیرزمینی است، به طوری که بخش کشاورزی با ۰/۹۴ درصد بیشترین میزان بهره‌برداری از آب زیرزمینی را به خود اختصاص داده است [۳ و ۱۶].

EARTH-RCP8.5 برای فصل بهار در سطح ۹۵ درصد و تابستان در سطح ۹۹ درصد افزایشی است و در الگوی اقلیمی CESM1-CAM5-RCP2.6 در فصل تابستان روند افزایشی در سطح ۹۵ درصد را نشان می‌دهد. در الگوی اقلیمی CESM1-CAM5-RCP8.5، روند دما در فصل‌های پاییز و زمستان در سطح ۹۵ درصد دارای روندی معنادار افزایشی است [۱۴]. ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی روند برخی عناصر اقلیمی اهواز با استفاده از آزمون من-کندال طی دوره آماری ۵۴ ساله پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد تغییرات متوسط رطوبت نسبی و حداکثر رطوبت نسبی در ماه‌های گرم سال دارای روند نزولی معنادار و در سایر ماه‌ها عمدتاً فاقد روند معنادار هستند. حداقل رطوبت نسبی در کلیه ماه‌ها دارای روند نزولی است. پارامترهای متوسط دما، حداقل دما و حداکثر دما در بیشتر ماه‌ها دارای روند صعودی معنادار هستند به جز حداکثر دما که در ماه‌های سرد سال روند نزولی دارد. عناصر اقلیمی از جمله متوسط سرعت باد، مجموع بارش و روزهای با آسمان ابری فاقد روند معنادار در کلیه ماه‌های سال تشخیص داده شدند. فشار بخار آب نیز یا دارای روند نزولی معنادار و یا فاقد روند معنادار است که این روند معنادار بیشتر در فصل‌های تابستان و پاییز وجود دارد. با توجه به مطالعات



شکل ۱. موقعیت منطقه حوضه آبخیز جازموریان و ایستگاه‌های مطالعه‌شده در این حوضه



شکل ۲. گستره حوضه آبریز جازموریان

از تحلیل همبستگی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (با هم) و با پیش‌بینی‌شونده‌ها از تحلیل همبستگی جزئی استفاده شد. به این ترتیب، در این پژوهش بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های همبستگی، بهترین پیش‌بینی‌کننده‌ها برای طراحی و چیدمان مدل رگرسیون چندمتغیره در هر ماه از سال و برای ایستگاه‌های مشاهده‌ای یادشده انتخاب شد که در این میان هر چه میزان این همبستگی به  $\pm 1$  نزدیک‌تر باشد، شدت همبستگی بیشتر خواهد بود.

در بررسی موضوعات اقلیمی، عملکرد مدل CanESM2 در پیش‌بینی بارش روزانه با معیارهای ارزیابی نظیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) و نش‌ساتکلیف (NSE) و RMSE مورد مقایسه و ارزیابی (۱۹۸۹-۲۰۰۵) قرار می‌گیرند. در نهایت با توجه به معادلات آماری و رگرسیون کالیبره‌شده بین پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس مرکز NCEP با پارامترهای بارش مشاهده‌ای، فرایند ریزمقیاس‌نمایی روی داده‌های آینده مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انجام شد و سرانجام بر این اساس سری داده‌های روزانه بارش در مقیاس ایستگاهی برای دوره آتی شبیه‌سازی و تولید شدند.

#### شاخص خشکسالی SPI

به منظور بررسی خشکسالی، از داده‌های بارندگی ماهانه ۴ ایستگاه باران‌سنجی موجود در منطقه که دارای آمار طولانی مدت بودند، استفاده شد. آن‌گاه شرط بررسی همگنی داده‌ها برای تمامی ایستگاه‌ها اعمال شد. سپس، بازسازی نواقص آماری برای داده‌ها صورت گرفت و در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB مقادیر شاخص SPI سالانه محاسبه شد [۲] و روند خشکسالی این ایستگاه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. مک‌کی و همکاران با توجه به شباهت روش SPI با مقادیر توزیع نرمال استاندارد آن را به کلاس‌های ذیل تقسیم کردند [۱۷] (جدول ۲).

