



بررسی خشکسالی هواشناسی در ایستگاه ارومیه با استفاده از شاخص SPI تحت سناریوهای تغییر اقلیم (RCP)

خدیجه جوان

استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۴

چکیده

تغییرات در فراوانی و شدت خشکسالی همراه با تغییر اقلیم، تأثیر قابل توجهی بر منابع آب و محیط زیست دارد که به نوبه خود در کشاورزی، جامعه و اقتصاد منعکس می‌شود. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی خشکسالی هواشناسی در ایستگاه ارومیه می‌باشد. بدین منظور ابتدا با استفاده از داده‌های بارندگی، خشکسالی دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۸۶ و دو دوره آینده (۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۷۰-۲۰۵۱) در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در ایستگاه ارومیه محاسبه شد. داده‌های بارش دوره‌های آتی به کمک مدل گزارش پنجم CanESM2 و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی 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 (۲۰۳۱-۲۰۵۰)، بر اساس دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5، میانگین بارش افزایش می‌یابد ولی در دوره دوم (۲۰۷۰-۲۰۵۱) کاهش بسیار کمی در میزان بارش دیده می‌شود. همچنین مقادیر SPI در مقیاس زمانی طولانی‌مدت، شدت خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهند 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 معنی‌دار SPI در دوره پایه و دوره‌های آینده بر اساس سناریو RCP8.5 است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، خشکسالی، شاخص SPI، SDSM، ارومیه

مقدمه

یکی از چالش‌های بزرگ موجود در قرن اخیر، پدیده تغییر اقلیم است و مهم‌ترین عامل بروز آن، تجمع گازهای گلخانه‌ای در جو است (IPCC^۲، ۲۰۱۴: ۲). پدیده‌های حدی مانند سیل و خشکسالی بیش از سایر پدیده‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند (حبیب و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۶۵۱). خشکسالی به عنوان یک مخاطره طبیعی و یک فاجعه زیست محیطی شناخته شده است و در دهه‌های اخیر در سراسر جهان تأثیرات گسترده‌ای ایجاد کرده است

(شمسی‌پور و رودگر صفاری، ۱۳۹۹: ۶۵؛ میشر و سینگ، ۲۰۱۰: ۲۰۲) مانند آمریکای شمالی (کوک و همکاران، ۲۰۰۷؛ کافمن و ونک، ۲۰۱۱)، اروپا (اسپینونی و همکاران، ۲۰۱۵؛ هانسل و همکاران، ۲۰۱۹)، استرالیا (نیکولز، ۲۰۰۴)، آفریقا (شیرو و همکاران، ۲۰۱۹؛ احمدعلیپور و همکاران، ۲۰۱۹) و آسیا (بارلو و همکاران، ۲۰۱۶؛ گو و همکاران، ۲۰۱۸). خشکسالی معمولاً به دلیل کمبود بارش همراه با تبخیر و افزایش مصرف آب ایجاد می‌شود. خشکسالی هم منابع آب سطحی و هم زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به کاهش ذخایر آب می‌شود (هیم

بخش‌های مختلف جامعه مانند منابع آب، کشاورزی، صنعت، اقتصاد، بهداشت و ... را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بنابراین پایش و ارزیابی این پدیده در حال و آینده به منظور برنامه‌ریزی صحیح در بخش‌های مختلف جامعه امری لازم و ضروری است.

