

## شبیه سازی خشکسالی هواشناسی حوضه کرخه تحت سناریوهای تغییر اقلیم

\*۱- سیما رحیمی بندرآبادی

۱- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی

\*ایمیل نویسنده مسئول: rahimi\_si@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۹

## چکیده

اگر چه انتظار می رود تغییر آب و هوا بخش های زیادی از محیط زیست را تحت تاثیر قرار دهد ولی آب بحرانی ترین فاکتور تاثیر پذیر از تغییر آب و هوا می باشد. کشور ایران، همواره با محدودیت منابع آب مواجه می باشد و به دلیل اینکه تغییر آب و هوا می تواند یک عامل تشدید کننده در بحران آب محسوب شود لذا پیش بینی تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی آبی برای مدیریت منابع آب بسیار اهمیت دارد. در این مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی حوضه کرخه در آینده مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، از مدل ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی PRECIS، برای برآورد بارش و دما در دوره پایه و دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ و تحت دو سناریوی A2 و B2 استفاده شد. بررسی تغییرات آب و هوایی در حوضه کرخه نشان داد که تحت سناریوی A2، مقدار بارش حدود ۱۱ درصد و میانگین دمای حداقل و حداکثر، حدود ۵ درجه افزایش خواهند داشت. برای سناریوی B2، مقدار بارش حدود ۷ درصد و مقدار میانگین دمای حداقل و حداکثر، حدود ۳ درجه افزایش خواهند داشت. بررسی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI نشان می دهد که در سال‌های ۶۷-۱۹۶۶، ۷۱-۱۹۷۰، ۷۳-۱۹۷۳، ۷۸-۱۹۷۷، ۸۴-۱۹۸۴، ۹۱-۱۹۹۱، ۹۵-۱۹۹۵، ۲۰۰۰-۱۹۹۸ چند خشکسالی عمده اتفاق افتاده است. بررسی خشکسالی طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ در دو ایستگاه کرمانشاه و خرم آباد نشان می دهد که تحت هر دو سناریو سالهای ۲۰۷۷، ۲۰۸۱ تا ۲۰۸۳، ۲۰۸۷ تا ۲۰۸۹ و ۲۰۹۵ تا ۲۰۹۶ خشکسالی را تجربه خواهند کرد. هرچند که در هر دو سناریو شدت و بزرگی خشکسالی نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت و این کاهش تحت سناریو B2 بیشتر از A2 می باشد. نتایج همچنین نشان می دهد که تعداد ماههای خشک و تداوم خشکسالی در هر دو سناریو افزایش خواهد داشت. بررسی احتمال وقوع خشکسالی نشان می دهد که به طور کلی احتمال وقوع خشکسالی در هر دو سناریو کمتر از دوره پایه می باشد، هر چند تحت سناریو B2 احتمال وقوع خشکسالی بیشتر از سناریو A2 خواهد بود.

## کلمات کلیدی

"خشکسالی"، "تغییر اقلیم"، "حوضه کرخه"، "سناریو A2 و B2"، "مدل اقلیمی".

## ۱- مقدمه

(۲۰۱۷) فراوانی، مدت و شدت خشکسالی در منطقه نیمه خشک شمال شرق بربیل را بررسی کردند. هدف از این مطالعه ارائه یک نمای کلی از شدت خشکسالی در ۳۶ سال گذشته، تجزیه و تحلیل شدت، فراوانی و مدت زمان خشکسالی با در نظر گرفتن جنبه های آب و هواشناسی و کشاورزی است. برای ارزیابی این دو جنبه، شاخص بارش استاندارد شده ۱۲ ماهه و شاخص سلامت پوشش گیاهی برای بررسی ویژگی های خشکسالی در نظر گرفته شد. نتایج نشان می دهد که شدیدترین و طولانی ترین خشکسالی در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۶ رخ داده است. برخلاف خشکسالی های قبلی در دهه های گذشته، در این دوره ۵ ساله اخیر خشکسالی مکرر، شدیدتر بوده و منطقه وسیع تری را تحت تاثیر قرار داده و اثرات قابل توجهی بر جمعیت و همچنین فعالیت های اقتصادی داشته است (Birto et al., 2017). در مطالعه دیگری منحنی شدت - گستره - فراوانی (SAF) خشکسالی های فصلی در بنگلادش تحت سناریوهای تغییر آب و هوا بررسی شده است. برای این کار از شاخص خشکسالی SPI استفاده شد. نتایج نشان می دهد که دسته های خشکسالی متوسط و شدید بیشترین دوره بازگشت را دارند و احتمالاً منطقه را بیشتر از سایر انواع خشکسالی تحت تاثیر قرار می دهند. مشخص شد که خشکسالی فصل خریف بارزترین بوده و بخش قابل توجهی از کشور را در تمام دوره های بازگشت و دسته های شدت تحت تاثیر قرار داده است. پیش بینی ها همچنین نشان می دهد که خشکسالی های موسمی و خریف (ماه می تا اکتبر) در سرتاسر بنگلادش از نظر شدت و دوره بازگشت افزایش خواهد یافت Alamgir et al., 2020). همچنین Danandeh Mehr و همکاران (۲۰۲۰) به اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی با استفاده از SPI و SPEI در شهر آنکارا کشور ترکیه پرداختند. آنها برای تجزیه و تحلیل

خشکسالی هواشناسی که از جمله نوسانات اقلیمی است در مناطقی همانند مناطق غرب و جنوب غرب کشور ایران (استان لرستان) که دارای آب و هوای مدیترانه ای است با تناوب های متفاوتی تکرار می شود. خشکسالی ممکن است در هر جایی رخ دهد و باعث کمبود آب گردد، اما ویژگی های آن از قبیل شدت، مدت و بزرگی خشکسالی و همچنین اثرات آن از محلی به محل دیگر متفاوت می باشد. از طرف دیگر افزایش گازهای گلخانه ای و تغییر اقلیم می تواند سیستم های مختلف نظیر منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت و اقتصاد را دگرگون سازد. تغییر آب و هوا با ایجاد تغییرات در سیکل هیدرولوژی باعث اثرات معنی داری در منابع آب می گردد. خشکسالی یکی از پدیده های محیطی و بخش جدائی ناپذیر تغییرات اقلیمی می باشد. برنامه ریزی های دقیق و مناسب، نیاز به اطلاعات کامل و تخمین فاکتورهای مهم برنامه ریزی و مدیریت منابع آب دارد که لازمه آن آگاهی از تغییرات دما و بارش و چگونگی تاثیر آن بر منابع آب می باشد. در مورد اثرات تغییر آب و هوا در آینده مطالعات متعددی انجام شده است. به طوریکه مدل منطقه ای PRECIS برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصول گندم و برنج در منطقه حاره توسط Zacharias و همکاران (۲۰۱۵) ارزیابی گردید. آنها بارندگی و دما را طی دوره ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ را شبیه سازی و با داده های مشاهده ای مقایسه نمودند. نتایج نشان می دهد که مدل توانسته است مقادیر میانگین دما و بارش را در حد قابل قبولی شبیه سازی نماید اما نتوانسته است تغییرات زمانی - مکانی پارامترها را به خوبی نشان دهد. همچنین نتایج نشان می دهد که مقادیر بارندگی و دما بیش تر از مقادیر مشاهده ای برآورد شده است (Zacharias et al., 2015). همچنین Birto و همکاران

بسیار کمی در میزان بارش دیده میشود. همچنین مقادیر SPI در مقیاس زمانی طولانی مدت، شدت خشکسالی بیشتری را نشان می دهند و در بین سناریوهای مورد بررسی، RCP8.5 نسبت به سایر سناریوها، شدت خشکسالی بیشتری را نسبت به دوره پایه نشان میدهد. نتایج آزمون من-کندال نیز نشاندهنده روند معنی دار SPI در دوره پایه و دوره های آینده بر اساس سناریو RCP8.5 است (جوان، ۱۴۰۰). در این تحقیق با هدف شناخت رفتارها و ویژگیهای منطقه ای خشکسالی تحت تاثیر تغییر اقلیم جهت انجام برنامه ریزی تصمیم سازان برای آینده، اثرات تغییر آب و هوا بر خشکسالی هواشناسی در دو ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه و خرم آباد واقع در حوضه کرخه طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی دینامیکی PRECIS و تحت سناریوهای A2 و B2 بررسی شده است.