#### روش تحقیق

##### داده‌ها و دوره آماری

در این تحقیق ابتدا داده‌های بارش ایستگاه‌های حوضه آبخیز غرب تالاب جازموریان برای بررسی پدیده تغییر اقلیم طی دوره زمانی (۲۰۱۸-۱۹۸۹) از سازمان هواشناسی استان کرمان تهیه شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات، به منظور بررسی تغییرات اقلیمی از نرم‌افزار SDSM2.4 استفاده شد که مراحل انجام پژوهش به شرح زیر است:

##### ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها

برای شناخت و ارزیابی تغییرات بارش ایستگاه‌های یادشده طی دهه‌های آینده از مدل SDSM2.4 به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس‌گردانی آماری روی خروجی مدل‌های بزرگ‌مقیاس جوی، استفاده شده است. مدل ریزمقیاس‌سازی SDSM2.4 در سال ۲۰۰۲ در انگلستان توسط Wilby توسعه یافت. فرایند ریزمقیاس‌گردانی عامل ایجادکننده ارتباط میان متغیرهای اقلیمی در مقیاس ایستگاه مشاهده‌ای (پیش‌بینی‌شونده‌ها) و متغیرهای بزرگ‌مقیاس جوی (پیش‌بینی‌کننده‌ها) است. داده‌های بزرگ‌مقیاس جوی شامل پیش‌بینی‌کننده‌های مرکز NCEP<sup>۱</sup> در دوره مشابه دیده‌بانی هر ایستگاه تا ۲۰۰۵ و برون‌داد مدل بزرگ‌مقیاس CanESM2 تحت سناریوهای موجود در دوره مشابه دیده‌بانی و در دوره آینده از تارنمای مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا به صورت خام استخراج شد (جدول ۱) و سپس پیش‌بینی‌کننده‌های این مدل نسبت به میانگین و انحراف معیار دوره مشاهده‌ای نرمالیزه شدند. برای شناسایی و انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب و دارای قوی‌ترین ارتباط معناداری با بارش مشاهده‌ای هر ایستگاه در سطح ۹۵ درصد،

1. National Centers for Environmental Prediction

جدول ۱. مشخصات مدل گردش عمومی جو CanESM2 در دسترس به عنوان ورودی نرم‌افزار SDSM ۲.۴

مدل جهانی	IPCC	مرجع	قدرت تفکیک مکانی به درجه	سناریوها	واداشت تابشی ( $\tau_w/m$ )	غلظت دی‌اکسید کربن
CanESM2	IPCC-AR5	مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا	۲/۸۱۲۵*۲/۷۹۰۶	RCP2.6	حدائث مقدار آن ۳ وات برمترمربع و سپس کاهش می‌یابد	Ppm ۴۹۰ قبل از سال ۲۱۰۰ و سپس کاهش می‌یابد
				RCP4.5	۴/۵ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	Ppm ۶۹۰ و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند
				RCP8.5	بیشتر از ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	Ppm ۱۳۷۰ تا سال ۲۱۰۰

جدول ۲. طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هواشناسی به روش شاخص SPI [۱۸]

ترسالی بسیار شدید	> ۲
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک به نرمال	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵
خشکسالی بسیار شدید	< -۲

$t_p$  تعداد دنباله‌ها برای  $p$  امین مقدار و  $p$  تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در فرمول یادشده یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استانداردشده آزمون  $Z$  از رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}}, & \text{if } s > 1 \\ 0, & \text{if } s > 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}}, & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (4)$$

مقدار مثبت  $Z$  روند افزایش و مقدار منفی  $Z$  روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. همچنین، برای آزمودن روند افزایش یا کاهش یکنواخت در سطح معناداری  $P$ ، اگر مقدار  $Z$  بزرگ‌تر از  $Z_{1-p/2}$  باشد، فرض صفر رد می‌شود.  $Z_{1-p/2}$  از جدول توزیع تجمعی نرمال استاندارد به دست می‌آید. برای این کار، سطح معنادار  $p=0.05$  یا  $p=0.01$  به کار می‌رود [۴].

آزمون من-کندال تائو:

ضریب همبستگی رتبه‌ای کندال برای تعیین همبستگی بین دو متغیر رتبه‌ای به کار می‌روند. دامنه این ضریب همواره بین -۱ تا +۱ تغییر می‌کند. این ضریب مشخص می‌کند که افزایش یا کاهش یک متغیر با افزایش

#### آزمون ناپارامتری من-کندال (Mann-Kendall)

این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه شد و سپس توسط کندال (۱۹۷۰) تکامل یافت. آزمون من-کندال برای پاسخ به این سؤال که آیا مقادیر مرکزی یا میانه یک سری زمانی به مرور تغییر می‌کنند یا نه، به کار می‌رود. آماره آزمون من-کندال از رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$U_{t,T} = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (1)$$

$U_{t,T}$  آماره آزمون من-کندال،  $x_i$  و  $x_j$  داده‌های متوالی،  $n$  طول سری زمانی و  $\text{sgn}(x_i - x_j)$  تابع علامت بوده که از رابطه ۲ تعیین می‌شود:

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

میانگین  $E(S)$  و واریانس آماره به ترتیب زیر به دست می‌آید:

$$E(S) = 0$$

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^n tp(p)(p-1)(2p+5)}{18} \quad (3)$$

پیش‌بینی بارش روزانه نشان داد در همه ایستگاه‌های معیارهای ارزیابی نتایج قابل قبولی دارد (جدول ۳). همچنین، بیشترین نتایج عملکرد ارزیابی در ایستگاه دلفارد بیشتر است، به طوری که مقدار آماره‌های ارزیابی آن یا به بیانی ضریب  $R^2$ ، RMSE و NSE به ترتیب برابر با ۰/۹۸، ۰/۹۸، ۳/۷۵ و ۰/۹۴ است.