وضعیت اقلیم آینده توسط مدل‌های گردش عمومی جو (GCM^۳) براساس گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌شود. این گزارش تا سال ۲۰۱۴ توسط IPCC تکمیل شد (IPCC, ۲۰۱۴: ۵). این مدل‌ها از سناریوهای جدید انتشار با عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP^۴) استفاده می‌کنند (موس، ۲۰۱۰: ۷۵۰). GCM شرایط توپوگرافی، سطحی و اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتر در نظر می‌گیرند، در حالی که شرایط واقعی زمین در محدوده مطالعاتی ممکن است کاملاً متفاوت باشد. لذا کاربرد این مدل‌ها در مقیاس منطقه‌ای و محلی به دلیل بالا بودن تفکیک مکانی باعث می‌شود خروجی مدل برای بررسی تأثیرات زیست‌محیطی تغییر اقلیم قابل استفاده نباشد (های و همکاران، ۲۰۰۰: ۷۲۵). برای افزایش دقت مکانی این مدل‌ها، از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود که به دو دسته روش‌های دینامیکی و آماری تقسیم می‌شوند (بیچام و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۶۵۴). در مطالعات اقلیمی بیشتر از روش‌های آماری استفاده می‌شود و مدل SDSM^۴ یکی از پرکاربردترین مدل‌های آماری است.

مطالعات متعددی در این تاثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی در نقاط مختلف دنیا و همچنین ایران صورت گرفته است: لی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی توزیع مکانی شدت و فراوانی شرایط خشکسالی آینده در کره جنوبی به این نتیجه رسیدند که در فصل زمستان در سطح منطقه، روند خشکسالی افزایش معنی‌داری می‌یابد. همچنین شدت و فراوانی خشکسالی در آینده در فصول گرم سال تا ۶۰ درصد افزایش می‌یابد. مرسا و همکاران (۲۰۱۶) شرایط

و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۱۵۰). کمبود آب منجر به از بین رفتن تعادل آب محصول و کاهش عملکرد آن و در نتیجه مشکلات غذایی و حتی گرسنگی می‌شود (ال‌کیسی و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۹). خشکسالی همچنین می‌تواند پایداری اکوسیستم‌ها را تحت تاثیر قرار دهد (لگر و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۲۸۸) و حتی باعث نابودی حیوانات، به دلیل کمبود آب آشامیدنی کافی، در دوره‌های شدید خشکسالی شود. در سال‌های اخیر، به‌ویژه در مواجهه با افزایش جمعیت، گسترش کشاورزی و توسعه صنعتی و اقتصادی، سایر جنبه‌های تقاضای آب همچنان در حال افزایش است و خشکسالی تأثیر مهمی در همه این جنبه‌ها خواهد داشت (احمدعلی‌پور و همکاران، ۲۰۱۹: ۶۷۳). بنابراین درک ویژگی‌های زمانی و مکانی خشکسالی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار است.

تعیین مشخصه‌های خشکسالی بصورت عینی بسیار مشکل است از این رو شاخص‌های خشکسالی برای ارزیابی ارائه شده‌اند. با توجه به تعاریف مختلفی که برای خشکسالی وجود دارد معرفی یک شاخص واحد و جهانی برای آن بسیار مشکل است (هیم، ۲۰۰۲: ۱۱۴۹). شاخص بارش استاندارد شده^۱ (SPI) یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای تحلیل شدت، مدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی می‌باشد (هایز و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۸۵). این شاخص تنها از پارامتر بارندگی برای استخراج دوره‌های خشکسالی و ترسالی استفاده می‌کند (لوگان و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۴۷). سازمان جهانی هواشناسی نیز، شاخص SPI را به عنوان شاخص اصلی خشکسالی هواشناسی برای نظارت بر پایش خشکسالی در کشورها توصیه کرده است (هایز و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۸۵). همچنین محمودی و همکاران (۲۰۱۹) در مقایسه هفت شاخص خشکسالی هواشناسی در ایران، نتیجه گرفتند که شاخص SPI بهترین شاخص برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی در ایران می‌باشد. از آنجا که خشکسالی