## ۲- مواد و روشها

### • منطقه مورد مطالعه

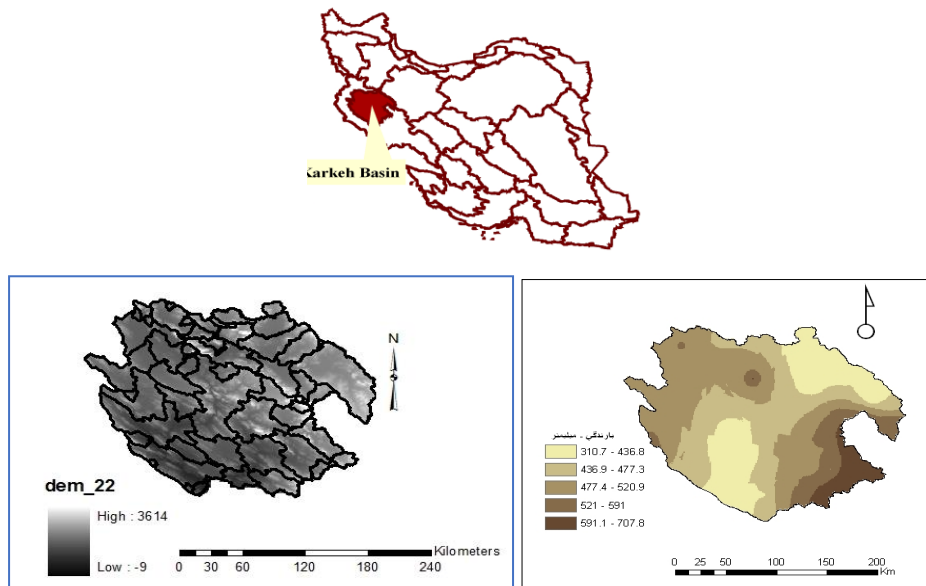
منطقه مورد مطالعه حوضه کرخه تا بالادست سد کرخه می باشد که بین طول های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴/۵ دقیقه و ۴۹ درجه و ۱۹ دقیقه و عرض های ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۵ درجه و ۸/۸ دقیقه قرار گرفته است (شکل ۱). حوضه مورد مطالعه دارای دامنه ارتفاعی بین ۸۳ و ۳۵۹۸ متر می باشد. شکل (۱) مدل رقومی ارتفاع منطقه را نشان می دهد. مناطق کوهستانی این حوضه عمدتاً در بخش های شرقی حوضه واقع شده اند در حالی که دشت ها در قسمت های غربی و جنوبی قرار دارند.

به طور کلی حوضه آبخیز کرخه دارای آب و هوای گرم و خشک است به جز مناطق کوهستانی شمال حوضه که دارای آب و هوای سرد و مرطوب است. جبهه های مدیترانه ای که در ارتباط با جریان های هوای غربی وارد کشور می شوند، بخش اصلی بارندگی های این منطقه را در آخر فصل پاییز و فصل زمستان تامین می کند. در مناطق کوهستانی نیز ممکن است جریان های همرفتی موجب بروز بارندگی در فصل بهار و ابتدای فصل تابستان شوند. میانگین بارندگی این منطقه ۵۳۹ میلی متر بوده و دامنه آن از ۳۱۰ میلیمتر تا ۷۰۰ میلیمتر در تغییر می باشد. نقشه توزیع مکانی بارندگی سالانه در شکل (۱) ارائه شده است. از نظر توزیع زمانی نیز بخش عمده بارش در فصل زمستان و سپس در فصل بهار و پاییز می باشد.

### • شاخص خشکسالی SPI

یکی از مرسوم ترین شاخص ها در تعیین اندازه خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش یا SPI است. SPI یک شاخص بسیار قوی و در عین حال ساده از لحاظ محاسبات است. برای محاسبه این شاخص تنها احتیاج به داده های بارش می باشد. همچنین این شاخص در تشخیص دوره های تر و خشک بسیار مؤثر عمل می کند. به طور معمول برای محاسبه SPI نیاز به ۲۰ تا ۳۰ سال داده ماهانه بارش است. یکی دیگر از مزیت اصلی بسیار مهم و اصلی SPI، قابلیت محاسبه آن در مقیاس های زمانی مختلف است که بر این اساس می توان خشکسالی های کوتاه مدت و همچنین بلندمدت را مورد بررسی قرار داد.

خشکسالی هواشناسی با استفاده از خروجی های ریزمقیاس نمایی شده از سه مدل آب و هوای جهانی استفاده نمودند. برای این منظور، شاخص بارش استاندارد شده SPI و شاخص استاندارد تبخیر و تعرق بارش SPEI تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 پیش بینی شدند. به طور کلی، نتایج آنها نشان می دهد که آنکارا شش رویداد خشکسالی شدید و دو خشکسالی شدید را در طول دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) تجربه کرده است. در حالیکه، پیش بینی ها نشان می دهد که در دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۱۶)، رویدادهای خشکسالی با تعداد و شدت کمتری و بدون خشکسالی شدید خواهد بود. در حالی که سناریوی RCP4.5 نشان می دهد که دوره های خشک در نیمه دوم دوره آینده بیشتر خواهد بود، سناریوی RCP8.5 پیش بینی می کند که دوره های خشک به طور مساوی در کل دوره آینده توزیع می شوند (Danandeh Mehr et al., 2020). در ایران، رحیمی و همکاران (۱۳۹۸) مدل ریزمقیاس نمایی دینامیکی PRECIS را در حوضه کرخه ارزیابی نمودند. نتایج ارزیابی مدل PRECIS نشان داد که به طور کلی، این مدل می تواند برآورد مناسبی از بارش و دما در منطقه داشته باشد، هر چند که درباره بارش های پاییزه و بهاره، به دلیل ماهیت محلی این بارش ها، مدل چندان توانمند نبوده است. از طرف دیگر با توجه به نتایج به دست آمده از ارزیابی های نقطه ای و منطقه ای به نظر می رسد که ارزیابی نقطه ای نمی تواند معیار مناسبی برای سطح یک منطقه باشد و بهتر است برای ارزیابی مدل های اقلیمی و بررسی تغییرات اقلیمی یک حوضه به صورت منطقه ای عمل شود (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸). در یک تحقیق دیگر منتصری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از توابع مفصل تحلیل منطقه ای و استخراج منحنی بزرگی-مساحت-فراوانی خشکسالی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را بررسی نمودند. بدین منظور از سری داده های شاخص خشکسالی یکماهه SPI در ۲۴ ایستگاه هواشناسی در محدوده مطالعاتی و ۷ خانواده تابع مفصل شامل کلایتون، گامبل، فرانک، جو، گالامبوس، پلاکت و نرمال برای مدل سازی توزیع احتمال توام دو متغیر همبسته بزرگی و مساحت تحت پوشش خشکسالی استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که خشکسالی یا ترسالی اکثریت محدوده مطالعاتی را تحت تاثیر قرار می دهند. در حالیکه رفتارهای نیمه یا شبه خشک دارای پوشش مساحت متفاوت با پراکندگی قابل توجه در محدوده مطالعاتی بوده و با افزایش بزرگی خشکسالی مساحت بیشتری از حوضه آبریز را در بر می گیرند (منتصری و همکاران، ۱۳۹۶). بررسی خشکسالی هواشناسی در ایستگاه ارومیه با استفاده از شاخص SPI و تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP توسط جوان (۱۴۰۰) انجام شده است. وی ابتدا با استفاده از داده های بارندگی، خشکسالی دوره پایه ۲۰۰۵-۲۰۰۵ و دو دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۰-۲۰۵۱ در مقیاسهای زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در ایستگاه ارومیه محاسبه نمود. داده های بارش دوره های آتی به کمک مدل گزارش پنجم CanESM2 و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM تعیین شدند. سپس روند مقادیر SPI در دوره پایه و آینده با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شد. بررسی تغییرات بارش نشان داد که در دوره آینده اول (2031-2050)، بر اساس دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5، میانگین بارش افزایش می یابد ولی در دوره دوم (2051-2070) کاهش