مطابق با نتایج به دست آمده نمودار بارندگی ماهانه ایستگاه‌های یادشده، حوضه غرب تالاب جازموریان در شکل ۳ ارائه شده است. طبق این شکل، بیشترین بارندگی در همه ایستگاه‌ها از اواسط زمستان تا اواسط بهار رخ می‌دهد. همچنین، می‌توان گفت که طبق این شکل در ایستگاه‌های بالادست حوضه بیشترین بارندگی در ماه‌های May و Jun صورت می‌گیرد. در صورتی که در ایستگاه‌های پایین دست حوضه یعنی ایستگاه‌های کهنوج و میانده بیشترین بارندگی در ماه Apr رخ می‌دهد.

یا کاهش یک متغیر دیگر همراه است. رابطه آن به صورت رابطه ۵ است.

$$\tau = \frac{2S}{N(N-1)} \quad (5)$$

T ضریب همبستگی کندال تائو و S مجموع تفاوت رتبه‌ها و N تعداد مشاهده‌ها هستند. برای آزمون ضریب همبستگی من-کندال تائو از رابطه ۱۱ آماره T محاسبه می‌شود، با درجه آزادی n-2 تصمیم‌گیری می‌شود.

$$T = \frac{r_s \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_s^2}} \quad (6)$$

### نوآوری

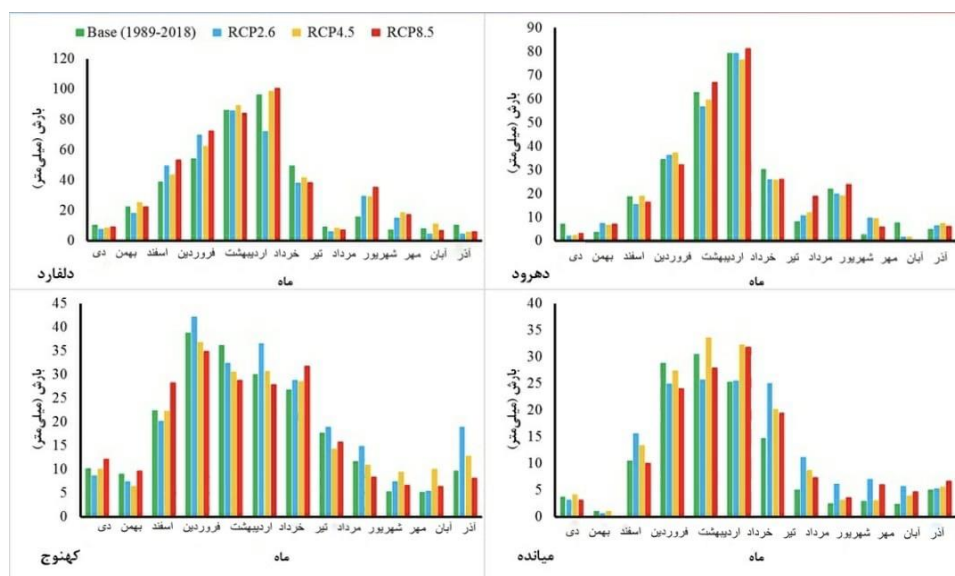
در این پژوهش از داده‌های آماری بارش سی‌ساله اخیر حوضه غرب استان کرمان استفاده شد و وضعیت خشکی در دوره سی‌ساله تا سال ۲۰۵۰ ارزیابی و پیش‌بینی شد.