3. Representative Concentration Pathway
4. Statistical Downscaling Model

1. Standardized Precipitation Index
2. General Circulation Models

خشکسالی آینده را با استفاده از شاخص‌های SPI، SPEI^۱ و SRI^۲ و با در نظر گرفتن پیش‌نگری‌های مدل اقلیمی در بخشی از لهستان بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر شرایط خشک‌تر با استفاده از شاخص SPEI در دوره آینده خواهد بود؛ ولی دو شاخص دیگر، بیانگر اقلیم مرطوب‌تر خواهند بود. فیلیپ و همکاران (۲۰۱۷) اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی را در حوضه ولتا در غرب آفریقا بررسی کردند و نشان دادند وسعت خشکسالی‌ها در آینده بین ۲۴ تا ۳۴ درصد افزایش می‌یابد و بزرگی خشکسالی‌ها با استفاده از شاخص SPEI بیشتر از شاخص SPI است. وانگ و همکاران (۲۰۱۹) وضعیت خشکسالی آینده در شرق چین را با استفاده از سه مدل GCM و شاخص‌های SPI و SPEI بررسی کردند. نتایج نشان داد سه مدل CMIP5^۳ توصیف تغییرات فصلی و سالانه بارش و دما در حوضه متفاوت هستند و بنابراین منجر به تفاوت در توصیف روند خشکسالی می‌شوند. لین و همکاران (۲۰۲۰) برای ارزیابی و مقایسه وضعیت خشکسالی در دوره‌های گذشته و آینده از سه مدل از سری مدل‌های CMIP5 و شاخص‌های SPI و شاخص رطوبت^۴ (HI) استفاده کردند. نتایج نشان داد که در دوره پایه هر دو شاخص، روند افزایشی یا کاهشی یکسانی را نشان می‌دهند؛ ولی در دوره آینده، شاخص SPI افزایش رطوبت و شاخص HI افزایش خشکسالی را نشان می‌دهند.

در ایران گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI پرداختند. آنها از روش SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. حسینی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم آتی در دشت دزفول اندیمشک با استفاده

از شاخص SPI تحلیل کردند. آنها خروجی چهار مدل گردش عمومی جو را تحت سناریوی انتشار A2 برای دوره اقلیمی ۲۰۸۴-۲۰۶۰ و براساس داده‌های روزانه دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۹) ریزمقیاس‌کردند. نتایج نشان داد که در دوره آتی، تداوم خشکسالی‌های شدید و خشکسالی‌های ضعیف، افزایش خواهد یافت ولی تداوم خشکسالی‌های با شدت متوسط، کاهش می‌یابد. بهلکه و همکاران (۱۳۹۶) اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های دوره‌های ترسالی و خشکسالی در استان گلستان را با استفاده از شاخص SPI و مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد در دو ایستگاه ارازکوسه و تمر، احتمال خشکسالی‌ها در آینده افزایش داشته و از طرف دیگر با افزایش پنجره زمانی شاخص SPI از شدت ترسالی و خشکسالی‌ها کاهش می‌یابد ولی میزان تداوم خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، افزایش خواهد یافت. جعفری و همکاران (۱۳۹۷) به پیش‌بینی خشکسالی‌های خراسان شمالی با مدل HadCM3 و شاخص‌های SPI و RDI^۵ پرداختند. نتایج نشان داد که درصد فراوانی خشکسالی‌ها در دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در مقیاس یک‌ماهه و سالانه با استفاده از هر دو شاخص کاهش داشته است و از طرف دیگر درصد فراوانی ترسالی افزایش داشته است. شرافتی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی خشکسالی هواشناسی در ایران با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI پرداخته و به این نتیجه رسیدند که خشکسالی‌های کوتاه‌مدت (۶ ماهه و کمتر) در شمال غربی و شمال ایران فراوان‌تر است در حالی که خشکسالی‌های بلندمدت (بیشتر از ۶ ماه) در جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی بیشتر است. به طور کلی، شمال غربی از نظر شدت، مدت و اوج، بیشتر در معرض خشکسالی قرار دارد. احمدابراهیم پور و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از مدل CanESM2 و سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 پرداختند. نتایج نشان داد که براساس RCP2.6، فراوانی خشکسالی تقریباً