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

کوتاهتر را حذف و تغییرات سری هموارتر می نماید. در این سری ها بهتر می توان تعداد رویدادهای خشکسالی را تعیین و تداوم و میزان شدت آنها را ارزیابی نمود. از این رو SPI-12 را می توان به عنوان یک شاخص مناسب برای ارزیابی وضعیت منابع آبی مورد استفاده قرار داد. از طرف دیگر با توجه به خروجی مدل های اقلیمی که برای شبیه سازی داده های بلند مدت طراحی گردیده اند در این طرح برای بررسی خشکسالی از SPI ۱۲ ماهه استفاده می گردد.

### ۳- بحث و نتایج

در این مطالعه مدل دینامیکی PRECIS با تفکیک افقی ۰/۴۴ درجه در شبکه هایی با ابعاد ۵۰ کیلومتر اجرا شد. برای استفاده از نتایج مدل PRECIS ابتدا لازم است مدل مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور ابتدا مدل برای دوره پایه (۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰) اجرا شده و مقادیر بارش و دمای شبیه سازی شده با مقادیر مشاهده ای ایستگاهها مورد مقایسه قرار گرفتند. ارزیابی مدل PRECIS نشان می دهد که به طور کلی مدل توانسته است برآورد مناسبی از بارش در منطقه را نشان بدهد. در جدول (۲) پارامترهای آماری بارندگی منطقه ای مشاهده ای و بارندگی خروجی مدل مورد مقایسه قرار گرفته اند. همانطور که در جدول (۳) مشخص است مقدار انحراف میانگین در همه ماه ها کمتر از ۲۰ میلیمتر و مقدار خطا (MAE) بین ۰/۴ تا ۲۲ میلیمتر می باشد. بیشترین خطا و انحراف با توجه به مقادیر مشاهده ای به جز ماه های تابستان مربوط به ماه اکتبر (با حدود ۴۸ درصد) و سپس نوامبر (با حدود ۳۰ درصد) می باشد. (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸). بعد از ارزیابی مدل طی دوره پایه، مدل آب و هوایی برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ و تحت دو سناریو آب و هوایی A2 و B2 اجرا گردید. ارزیابی سناریوی A2، طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰، نشان می دهد میانگین بارندگی در اکثر ماهها بیش از دوره کنونی برآورد شده است، هرچند این افزایش، به طور میانگین حدود ۱۱ درصد خواهد بود. بررسی بارش فصول نشان می دهد که بارش به جز در فصل بهار که اندکی کاهش خواهد یافت (حدود ۲ درصد) در بقیه ماه ها افزایش خواهد داشت. به طوریکه در تابستان حدود ۳۴ درصد، در پاییز حدود ۲۱ درصد و در زمستان این افزایش

SPI که بر اساس احتمال وقوع بارش محاسبه می شود، نشان دهنده شرایط بارش دریاقتی نسبت به مقدار طولانی مدت آن منطقه است. در تعیین احتمال وقوع بارش، معمولاً تابع گاما، پیرسون تیپ سه و گامای ناقص (در مناطقی که خصوصاً بارش های دریاقتی در برخی از ماهها بسیار کم و نزدیک به صفر است) به فراوانی مورد استفاده قرار می گیرند. البته باید در نظر داشت که بر اساس تحقیقات انجام شده، در برخی از مناطق ممکن است توزیع گاما نتواند به عنوان مناسب ترین توزیع بر داده های بارندگی برآزش یابد. همچنین برخی از توابع دیگر مانند لوگ نرمال، کاپا و ویک بای مورد توجه قرار گرفته اند (Mackee et al., 1993). جدول (۱) نشان دهنده کلاس های مختلف خشکسالی بر اساس شاخص SPI است.

جدول (۱): طبقه بندی شاخص SPI و تعریف کلاس های خشکسالی

متناظر با آن

مقدار شاخص SPI	طبقه بندی خشکسالی
۲ و بیشتر از آن	به شدت مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱/۰۰ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۰ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم
۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی ملایم
-۱/۰۰ تا -۱/۴۹	نسبتاً خشک
-۱/۵۰ تا -۱/۹۹	خیلی خشک
-۲/۰۰ و کمتر از آن	به شدت خشک

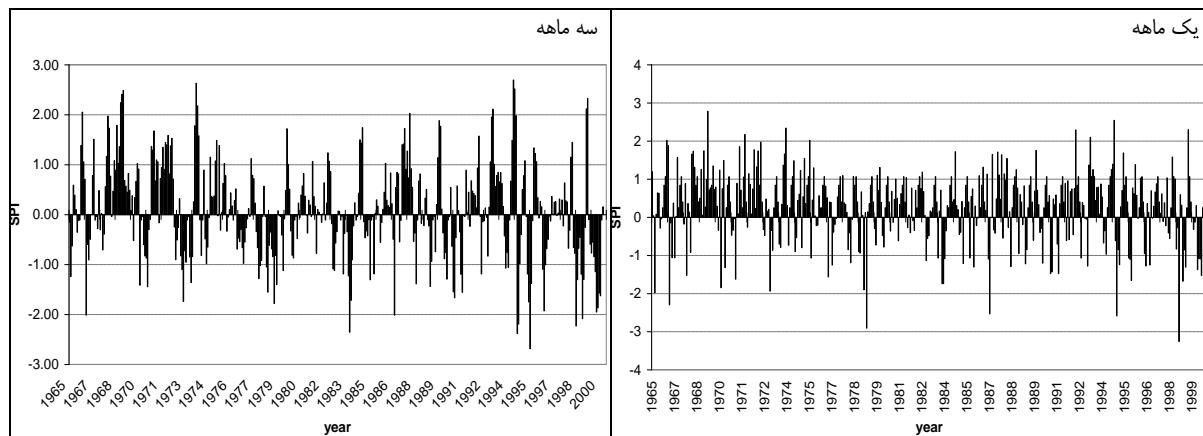
بررسی ها نشان می دهد که نوسان SPI در پایه های زمانی کوتاه مانند ۱ ماهه و ۳ ماهه و حتی ۶ ماهه نسبت به میانگین خیلی زیاد است زیرا هر میزان بارندگی قادر است مقدار شاخص را در این مقیاس زمانی به سرعت تغییر دهد. این در حالی است که سریهای زمانی SPI دوازده ماهه نوسانهای زیاد موجود در سریهای SPI با پایه زمانی