### نتایج

نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی مدل HadGEM2\_ES در

جدول ۳. نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی مدل HadGEM2-ES در پیش‌بینی بارش روزانه

ایستگاه	NSE	RMSE	$R^2$
دلفارد	۰/۹۴	۳/۷۵	۰/۹۸
دهرود	۰/۹۱	۸/۳۸	۰/۹۷
کهنوج	۰/۸۷	۶/۲۱	۰/۹۵
میانده جیرفت	۰/۹۰	۵/۹۳	۰/۹۸



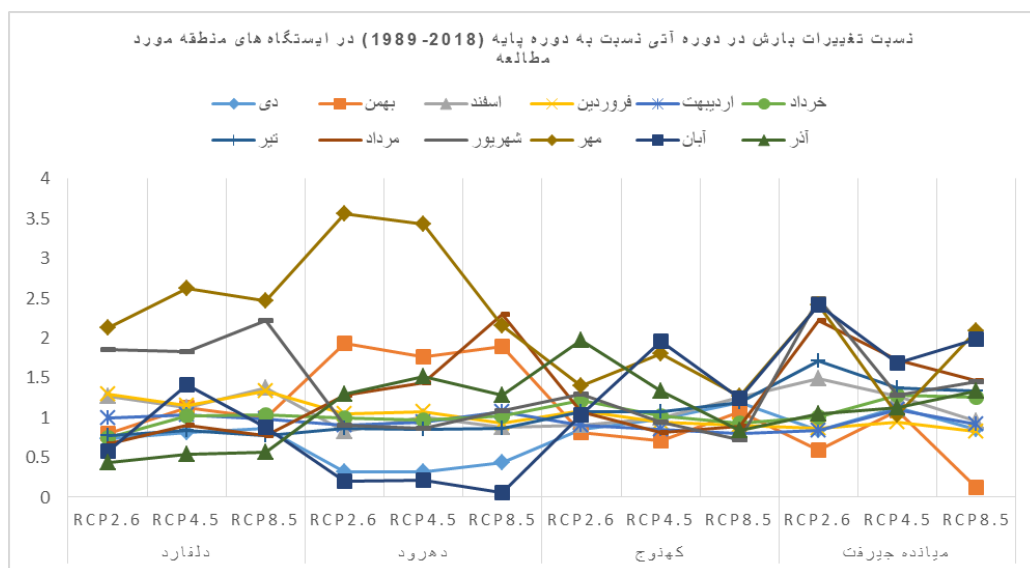
شکل ۳. میانگین بارندگی ماهانه دوره پایه و آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) تحت سناریوهای RCP

کلاس‌های خشکسالی با شدت کمتر کاسته شده و بر کلاس‌های خشکسالی با شدت بیشتر افزوده می‌شود. همچنین، روند افزایشی این کلاس‌ها هر چه از قسمت بالادست حوضه به سمت ایستگاه‌های پایین‌دست حوضه می‌رویم، بیشتر می‌شود.

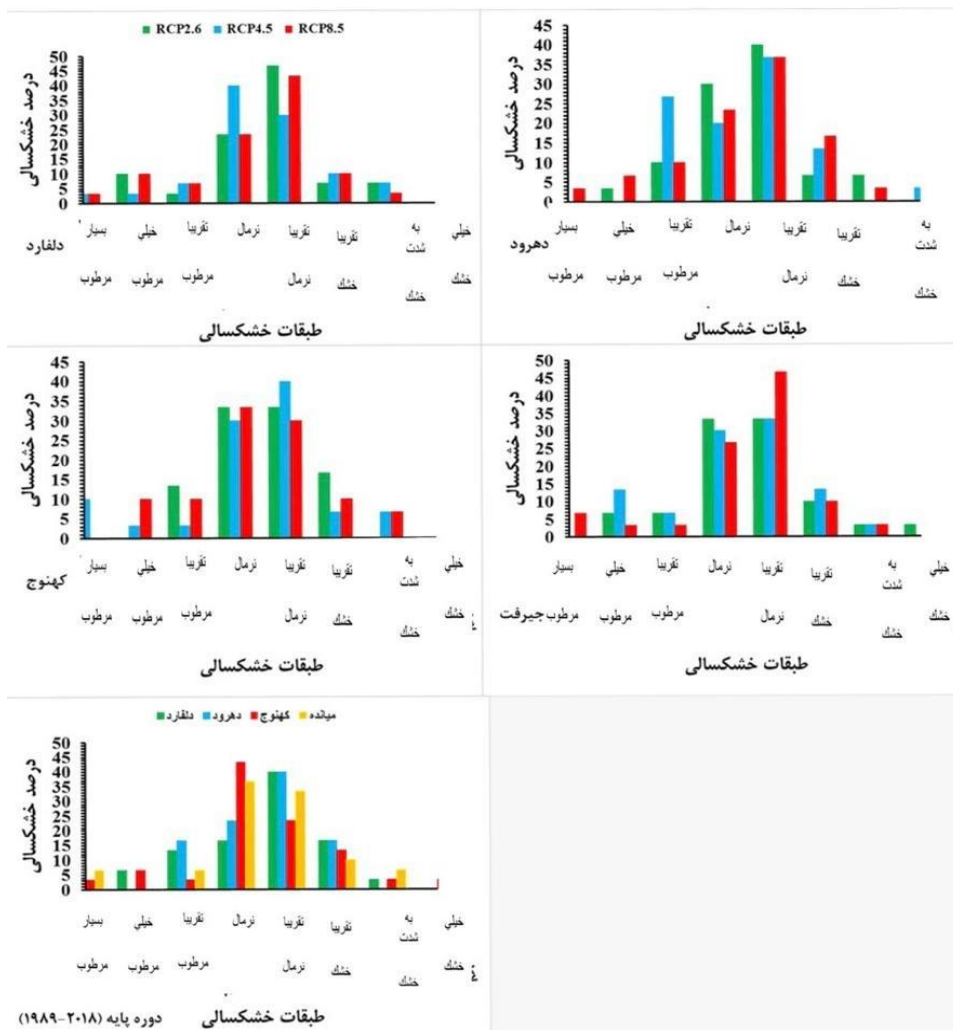
بر اساس مواد و روش‌ها نتایج آزمون من-کندال تائو در جدول ۵ ارائه شده است که می‌توان گفت پارامتر بارش در بیشتر ایستگاه‌ها روند معناداری کاهشی و افزایشی را به دنبال دارد که می‌تواند شرایط خوش‌خیم و بدخیم را در این اکوسیستم رقم بزند. طبق این جدول می‌توان گفت که تنها در سناریوی RCP4.5 روند آن معنادار نیست و در دیگر سناریوهای RCP روند آن معنادار است.