3. Coupled Model Intercomparison Project phase 5
4. Humidity Index
5. Reconnaissance Drought Index

1. Standardized Precipitation- Evapotranspiration Index
2. Standardized Runoff Index

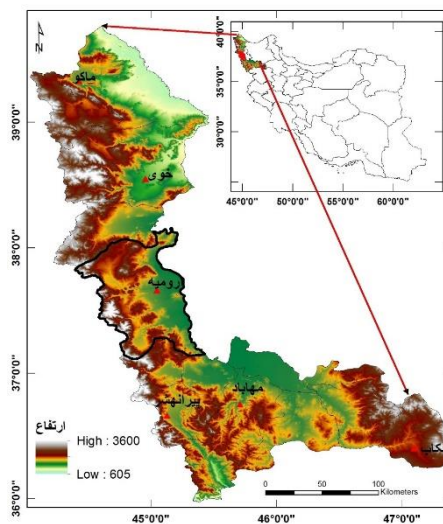
همچنین پایش و نیز اطلاع‌رسانی به‌موقع بروز خشکسالی‌ها به‌دلیل اهمیت زیاد منطقه در تولید محصولات کشاورزی و باغی، اهمیت دارد. هدف تحقیق حاضر، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI است. برای انجام این کار داده‌های مدل گردش عمومی CanESM2 با استفاده از مدل SDSM و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره آینده ۲۰۳۱-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۷۰ ریزمقیاس شد. سپس با استفاده از شاخص SPI، وضعیت خشکسالی این ایستگاه در دوره حال و آینده مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، ایستگاه ارومیه است که در شمال غرب ایران قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی، این ایستگاه در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

ثابت است در حالی که تحت RCP8.5، فراوانی خشکسالی خصوصاً در دوره ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ افزایش یافته است. جوان و عرفانیان (۱۳۹۹) به ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی تبریز با استفاده از شاخص‌های دهک (DI) و SPI پرداختند. بدین منظور از مدل HadGEM2 و روش ریزمقیاس نمایی LARS-WG استفاده کردند. نتایج نشان داد در بیشتر سال‌های مورد مطالعه، تعداد خشکسالی در هر سه دوره آتی نسبت به دوره پایه کاهش و تعداد ترسالی‌ها افزایش می‌یابد.

با توجه به روند تغییرات اقلیم و کاهش بارندگی در دهه اخیر، خشکسالی به یک مشکل بزرگ در جهان و بالخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک از قبیل ایران تبدیل شده است (درویشی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۵). ارومیه در شمال غربی ایران و در حوضه آبریز دریاچه ارومیه قرار دارد. این منطقه یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران است و در دهه‌های اخیر وقایع خشکسالی زیادی در این منطقه رخ داده است (جوان و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۷؛ صفریان و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۴۳). ارزیابی وضعیت خشکسالی حال و آینده در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب لازم و ضروری است.



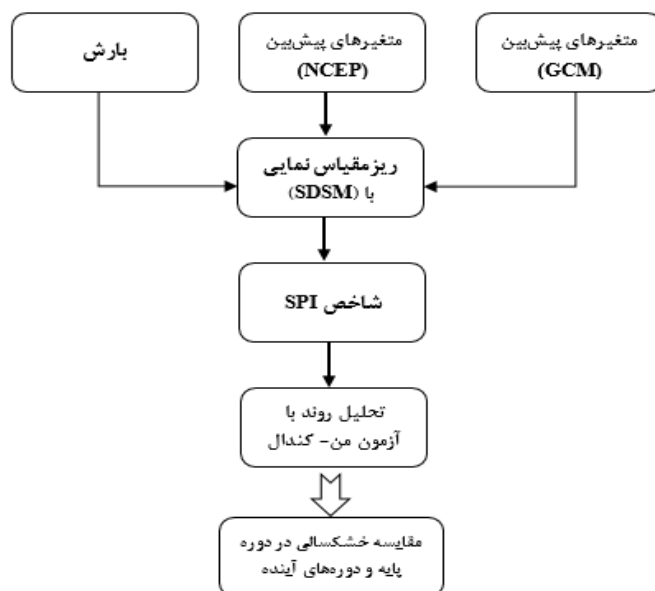
شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