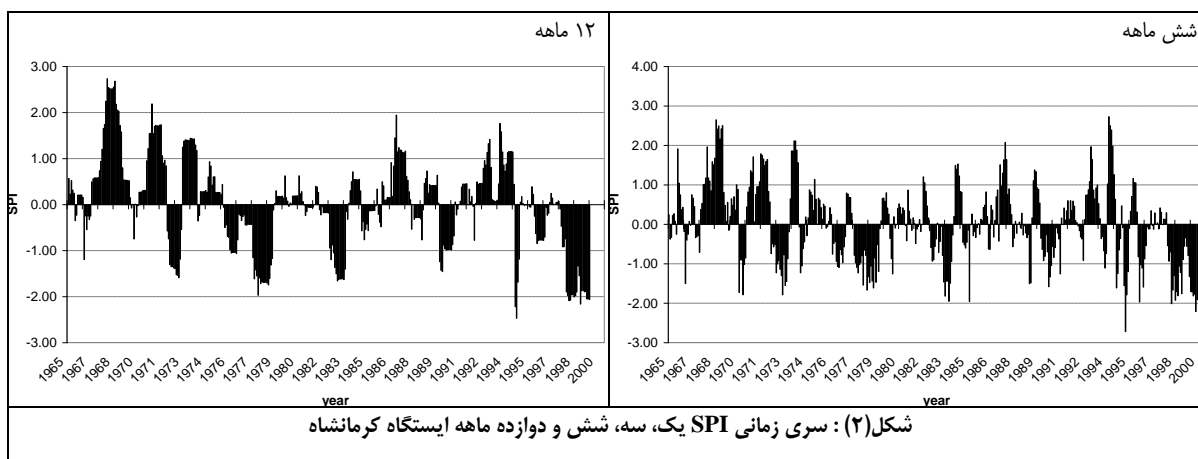
گردید. ابتدا برای تحلیل روند تغییرات زمانی خشکسالی، نمودار سری زمانی SPI در مقیاسهای زمانی مختلف ایستگاههای مختلف رسم گردید. شکل (۲) نمودار سری زمانی SPI در مقیاسهای زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه را به عنوان نمونه برای ایستگاه کرمانشاه نشان می دهد. همانطور که در شکل مشخص است تغییرات SPI با افزایش مقیاس زمانی هموارتر می گردد. نوسان شاخص SPI ۱ و ۳ و حتی ۶ ماهه نسبت به میانگین خیلی زیاد است زیرا هر میزان بارندگی قادر است مقدار شاخص را در این مقیاس زمانی به سرعت تغییر دهد. این در حالیست که در نمودارهای ۱۲ ماهه بهتر می توان تعداد رویدادهای خشکسالی را تعیین و تداوم و میزان شدت آنها را ارزیابی نمود. لذا برای بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی در منطقه مقدار SPI ۱۲ ماهه به عنوان شاخص خشکسالی سالانه مورد استفاده قرار گرفت. بررسی نمودار شاخص SPI دوازده ماهه نشان می دهد که در اکثر ایستگاهها در سال های ۱۹۶۷، ۱۹۷۰، ۱۹۷۳، ۱۹۷۹، ۱۹۸۰، ۱۹۸۲، ۱۹۸۳، ۱۹۸۴، ۱۹۸۵، ۱۹۸۹، ۱۹۹۱، ۱۹۹۷، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ خشکسالی دارای وضعیت خفیف تا شدید را تجربه کرده است.

حدود ۹/۵ درصد خواهد بود. میانگین دمای حداقل و حداکثر تحت سناریوی A2، در همه ماهها به طور متوسط ۵ درجه افزایش نشان می دهد؛ همچنین هر دو این پارامترها، طی دوره آتی روندی افزایشی نیز خواهند داشت. افزایش میانگین دمای حداکثر در پاییز، کمتر از سایر فصول است؛ در حالی که این افزایش برای میانگین دمای حداقل در زمستان، کمتر از بقیه فصول خواهد بود (رحیمی و همکاران، ۱۴۰۰). میانگین بارش سالانه تحت سناریو B2 به طور کلی حدود ۲۰ میلیمتر (حدود ۷ درصد) افزایش داشته است. بررسی بارش فصول نشان می دهد که بارش به جز در فصل تابستان که کاهش خواهد یافت (حدود ۱۳ درصد) در بقیه ماه ها افزایش خواهد داشت. به طوریکه در فصل بهار حدود ۱۵ درصد، در فصل پاییز حدود ۱۲ درصد و در فصل زمستان این افزایش حدود ۲ درصد خواهد بود. تحت سناریوی B2، میانگین دمای حداقل و حداکثر، حدود ۳ درجه سانتی گراد افزایش یافته است، هر چند دمای حداکثر طی دوره آتی تقریباً فاقد روند می باشد، در حالی که روند دمای حداقل، طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ همچنان افزایشی است. برای بررسی خشکسالی هواشناسی در حوضه کرخه ابتدا مقادیر SPI در پایه های زمانی ۳، ۶، ۱۲ ماه برای هر یک از ایستگاهها محاسبه

جدول (۲): پارامترهای آماری بارندگی منطقه ای و مقدار خطای مدل آب و هوایی

خطا		مدل PRECIS					مشاهده ای					
MAE	MBE	%CV	STD	MEAN	MAX	MIN	%CV	STD	MEAN	MAX	MIN	MONTH
۲۲/۰	۲۰/۶	۳۸/۶	۲۱/۲	۵۵/۰	۱۰۸/۳	۱۳/۶	۱۴/۳	۱۰/۸	۷۵/۵	۱۱۳/۰	۴۲/۱	JAN
۱۸/۷	۱۰/۴	۳۷/۵	۲۲/۹	۶۰/۹	۱۳۷/۰	۲۰/۶	۱۵/۱	۱۰/۸	۷۱/۴	۱۱۴/۰	۴۲/۰	FEB
۲۰/۶	۱۹/۷	۲۵/۲	۲۳/۲	۹۲/۲	۱۵۵/۵	۵۲/۹	۸/۷	۸/۱	۹۲/۸	۱۲۳/۶	۶۱/۲	MAR
۱۵/۷	-۱۴/۵	۲۹/۱	۲۰/۶	۷۰/۹	۱۲۹/۴	۳۹/۴	۱۳/۵	۷/۹	۵۸/۷	۹۸/۹	۳۱/۰	APR
۰/۴	۸/۰	۲۶/۹	۶/۰	۲۲/۲	۳۴/۵	۱۰/۶	۱۶/۱	۴/۹	۳۰/۱	۴۷/۹	۱۴/۷	MAY
۰/۴	-۰/۳	۶۶/۱	۰/۵	-۰/۸	۲/۳	۰/۱	۶۱/۶	-۰/۳	۰/۵	۱/۴	۰/۰	JUN
۲/۵	-۲/۵	۳۷/۹	۱/۱	۲/۹	۶/۷	۱/۲	۱۱۷/۵	-۰/۴	-۰/۳	۱/۸	۰/۰	JUL
۲/۷	-۲/۷	۲۵/۵	۱/۶	۳/۰	۷/۱	۰/۶	۵۸/۴	-۰/۲	۰/۴	۲/۰	۰/۰	AUG
۱/۸	-۱/۷	۴۳/۱	۱/۰	۲/۲	۵/۵	۰/۸	۸۷/۶	-۰/۴	-۰/۵	۱/۳	۰/۰	SEP
۱۲/۷	۱۲/۶	۳۹/۷	۵/۵	۱۳/۸	۲۹/۸	۴/۷	۲۲/۰	۵/۸	۲۶/۴	۴۱/۴	۱۰/۲	OCT
۱۸/۷	-۱۶/۵	۲۹/۱	۲۰/۶	۷۰/۹	۱۲۹/۴	۳۹/۴	۱۰/۲	۵/۵	۵۴/۱	۶۹/۱	۳۳/۰	NOV
۲۰/۶	-۱۴/۱	۳۳/۴	۲۸/۴	۸۵/۰	۱۷۳/۰	۲۹/۹	۲۲/۷	۱۶/۰	۷۰/۵	۱۴۹/۳	۳۹/۲	DEC