جدول ۴. نسبت تغییرات بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۸) در ایستگاه‌های منطقه مطالعه شده

ایستگاه	دلفارد			دهرود			کهنوج			میانه جیرفت		
	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
دی	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۴۴	۰/۸۵	۰/۹۸	۱/۱۹	۰/۸۴	۱/۱۳	۰/۸۵
بهمن	۰/۸۰	۱/۱۲	۱/۰۰	۱/۹۴	۱/۷۶	۱/۸۹	۰/۸۲	۰/۷۱	۱/۰۷	۰/۵۹	۱/۰۹	۰/۱۳
اسفند	۱/۲۷	۱/۱۲	۱/۳۷	۰/۸۳	۱/۰۱	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۹	۱/۲۶	۱/۴۹	۱/۲۷	۰/۹۶
فروردین	۱/۳۹	۱/۱۵	۱/۳۳	۱/۰۵	۱/۰۸	۰/۹۳	۱/۰۹	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۸۳
اردیبهشت	۱/۰۰	۱/۰۴	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۹۴	۱/۰۷	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۸۴	۱/۱۰	۰/۹۲
خرداد	۰/۷۵	۱/۰۲	۱/۰۴	۱/۰۰	۰/۹۷	۱/۰۲	۱/۲۲	۱/۰۲	۰/۹۳	۱/۰۱	۱/۲۸	۱/۲۶
تیر	۰/۷۷	۰/۸۴	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۶	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۱۹	۱/۷۱	۱/۳۷	۱/۳۳
مرداد	۰/۶۷	۰/۹۰	۰/۷۷	۱/۲۸	۱/۴۴	۲/۳۰	۱/۰۷	۰/۸۱	۰/۸۹	۲/۲۲	۱/۷۳	۱/۴۷
شهریور	۱/۸۵	۱/۸۳	۲/۲۲	۰/۹۱	۰/۸۷	۱/۰۹	۱/۲۹	۰/۹۴	۰/۷۲	۲/۵۰	۱/۲۸	۱/۴۵
مهر	۲/۱۳	۲/۶۳	۲/۴۷	۳/۵۶	۳/۴۳	۲/۱۶	۱/۴۰	۱/۸۰	۱/۲۷	۲/۴۲	۱/۰۳	۲/۰۹
آبان	۰/۵۸	۱/۴۱	۰/۸۸	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۰۶	۱/۰۴	۱/۹۶	۱/۲۵	۲/۴۱	۱/۶۸	۱/۹۹
آذر	۰/۴۴	۰/۵۴	۰/۵۷	۱/۲۹	۱/۵۲	۱/۲۸	۱/۹۷	۱/۳۳	۰/۸۴	۱/۰۵	۱/۱۲	۱/۳۴



شکل ۴. نسبت تغییرات بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۸) در ایستگاه‌های منطقه مطالعه شده



شکل ۵. درصد طبقات خشکسالی منطقه مطالعه شده در دوره پایه و آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰)