ارومیه در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ می‌باشد. داده‌های شبیه‌سازی شده شامل پیش‌بینی‌کننده‌های مرکز NCEP در دوره مشابه دیده‌بانی و برونداد مدل گردش

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های دیده‌بانی و داده‌های شبیه‌سازی شده هستند. داده‌های دیده‌بانی، شامل داده‌های بارش روزانه ایستگاه

خط سیرهای تولید گازهای گلخانه‌ای نسبت به سناریوهای SRES در گزارش چهارم، ارزیابی شده است. به‌طور کلی عدم قطعیت‌ها در گزارش اخیر کاهش یافته است. سناریوهای RCP شامل یک سناریوی کاهش سختگیرانه (RCP2.6)، دو سناریوی حدواسط (RCP4.5 و RCP6) و یک سناریوی بدبینانه (RCP8.5) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند. RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت تابشی را در سال ۲۱۰۰ به ترتیب ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ وات بر مترمربع تخمین زده‌اند (IPCC، ۲۰۱۳). مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ آورده شده است.

عمومی CanESM2 مربوط به دو دوره آینده ۲۰۵۰-۲۰۳۱ و ۲۰۷۰-۲۰۵۱ و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 است که از تارنمای مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا استخراج گردیده و توسط مدل SDSM در مقیاس ایستگاهی ریزمقیاس شده‌اند. مدل CanESM2 یک مدل جامع و جفت شده و پنجمین نسل از مدل‌های گردش عمومی جفت شده^۱ (CGCM4) است و جزو سری مدل‌های CMIP5 و گزارش پنجم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم می‌باشد. در گزارش پنجم، دقت شبیه‌سازی و وضوح مکانی مدل‌ها نسبت به گزارش پیشین افزایش یافته است. همچنین در سناریو RCP، محدوده وسیع‌تر و مستدل‌تری از



شکل ۲: فلوچارت مراحل انجام تحقیق

همبستگی انتخاب می‌شوند (هاسن و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۸۰). گردش کار SDSM شامل دو بخش است: بخش اول، ایجاد ارتباط آماری بین متغیرهای اتمسفری و متغیرهای مشاهداتی و تعیین متغیرهای اتمسفری مورد نیاز برای مولد آب و هوا است که شامل کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها، غربالگری متغیرهای پیش‌بینی کننده، کالیبره کردن مدل و مولد آب و هوا است؛ دومین بخش، شبیه‌سازی سری‌های زمانی آینده

مدل ریز مقیاس نمایی SDS : مدل آماری SDSM توسط ویلبای و همکاران (۲۰۰۲) توسعه یافته است. این مدل مبنی بر رگرسیون چند متغیره است. در این مدل، ارتباط آماری بین متغیرهای مشاهده شده یا پیش‌بینی شونده با متغیرهای بزرگ مقیاس (اتم‌سفری) یا پیش‌بینی کننده بر اساس همبستگی جزئی ارزیابی می‌شود. متغیرهای اتمسفری در مدل SDSM حدود ۲۶ متغیر است که بر اساس ضریب

از مزایای اصلی روش‌های ناپارامتری این است که وجود داده‌های پرت، نتیجه روند داده‌ها را کمتر از روش‌های پارامتری تحت تاثیر قرار می‌دهد. افزون بر این، برای سری داده‌هایی مناسب‌تر است که طول آنها کم و توزیع آماری آنها نرمال نیست و یا داده‌های مفقوده داشته باشند (پارتال و کایا، ۲۰۰۶: ۲۰۱۴). مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{Var}(s) = \left\{ [n(n-1)(2n+5)] - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right\} / 18 \quad \text{رابطه ۴}$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن‌ها S آماره آزمون، sign تابع علامت، n تعداد داده‌های سری، X_j و X_k به ترتیب داده‌های زام و $\text{Var}(s)$ واریانس آماره، m تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد، t_i فراوانی داده‌های با ارزش یکسان و Z مقدار نرمال شده آماره است. در این آزمون سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر مثبت و منفی Z به ترتیب نشانگر صعودی و نزولی بودن روند سری است (طبری و طلایی، ۲۰۱۱: ۳۱۶؛ عزیززاده و جوان، ۲۰۱۵: ۴).