را تجربه کرده است. به منظور طبقه بندی منطقه از نظر خطر وقوع خشکسالی از نقشه توزیع احتمال وقوع خشکسالی استفاده گردید. برای تهیه نقشه های توزیع احتمال وقوع در منطقه، از مقادیر SPI دوازده ماهه (معرف خشکسالی سالانه) و روش احتمال و بیول استفاده گردید. برای برآورد توزیع مکانی احتمال خشکسالی، احتمال وقوع SPI کمتر و یا مساوی ۱- هر ایستگاه، که معرف خشکسالی می باشد، استخراج گردید و سپس میانمایی گردید. شکل (۴) توزیع احتمال وقوع خشکسالی در منطقه را نشان می دهد. همانطور که در شکل نیز مشخص است احتمال وقوع خشکسالی در منطقه بین ۱۲ تا ۱۷ درصد می باشد. قسمت اعظم منطقه بین ۱۴ تا ۱۵/۵٪ احتمال وقوع خشکسالی را دارد. احتمال وقوع خشکسالی در ایستگاههای کرمانشاه و خرم آباد به ترتیب برابر ۱۷ و ۱۵ درصد می باشد. برای بررسی خشکسالی هواشناسی طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰، مقادیر SPI با استفاده از بارش شبیه سازی شده طی دوره آبی تحت سناریوهای A2 و B2 محاسبه گردید. شکل (۵) نمودار سری زمانی SPI را برای دو ایستگاه کرمانشاه و خرم آباد تحت سناریو A2 نشان می دهد. همانطور که در شکل مشخص است تحت این سناریو ایستگاه کرمانشاه در سالهای ۲۰۷۷، ۲۰۸۱ تا ۲۰۸۳، ۲۰۸۷ تا ۲۰۸۹ و ۲۰۹۳ تا ۲۰۹۵ خشکی نسبتاً شدیدی را خواهد داشت. این در حالیست که تحت همین سناریو ایستگاه خرم آباد نیز سالهای ۲۰۷۰، ۲۰۷۷، ۲۰۸۱ تا ۲۰۸۳، ۲۰۸۷ تا ۲۰۸۹ و ۲۰۹۲ تا ۲۰۹۵ خشکی را تجربه خواهد کرد. سری زمانی SPI برای دو ایستگاه کرمانشاه و خرم آباد تحت سناریو B2 بررسی گردید (شکل ۶). همانطور که در شکل مشخص است برای این سناریو در ایستگاه کرمانشاه سالهای ۲۰۷۷، ۲۰۸۱ تا ۲۰۸۳، ۲۰۸۷ تا ۲۰۸۹ و ۲۰۹۳ تا ۲۰۹۴، ۲۰۹۵ تا ۲۰۹۹ و ۲۱۰۰ در ایستگاه خرم آباد سالهای ۲۰۷۱، ۲۰۷۷، ۲۰۸۱ تا ۲۰۸۳، ۲۰۸۸ تا ۲۰۸۹ و ۲۰۹۱ تا ۲۰۹۶ خشکسالیهای با شدتهای متفاوتی را تجربه خواهند کرد. بررسی سالهای خشک در این دو سناریو نشان می دهد که تقریباً سالهای خشک در هر دو مشابه می باشند. نتایج بررسی ویژگی های خشکسالیها طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ در جدول (۳) ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می شود تحت سناریو A2 بیشترین تعداد خشکسالی روی داده در هر دو ایستگاه، از نوع خشکسالی های ۱ تا ۶ ماهه می باشد و هرچه تداوم افزایش می یابد از تعداد رویدادهای خشکسالی به یکباره کاسته می شود. در ایستگاه کرمانشاه تعداد ۴۵ خشکسالی در دوره آبی خواهد داد که این خشکسالیها ۱ تا ۱۱ ماه تداوم دارند. مجموع ماههای خشک طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ در این ایستگاه ۱۰۴ ماه خشک ( تقریباً مشابه دوره

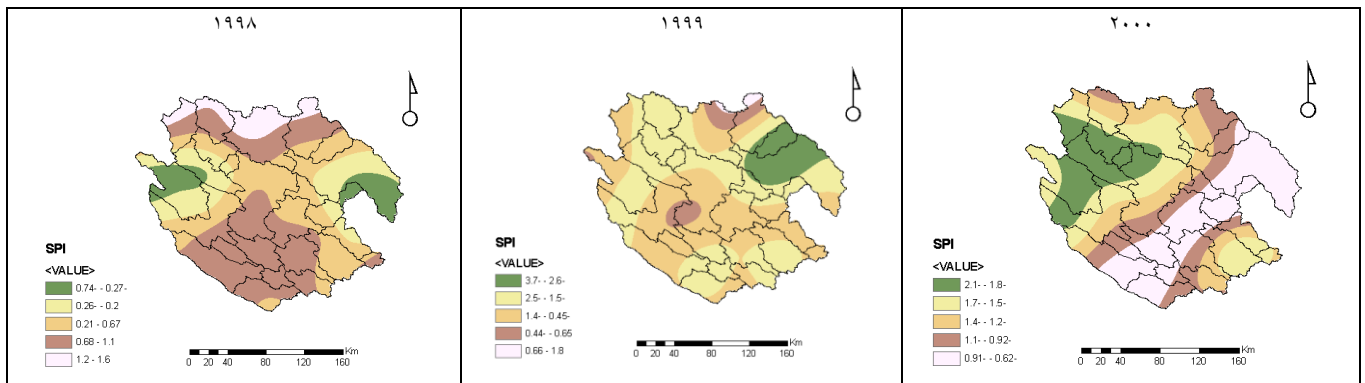
ویژگیهای اصلی هر رویداد خشکسالی شامل تداوم، شدت و بزرگی خشکسالی می باشد. در صورتیکه به این نکته توجه شود که هر رویداد بلند مدت خشکسالی لزوماً شدیدترین و زیانبارترین رویداد خشکسالی نیست، مطالعه این ویژگیها اهمیت بیشتری پیدا می کند. از اینرو پارامترهای دیگر خشکسالی از قبیل زمان آغاز خشکسالی، میانگین شدت، بیشینه شدت و بزرگی خشکسالی باید در کنار تداوم خشکسالی مورد توجه قرار گیرند. به منظور بررسی ویژگی های خشکسالیها می باید کلیه رویدادهای خشکسالی روی داده در هر ایستگاه مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه سطح آستانه برابر ۰/۵- انتخاب گردیده است. جدول (۳) تعداد رویداد های خشکسالی ایستگاههای منطقه مطالعاتی را برای دو ایستگاه منتخب منطقه (ایستگاه های خرم آباد و کرمانشاه که نزدیکترین نقاط به شبکه خروجی مدل اقلیمی می باشند، استفاده شده است) را نشان می دهند. انتخاب این دو ایستگاه به این دلیل هست که برای مقایسه خصوصیات خشکسالی دوره پایه با خشکسالی دوره آبی باید از داده های بارش شبیه سازی شده توسط مدل اقلیمی که به صورت شبکه ای (raster) می باشد، استفاده نمود و برای اینکه امکان مقایسه وجود داشته باشد لازم است نقاط شبکه خروجی مدل از لحاظ موقعیت مکانی تا حد ممکن منطبق با ایستگاهها باشد. لذا با انطباق ایستگاهها بر روی شبکه نقاط خروجی مدل اقلیمی دو ایستگاه خرم آباد و کرمانشاه که نزدیکترین نقاط به شبکه خروجی مدل می باشند، انتخاب گردیدند. همانگونه که ملاحظه می شود بیشترین تعداد خشکسالی روی داده در هر دو ایستگاه، از نوع خشکسالی های ۱ تا ۳ ماهه می باشد و هرچه تداوم افزایش می یابد از تعداد رویدادهای خشکسالی به یکباره کاسته می شود. در ایستگاه کرمانشاه تعداد ۴۵ خشکسالی با تداوم های متفاوت (در مجموع ۱۰۶ ماه خشک) در دوره مورد مطالعه (سالهای ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰) رو داده است که این خشکسالیها ۱ تا ۹ ماه تداوم دارند. در مورد ایستگاه خرم آباد نیز تعداد خشکسالی ها طی دوره آماری ۳۸ مورد با تداوم های ۱ تا ۶ ماهه (در مجموع ۹۰ ماه خشک) بوده است. به منظور بررسی توزیع مکانی خشکسالی در منطقه و دوره های خشک فراگیر در منطقه مورد مطالعه نقشه های SPI سپتامبر سالهای مختلف ترسیم گردید. شکل (۳) به عنوان نمونه توزیع مکانی SPI را برای سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ را نشان می دهد. با توجه به نقشه های توزیع مکانی شاخص خشکسالی می توان گفت که حوضه کرخه در سالهای ۱۹۶۷، ۱۹۷۰، ۱۹۷۳، ۱۹۷۹، ۱۹۸۰، ۱۹۸۲، ۱۹۸۳، ۱۹۸۴، ۱۹۸۵، ۱۹۸۹، ۱۹۹۱، ۱۹۹۷، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ خشکسالی فراگیری که دربرگیرنده وضعیت های خفیف تا شدید است