جدول ۵. نتایج حاصل از آزمون من-کندال در ایستگاه‌های منطقه مطالعه شده

روند	Sen's slope:	p-value	Kendall's tau	scenario	station
دارد	-۱/۷۲	۰/۰۲۱	-۰/۰۷	۱۹۷۶-۲۰۱۸	دلفارد
دارد	-۰/۹۴	۰/۰۲۰	-۰/۰۵	RCP2.6	
دارد	۲/۸۰	۰/۰۳۱	۰/۱۱	RCP4.5	
دارد	۲/۰۷	۰/۰۱۴	۰/۱۴	RCP8.5	دهرود
ندارد	-۰/۴۵	۰/۴۱۶	-۰/۰۲	۱۹۷۶-۲۰۱۸	
دارد	-۰/۷۵	۰/۰۵۰	-۰/۰۷	RCP2.6	
دارد	۳/۱۴	۰/۰۴۱	۰/۲۶	RCP4.5	میانده
دارد	-۰/۷۸	۰/۰۴۶	-۰/۰۶	RCP8.5	
ندارد	-۰/۶۹	۰/۸۰۵	-۰/۰۳	۱۹۷۶-۲۰۱۸	
دارد	-۱/۸۶	۰/۰۱۴	-۰/۲۰	RCP2.6	کهنوج
ندارد	۰/۶۴	۰/۵۰۲	۰/۰۹	RCP4.5	
دارد	-۰/۴۷	۰/۰۴۶	-۰/۰۶	RCP8.5	
دارد	۰/۶۴	۰/۰۵۲	۰/۰۹	۱۹۷۶-۲۰۱۸	کهنوج
ندارد	-۰/۵۱	۰/۷۷۷	-۰/۰۴	RCP2.6	
دارد	۰/۹۸	۰/۰۳۶	۰/۱۰	RCP4.5	
دارد	۰/۹۳	۰/۰۲۳	۰/۱۳	RCP8.5	



## نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات اقلیم در حوضه غرب تالاب جازموریان از مدل گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم CanESM2 و سناریوهای جدید انتشار در آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۵۰) استفاده شد و به دنبال آن به بررسی کلاس‌های شدت خشکسالی پرداخته شد. در نهایت، به منظور روشن کردن روند تغییرات سالانه مؤلفه بارش به عنوان ورودی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی از آزمون غیرپارامتری من-کنندال استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی دقت مدل CanESM2 نشان داد این مدل در مؤلفه بارش، در تمامی ایستگاه‌های این حوضه از دقت مناسبی برخوردار است که با نتایج پژوهش آفاخانی و همکاران (۱۳۹۵) که از بین ۱۴ مدل اقلیمی گزارش پنجم، چهار مدل MICRO-ESM، GFDL-ESM2G، M11NorESM و A-MR5IPSL-CM به عنوان مدل بهینه اقلیمی در حوضه آبخیز کشف‌رود انتخاب شد، مطابقت دارد [۱۹]. نتایج مدل CanESM2 بیانگر آن است که میزان متوسط بارش در ایستگاه دلفارد و دهرود به میزان ۰/۱۹ و ۰/۳۶ درصد تحت سناریوی RCP2.6 کاهش یافته است. از طرفی، در ایستگاه کهنوج و میانده جیرفت در این سناریو بارندگی در دوره آبی نسبت به دوره پایه به میزان ۰/۸۵ و ۰/۱۷ درصد افزایش یافته است. این تغییرات در سایر سناریوها نیز به همین شکل دارای تغییرات کاهشی و افزایشی است که با نتایج پژوهش اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۹) در دشت میناب همخوانی دارد [۲]. همچنین، Wu و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که در منطقه Hindu Kush هیمالیا بارندگی تحت تأثیر سناریوی RCP8.5 به میزان ۲۴ درصد افزایش پیدا کرده است، که می‌تواند یکی از دلایل آن افزایش بخار جو و تغییر در گردش چرخه آب جو ناشی از گرم شدن کره زمین منجر به تغییرات بارش در آینده باشد، مطابقت دارد [۲۰]. با نتایج پژوهش Givati و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که بارندگی برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در سناریوی RCP4.5 و سناریوی RCP8.5 به میزان ۳/۵ و ۱۰/۵ درصد کاهش و برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۷۹ تغییرات بارندگی به میزان ۱۱ و ۱۵/۵ درصد در بالادست رودخانه اردن کاهش می‌یابد، مطابقت دارد [۲۱]. بارندگی در تعدادی از این ایستگاه‌ها افزایشی و در بعضی ایستگاه‌ها روند آن کاهشی بوده است که این افزایش و یا کاهش بارندگی متأثر از الگوی بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده است.

نتایج روند بارندگی بیانگر آن است که در تعدادی از ایستگاه‌ها روند آن معنادار و در تعدادی بدون روند که دارای سیر نزولی یا افزایشی هستند، است که با نتایج پژوهش Ishida و همکاران (۲۰۱۷) که بیان داشتند که بارندگی در دوره آینده در حوضه آبخیز شمال کالیفرنیا تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در شش زیرحوضه روند قابل ملاحظه‌ای نداشته است که یکی از دلایل آن را حساسیت بارندگی به سناریوهای تغییر اقلیم بیان کردند [۲۲]. همچنین، با نتایج پژوهش Awal و همکاران (۲۰۱۶) و Keggenhoff و همکاران (۲۰۱۴) که بیان داشتند روند معناداری در افزایش و کاهش پارامتر بارش وجود نداشته است و تنها تغییرات ناگهانی یا تغییرات در نوع الگوی بارش مشاهده می‌شود، مطابقت دارد [۲۳ و ۲۴]. همچنین، نتایج شاخص خشکسالی SPI در سطح منطقه بیانگر افزایش خشکسالی از سمت شرایط مرطوب به سمت شرایط حادتر است. همچنین، در این شاخص بیشترین فراوانی مربوط به طبقه نرمال است و کمترین فراوانی مربوط به طبقه خشکسالی بسیار شدید است. در این حوضه در دهه ۲۰۴۰ شاهد خشکسالی شدیدتر در منطقه هستیم که با نتایج پژوهش Nguvava و همکاران (۲۰۱۹) که بیان داشتند که در سناریوی RCP5.8 شدت خشکسالی به مراتب بیشتر از دو سناریوی دیگر است، مطابقت دارد [۲۵]. زیرا در سناریوی RCP5.8 در واقع بیشترین رشد جمعیت، استفاده از انرژی و در نهایت تولید گازهای گلخانه‌ای را در نظر گرفته، در حالی که در سناریوی RCP6.2 کمترین رشد جمعیت، افزایش استفاده از انرژی‌های نو و در نهایت کمترین میزان تولید گازهای گلخانه‌ای را در محاسبات در نظر گرفته و سناریوی RCP4.5 حالت متعادل رشد را لحاظ کرده است. به طور کلی، در تحلیل تغییرات اقلیمی روی خشکسالی، سناریوی RCP8.5 بیشترین تغییرات را نسبت به سایر سناریوها داشته است، زیرا در این سناریو میزان واداشت تابشی در انتهای قرن بیست و یکم به ۸/۵ وات بر مترمربع می‌رسد [۲۸]. با توجه به اینکه در بیشتر ایستگاه‌ها بارش روند کاهشی داشته و از طرفی خشکسالی در منطقه روند آن به صورت تشدید شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بر اساس گزارش IPCC که جمعیت در حال افزایش و این جمعیت رو به افزایش نیاز به غذا و انرژی دارد، انسان با فشار به منابع طبیعی درصد تأمین نیازهای حیاتی خود می‌شود. از طرفی دیگر، این تغییرات

- Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2011;151(12):1711-22.
- [8]. Choi I-J, Park R-S, Lee J. Impacts of a newly-developed aerosol climatology on numerical weather prediction using a global atmospheric forecasting model. *Atmospheric Environment*. 2019;197:77-91.
- [9]. Mir Mousavi SH, Karimi H. Study of the effect of drought on vegetation using modis sensor images Case: Kurdistan Province. *Geography and Development*. 2013;31.
- [10]. Kawsari MR, Ekhtasasi MR, Malekinejad H. Investigation of meteorological and agricultural drought trends in semi-arid, arid and super-arid regions of the world. *Ecosystem Biaban*. 2017;6 (14).
- [11]. Javan K. Investigation of hydrological drought trend in the catchment area of Lake Urmia. *Hydrogeomorphology*. 2021;7 (25).
- [12]. Soheili I, Malekinejad H, Ekhtasasi MR. Analysis of meteorological and hydrological drought trends in semi-arid regions of Iran (Case study: Dorodzan Dam watershed). *Modiriata Biaban*. 2017;5 (9).
- [13]. Mirfatah M, ataeie h. Drought Analysis (Climatology-Hydrology) Using Man Kendall Method in Zayandehrud Basin (Case Study: Varzaneh Station). *Shabak Journal*. 2020;5, (44.)
- [14]. Ghasemi M, Soltani A, Naseri AA, Moazed H. Investigating the trend of future climate change in the region using the non-parametric Mann-Kendall test (Case study: South of Ahvaz). *Newar*. 2020;43(106107).
- [15]. Ildermi A, Hedayatzaadeh F, Mozaian M. Investigation of the trend of some climatic elements of Ahvaz using Mann-Kendall test during a 54-year statistical period. *Ensan va Mohitezist*. 2020;13 (9).
- [16]. Eskandari Damaneh H, Eskandari Damaneh H, Khosravi H, Gholami H. Drought analysis and monitoring using NDVI vegetation index (Case study: West Basin of Jazmourian Wetland). *Martae*. 2019;13 (3).
- [17]. Choubin B, Khalighi-Sigaroodi S, Malekian A, Ahmad S, Attarod P. Drought forecasting in a semi-arid watershed using climate signals: a neuro-fuzzy modeling approach. *Journal of Mountain Science*. 2014;11(6):1593-605.
- [18]. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J, editors. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*; 1993: Boston.
- اقليمی باعث محدودیت در این منابع می‌شود [۲۶ و ۲۷]. بنابراین، در راستای توسعه پایدار، باید به دنبال راهکارهایی برای مدیریت بهتر منابع آب و اصلاح روش‌های بهره‌برداری منابع آب، به‌ویژه در بخش کشاورزی بود. برنامه‌های آینده باید به گونه‌ای باشد که تغییرات پیش رو آثار زیان‌باری در بخش آب در غرب تالاب جازموریان به وجود نیآورد. همچنین، ذوب شدن برف بهاره در فصل زمستان سبب افزایش خطرات سیل در قسمت بالادست حوضه می‌شود که پیش از پیش تمهیدات لازم را می‌طلبد.