این سناریو نسبت به دوره پایه نشان می دهد که شدت و بزرگی خشکسالی تحت سناریو A2 در این ایستگاه کاهش یافته است در حالی که خشکسالی با تداوم های طولانی تر (تا ۱۱ ماهه) نیز رخ خواهد داد. لازم به ذکر است که تحت این سناریو تعداد وقایع خشکسالی و همچنین تعداد ماههای خشک ایستگاه خرم آباد افزایش خواهد داشت.

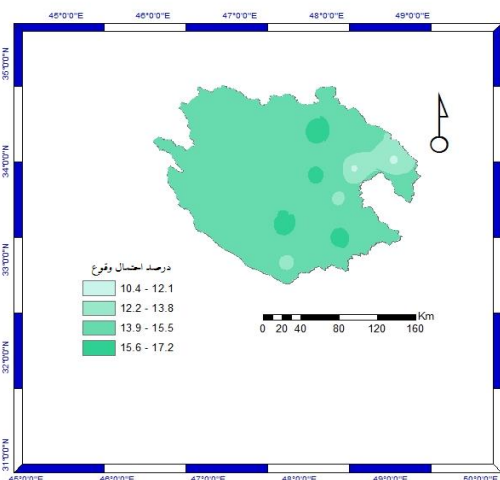
پایه خواهد بود. مقدار میانگین شدت نیز مشابه دوره پایه و بزرگی خشکسالی کاهش یافته است. این در حالی است که طی دوره آتی، خشکسالیهایی با تداوم های طولانی تر ( نظیر ۶ تا ۱۱ ماه) تحت این سناریو نسبت به دوره پایه اتفاق خواهد افتاد. در ایستگاه خرم آباد، تعداد خشکسالی ها طی دوره ۲۰۷۰ تا ۱۰۰، ۴۵ مورد با تداوم های ۱ تا ۱۰ ماهه (با ۹۹ ماه خشک) خواهد بود. بررسی ویژگیهای خشکسالی تحت

جدول (۳): ویژگیهای رویدادهای خشکسالی با تداوم های مختلف

ایستگاه	تداوم	تعداد خشکسالی	حداقل شدت	حداکثر شدت	میانگین شدت	بزرگی خشکسالی
کرمانشاه	۱ ماهه	20	-2.01	-0.52	-0.94	-18.76
	۲ ماهه	6	-1.55	-0.51	-0.98	-11.72
	۳ ماهه	10	-2.38	-0.55	-1.15	-34.57
	۴ ماهه	5	-2.68	-0.60	-1.28	-25.52
	۵ ماهه	3	-2.23	-0.66	-1.10	-16.52
خرم آباد	۹ ماهه	1	-1.95	-0.55	-1.21	-10.90
	۱ ماهه	17	-1.74	-0.53	-0.85	-14.49
	۲ ماهه	6	-2.06	-0.51	-1.04	-12.49
	۳ ماهه	.....	.....	.....	.....	.....
	۴ ماهه	7	-2.59	-0.52	-1.38	-38.71
	۵ ماهه	5	-2.87	-0.52	-0.99	-24.76
۶ ماهه	3	-2.55	-0.56	-1.42	-25.66	

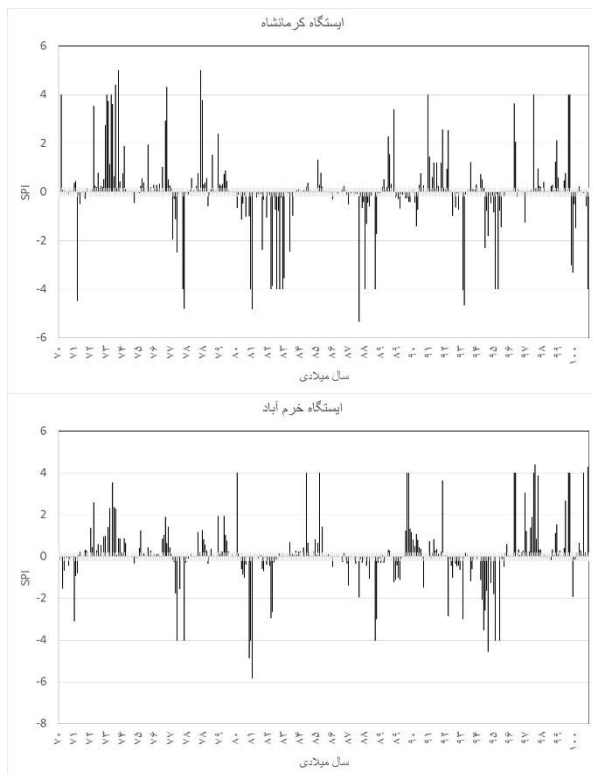


شکل (۳) توزیع مکانی SPI دوازده ماهه برای سالهای مختلف



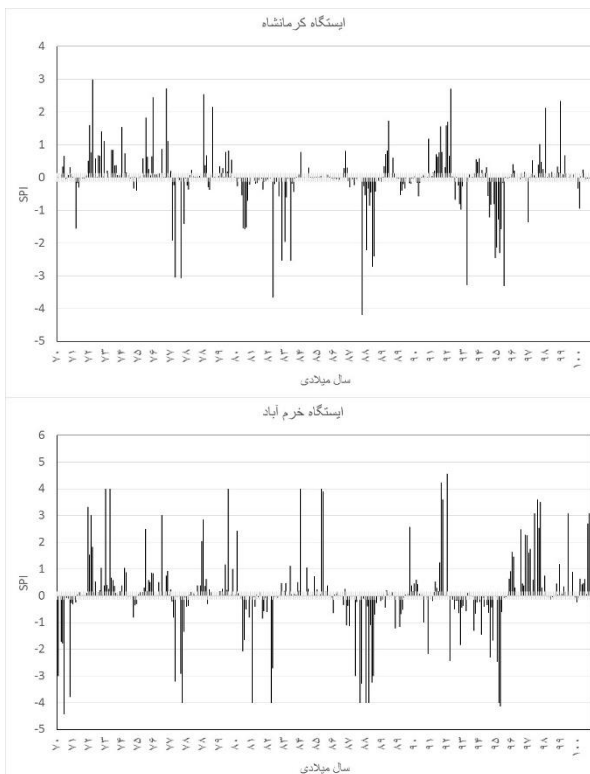
شکل (۴): نقشه درصد احتمال وقوع خشکسالی سالانه

همانگونه که در جدول (۴) ملاحظه می شود تحت سناریو B2 بیشترین تعداد خشکسالی روی داده در هر دو ایستگاه، از نوع خشکسالی های ۱ تا ۵ ماهه می باشند. در ایستگاه کرمانشاه طی دوره آتی تحت این سناریو تعداد ۵۰ خشکسالی با تعداد ۹۵ ماه خشک روی خواهد داد که این خشکسالیها ۱ تا ۱۲ ماه تداوم دارند. مقادیر شدت و بزرگی خشکسالی تحت این سناریو در مقایسه با دوره پایه کاهش یافته است. این در حالیست که شدت خشکسالی و تعداد ماه های خشک تحت سناریو B2 نسبت به سناریو A2 نیز کمتر می باشد هر چند تداوم خشکسالی ها اندکی افزایش نشان خواهد داد. به طور کلی می توان گفت که در ایستگاه کرمانشاه طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ و تحت سناریو های A2 و B2 شدت خشکسالی اندکی کمتر ولی تداوم خشکسالی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت.