### منابع

- [1]. Stahl K, Kohn I, Blauhut V, Urquijo J, De Stefano L, Acácio V, et al. Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2016;16(3):801-19.
- [2]. Eskandari Damaneh H, Zehtabian G, Khosravi H, Azarnivand H, Barati AA. Investigation of drought-affected vegetation changes in arid and semi-arid regions using remote sensing technique (Case study: Hormozgan province). *Mohandesi Ecosystem Biaban*. 2020;9 (28).
- [3]. Eskandari Damaneh H, Zehtabian G, Salajegheh A, Ghorbani M, Khosravi H. The Effect of Land Use Changes on the Quantity and Quality of Groundwater Resources in the Western Basin of Jazmourian. *Marta va Abkhizdari (Manabe Tabiee Iran)*. 2018;71 (3).
- [4]. Khosravi H, Eskandari Damaneh H, Eskandari Damaneh H, Borji M, Nakhaee Nejadfard S. Drought Trend Assessment in Riverheads of Karkheh and Dez Basins based on Streamflow Drought Index (SDI). *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 2018;1(2):45-54.
- [5]. Ali S, Henchiri M, Yao F, Zhang J. Analysis of vegetation dynamics, drought in relation with climate over South Asia from 1990 to 2011. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26(11):11470-81.
- [6]. Cong N, Wang T, Nan H, Ma Y, Wang X, Myneni RB, et al. Changes in satellite-derived spring vegetation green-up date and its linkage to climate in China from 1982 to 2010: a multimethod analysis. *Global change biology*. 2013;19(3):881-91.
- [7]. Shen M, Tang Y, Chen J, Zhu X, Zheng Y. Influences of temperature and precipitation before the growing season on spring phenology in grasslands of the central and eastern Qinghai-

- [19]. Aga Khani A, Amir Hossein H, Yousef B, Ali Asghar P, Belandi M. Annual Assessment of Climatic Components of Kashfarud Watershed in Future Periods Using the Fifth Report of the International Committee on Climate Change. *Pazhouhesh haye hefazat ab va khak*. 2016;23, Number 6.
- [20]. Wu J, Xu Y, Gao X-J. Projected changes in mean and extreme climates over Hindu Kush Himalayan region by 21 CMIP5 models. *Advances in Climate Change Research*. 2017;8(3):176-84.
- [21]. Givati A, Thirel G, Rosenfeld D, Paz D. Climate change impacts on streamflow at the upper Jordan river based on an ensemble of regional climate models. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2019;21:92-109.
- [22]. Ishida K, Gorguner M, Ercan A, Trinh T, Kavvas M. Trend analysis of watershed-scale precipitation over Northern California by means of dynamically-downscaled CMIP5 future climate projections. *Science of the Total Environment*. 2017;592:12-24.
- [23]. Awal R, Bayabil HK, Fares A. Analysis of potential future climate and climate Extremes in the Brazos Headwaters basin, Texas. *Water*. 2016;8(12):603.
- [24]. Keggenhoff I, Elizbarashvili M, Amiri-Farahani A, King L. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather Clim Extremes* 4: 75–85. 2014.
- [25]. Nguvava M, Abiodun BJ, Otieno F. Projecting drought characteristics over East African basins at specific global warming levels. *Atmospheric Research*. 2019;228:41-54.
- [26]. Li J, Zhang Q, Chen YD, Singh VP. Future joint probability behaviors of precipitation extremes across China: spatiotemporal patterns and implications for flood and drought hazards. *Global and Planetary Change*. 2015;124:107-22.
- [27]. Pachauri RK, Allen MR, Barros VR, Broome J, Cramer W, Christ R, et al. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: *Ipcc*; 2014.