شکل (۶): سری زمانی SPI دوازده ماهه برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریو B2 در دو ایستگاه کرمانشاه و ایستگاه خرم آباد

بررسی احتمال وقوع خشکسالی در هر یک از ایستگاهها تحت سناریوهای مختلف بررسی گردید. نتایج نشان می دهد که احتمال وقوع خشکسالی برای ایستگاه کرمانشاه تحت سناریو A2 برابر ۹ درصد و تحت سناریو B2 برابر ۱۵ درصد می باشد که نسبت به احتمال وقوع خشکسالی در دوره پایه همین ایستگاه ( برابر ۱۷ درصد) کاهش یافته است. مقادیر احتمال وقوع خشکسالی برای ایستگاه خرم آباد تحت سناریوهای A2 و B2 به ترتیب برابر ۱۲ و ۱۹ درصد می باشد. مقایسه احتمال وقوع برای سناریوهای مختلف نشان میدهد که وقوع خشکسالی تحت سناریو B2 با احتمال بالاتری نسبت به سناریو A2 همراه خواهد بود.



شکل (۵): سری زمانی SPI دوازده ماهه برای دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریو A2 در دو ایستگاه کرمانشاه و ایستگاه خرم آباد

بررسی مقادیر شدت و بزرگی خشکسالی در ایستگاه خرم آباد تحت سناریو B2 نسبت به دوره پایه، کاهش را نشان می دهد. هر چند تعداد وقایع خشکسالی (۴۸ مورد) نسبت به دوره پایه (۳۸ مورد خشکسالی) و همچنین تعداد ماههای خشک در دوره آتی افزایش خواهد یافت. همچنین در این دوره تداوم خشکسالیها نیز افزایش خواهد یافت. ویژگی های خشکسالی از نظر شدت و بزرگی و تداوم در هر دو سناریوها تقریباً مشابه می باشد هر چند شدت خشکسالی تحت سناریو B2 اندکی کاهش را نسبت به سناریو A2 نشان می دهد.

جدول (۴): ویژگیهای رویدادهای خشکسالی با تداوم های مختلف تحت سناریوهای A2 و B2 طی دوره آتی

ایستگاه	تداوم	تعداد خشکسالی	حداقل شدت	حداکثر شدت	میانگین شدت	بزرگی خشکسالی
کرمانشاه A2	1	16	-3.2	0.0	-0.5	-8.6
	2	7	-3.6	0.0	-0.6	-8.6
	3	7	-4.0	0.0	-1.0	-21.5
	4	6	-4.9	0.0	-1.1	-27.3
	5	5	-3.0	0.0	-0.9	-21.3
	6	1	-3.1	0.0	-1.4	-8.4
	8	1	-4.0	-0.2	-1.0	-7.8
	9	1	-4.0	0.0	-2.4	-21.2
	11	1	-4.0	0.0	-1.0	-11.4
کرمانشاه B2	1	23	-4.5	0.0	-1.14	26.3
	2	8	-3.1	0.0	-0.6	-9.9
	3	7	-4.0	0.0	-0.8	-16.7

-19.6	-1.0	0.0	-3.7	5	4	
-14.1	-0.9	0.0	-4.0	3	5	
-4.5	-0.8	0.0	-3.7	1	6	
-2.5	-0.4	0.0	-0.8	1	7	
-8.2	-0.8	0.0	-4.0	1	11	
17.4	-1.45	0.0	-4.0	1	12	
-9.5	-0.5	0.0	-3.0	18	1	خرم آباد A2
-15.9	-0.8	0.0	-3.1	10	2	
-8.9	-0.4	0.0	-1.7	7	3	
-18.6	-1.2	0.0	-4.7	4	4	
-13.8	-1.4	0.0	-4.0	2	5	
-11.8	-1.0	0.0	-2.4	2	6	
-5.7	-0.7	-0.1	-2.1	1	8	
-8.6	-0.9	-0.1	-3.0	1	10	
-13.3	-0.7	0.0	-4.0	19	1	
-13.1	-0.5	0.0	-2.5	14	2	
-21.0	-1.2	0.0	-4.0	6	3	خرم آباد B2
-13.0	-1.1	-0.1	-3.4	3	4	
-4.1	-0.8	0.0	-2.4	1	5	
-13.0	-1.1	0.0	-2.9	3	6	
-8.4	-1.2	-0.1	-3.0	1	7	
-3.2	-0.4	0.0	-1.0	1	9	

- بررسی خشکسالی دوره پایه بیانگر خشک بودن سال های ۱۹۸۵، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ می باشد که در بیشتر ایستگاهها قابل شناسایی است.
- بررسی تعداد رویداد های خشکسالی طی دوره پایه نشان می دهد که بیشترین تعداد خشکسالی روی داده در همه ایستگاهها، از نوع خشکسالی های ۱ تا ۳ ماهه می باشد؛ رویدادهای ۴ تا ۷ ماهه نیز در همه ایستگاهها تعداد قابل توجهی را نشان می دهد. بررسی ویژگیهای رویدادهای خشکسالی های مختلف نشان می دهد که ایستگاههای مورد مطالعه از حداقل ۲ تا حداکثر ۱۹ رویداد خشکسالی را تجربه کرده اند. میانگین شدت این خشکسالی ها  $0.13-$  تا  $1.41-$  و حداکثر شدت آن از  $0.2-$  تا  $2.7-$  می باشد
- بررسی خشکسالی هواشناسی طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ نشان می دهد که تحت هر دو سناریو A2 و B2 شدت خشکسالی ها نسبت به دوره پایه کاهش خواهد داشت هر چند تداوم خشکسالی و تعداد ماههای خشک افزایش نشان می دهد.
- بررسی احتمال وقوع خشکسالی تحت سناریوهای مختلف نشان می دهد که احتمال وقوع خشکسالی برای ایستگاه کرمانشاه تحت سناریو A2 برابر ۹ درصد و تحت سناریو B2 برابر ۱۵ درصد می باشد که نسبت به احتمال وقوع خشکسالی در دوره پایه همین ایستگاه ( برابر ۱۷ درصد) کاهش یافته است. مقادیر احتمال وقوع خشکسالی برای ایستگاه خرم آباد تحت سناریو های A2 و B2 به ترتیب برابر ۱۲ و ۱۹ درصد می باشد همین احتمال برای دوره پایه ایستگاه خرم آباد برابر ۱۵ درصد می باشد. مقایسه احتمال وقوع برای سناریوهای مختلف نشان میدهد که وقوع

#### ۴- نتیجه گیری

- بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی حوضه کرخه با کمک مدل اقلیمی دینامیکی طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ نتایج زیر را به طور خلاصه نشان می دهد:
- ارزیابی سناریوی A2، طی دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰، نشان می دهد میانگین بارندگی در اکثر ماهها بیش از دوره کنونی برآورد شده است، هر چند این افزایش، به طور میانگین حدود ۱۱ درصد خواهد بود. از طرف دیگر میانگین دمای حداقل و حداکثر تحت سناریوی A2، در همه ماهها به طور متوسط ۵ درجه افزایش نشان می دهد؛ همچنین هر دو این پارامترها، طی دوره آتی روندی افزایشی نیز خواهند داشت.
- بررسی منطقه ای بارش شبیه سازی شده تحت سناریوی B2 نیز، به طور میانگین، حدود ۷ درصد افزایش نشان داده است. تحت سناریوی B2، میانگین دمای حداقل و حداکثر، حدود ۳ درجه سانتی گراد افزایش یافته است
- نتایج نشان می دهد که برای ارزیابی خشکسالی، شاخص SPI در پایه زمانی سه و شش ماهه نوسانات زیادی را در اکثر ایستگاهها نشان می دهد. لذا با توجه به این نوسانات و اینکه برای بررسی تغییرات خشکسالی در دوره های آتی باید از داده های خروجی مدل های اقلیمی که معمولا برای دوره های کوتاه مدت از دقت کمتری برخوردار هستند استفاده شود، برای بررسی خشکسالی هواشناسی از شاخص SPI در پایه ۱۲ ماهه استفاده گردید.



خشکسالی تحت سناریو B2 با احتمال بالاتری نسبت به سناریو A2 همراه خواهد بود.

## منابع

- جوان، خدیجه. 1400. بررسی خشکسالی هواشناسی در ایستگاه ارومیه با استفاده از شاخص SPI تحت سناریوهای تغییر اقلیم (RCP). پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی. 2(5): 81-94.
- رحیمی بندرآبادی، س. جهانبخش، سعید و بهروز ساری صراف. ۱۳۹۸. ارزیابی ریزمقیاس نمایی دینامیکی برای مطالعه تغییرات اقلیمی در حوضه کرخه. مهندسی و مدیریت آبخیز. 11(3): 633-649.
- رحیمی بندرآبادی، س. جهانبخش، سعید و بهروز ساری صراف. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات اقلیمی حوضه کرخه با استفاده از ریزمقیاس نمایی دینامیکی. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز. 13(3): 563-576.
- منتصری، مجید، امیر عطایی، بابک و حسن رضایی. 1396. تحلیل منطقه ای و استخراج منحنی بزرگی- مساحت- فراوانی خشکسالی با استفاده از توابع مفصل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه آب و خاک، ۳۱ (۴): ۱۲۶۰-۱۲۷۷.
- Alamgir, M., Khan, N., Shahid, S. 2020. Evaluating severity–area–frequency (SAF) of seasonal droughts in Bangladesh under climate change scenarios. *Stoch Environ Res Risk Assess* 34, 447–464 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01768-2>
- Brito, S. S. B., Cunha, A. P. M., Cunningham, C., Alvalá, R. C., Marengo, J. A., & Carvalho, M. A. (2018). Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, 38(2), 517– 529.
- Danandeh Mehr, A., et al., 2019. Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal*, 65 (2), 254–268.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, USA, 179-184.
- Zacharias, M., S. N., Kumar, S. D. Singh, D. N. Swaroopa Rani and P. K. Aggarwal. 2015. Evaluation of a regional climate model for impact assessment of climate change on crop productivity in the tropics. *CURRENT SCIENCE*, 108 (6):119-1126.

# Projection of Meteorological Drought Karkheh Basin Under Climate Change Scenarios

Sima Rahimi Bondarabadi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>-Associate Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

\*Email Address: rahimi\_si@yahoo.com

## Abstract

### Introduction

Although climate change is expected to affect many parts of the environment, water is the most critical factor affected by climate change. Iran is always facing limited water resources, and due to the fact that climate change can be considered an aggravating factor in the water crisis, projecting the effect of climate change on the future drought is very important for managing water resources. In this study, the effects of climate change on the meteorological drought of Karkheh basin in the future have been investigated by dynamical model (PRECIS) and under A2 and B2 emission scenarios.

### Methodology

In this study, PRECIS dynamic downscaling model was used to estimate precipitation and temperature in the base period (1960 to 2000) and future period from 2070 to 2100 and under two scenarios A2 and B2. For this purpose, the PRECIS model was implemented with a horizontal separation of 0.44 degrees in grids. To use PRECIS model results, it is necessary to evaluate the model first. For this purpose, the model was first run for the 1960 to 1990 years and the projected precipitation and temperature values were compared with the observed values of the stations. The study of climate changes in Karkheh basin showed that under scenario A2, the amount of precipitation will increase by about 11% and the average minimum and maximum temperature will increase by about 5 degrees. For scenario B2, the amount of precipitation will increase by about 7% and the average minimum and maximum temperature will increase by about 3 degrees. Then, using SPI index drought analysis was performed. The variability of SPI index for 1, 3 and even 6 months is very high compared to the average because any amount of rainfall can change the value of the index quickly in this time scale. This is while the 12-month index can better determine the number of drought events and evaluate their duration and intensity. Therefore, to investigate the meteorological drought in the study area, the 12-month SPI value was used as an annual drought index. In order to investigate the characteristics of droughts, two selected stations in the region, Khorramabad and Kermanshah stations, which are the closest points to the output grid of the climate model, have been used. The choice of these two stations is due to the fact that in order to compare the drought characteristics of the base period with the drought of the future period, the rainfall data simulated by the climate model which is in the form of a grid (raster) should be used and in order to be able to compare it is necessary that the output grid points of the model match the stations as much as possible in terms of location. Therefore, by adapting the stations on the network of output points of the climate model, two stations, Khorramabad and Kermanshah, which are the closest points to the output grid of the model, were selected. The study of meteorological drought using the SPI index shows that several major droughts occurred in 1966-67, 1970-71, 1973, 1977-78, 1984, 1991, 1995, 1998-2000. The study of drought during the period 2070 to 2100 in Kermanshah and Khorramabad stations shows that under both scenarios, the years 2077, 2081 to 2083, 2087 to 2089, and 2095 to 2096 will experience drought. However, in both scenarios, the intensity and magnitude of the drought will decrease compared to the base period, and this decrease is greater under scenario B2 than A2. The results also show that the number of dry months and the duration of drought will increase in both scenarios. Examining the probability of drought occurrence under different scenarios shows that the probability of drought occurrence for Kermanshah station is equal to 9% under scenario A2 and 15% under scenario B2, which is a decrease compared to the probability of occurrence of drought in the base period of the same station. The probability of drought for Khorramabad station under scenarios A2 and B2 are 12 and 19 percent, respectively, and the same probability is 15 percent for the base period of Khorramabad station. Comparing the probability of occurrence for different scenarios shows that the occurrence of drought under scenario B2 will be associated with a higher probability than scenario A2.

### Conclusion

Investigating the effects of climate change on the meteorological drought of the Karkheh basin by dynamic climate model during the period from 2070 to 2100 shows the following results in brief:

The evaluation of scenario A2, during the period from 2070 to 2100, shows that the average rainfall will increase by about 11%. On the other hand, the average minimum and maximum temperature under scenario A2 shows an average increase of 5 degrees in all months. Meanwhile, the projected rainfall under the B2 scenario has shown an average increase of about 7%. Under scenario B2, the average minimum and maximum temperature has increased by about 3 degrees Celsius.

Study of climate change on the meteorological drought of Karkheh Basin shows that the most number of droughts occurred in the stations are 1 to 3 month droughts; Events of 4 to 7 months also show a significant number in stations. The study of meteorological drought during the period from 2070 to 2100 shows that under both scenarios A2 and B2, the severity of droughts will decrease compared to the base period, although the duration of drought and the number of dry months will increase. Examining the probability of drought occurrence under different scenarios shows that the probability of drought occurrence under scenario A2 and B2 will decrease in the region. Comparing the probability of occurrence for different scenarios shows that the occurrence of drought under scenario B2 will be associated with a higher probability than scenario A2. The results show that to evaluate the drought, the SPI index three and six months shows large variability in most of the stations. Therefore, according to these variabilities and the fact that in order to study drought changes in future periods, the output data of climate models, which are usually less accurate for short-term periods, should be used, to study the meteorological drought from the SPI index 12 months was used.

#### **Keywords**

Drought; Climate change; Karkhe basin; A2, B2 scenarios; Climate model.