نتایج و بحث

اثر تغییر اقلیم بر بارندگی: در این تحقیق برای ریزمقیاس کردن داده‌های بارندگی روزانه CanESM2، از مدل SDSM استفاده شد. در مدل SDSM، داده‌های بارش روزانه از نظر کیفی کنترل می‌شوند و در صورت لزوم تبدیل داده‌ها انجام می‌شود. در این مطالعه به دلیل برازش بهتر مدل، از تبدیل ریشه چهارم استفاده شده است. سپس بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس مشاهداتی (NCEP) با استفاده از نمودار پراکندگی، ضریب همبستگی و ضریب همبستگی

متغیرهای مشاهداتی با استفاده از داده‌های پیش‌بینی شده از GCMS و پارامترهای تولید شده در بخش اول می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۱۲: ۴۰).

شاخص بارش استاندارد شده (SPI): شاخص بارش استاندارد شده به عنوان یک شاخص کارآمد در تحلیل و ارزیابی خشکسالی‌ها مطرح بوده و بسیاری از محققین به انعطاف‌پذیری شاخص SPI و توانایی آن در تحلیل جنبه‌های مختلف خشکسالی اذعان داشته‌اند (هایز و همکاران، ۱۹۹۹: ۴۳۰؛ میشر و سینگ، ۲۰۰۹: ۴۵). شاخص SPI قادر به تعیین خشکسالی و ترسالی در یک مقیاس زمانی خاص برای هر مکان با دارا بودن داده‌های بارندگی می‌باشد (نیو و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۸۹۳). مقادیر این شاخص از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$\text{SPI} = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن: P_i مقدار بارش در دوره مدنظر، $\bar{P}$ میانگین درازمدت بارش در دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش در دوره مورد نظر می‌باشد.

مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. طبق این روش، خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار SPI به طور مستمر منفی و به کمتر از -۱ برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مقدار SPI مثبت شود. برای تعیین درجه خشکسالی با استفاده از این شاخص از جدول ۱ استفاده می‌شود (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۵).

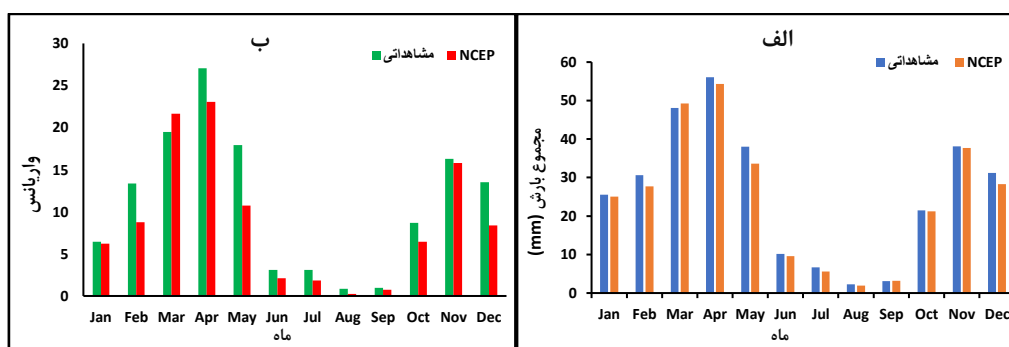
جدول ۱: طبقات خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SPI (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۵)

طبقه خشکسالی	مقادیر SPI
ترسالی خیلی شدید	۲ و بالاتر
ترسالی شدید	۱/۵۰ تا ۱/۹۹
ترسالی ملایم	۱/۰۰ تا ۱/۴۹
نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشکسالی ملایم	-۱/۰۰ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵۰ تا -۱/۹۹
خشکسالی خیلی شدید	-۲/۰۰ و پایین‌تر

آزمون ناپارامتری من-کندال یکی از پرکاربردترین روش‌های آشکارسازی روند در سری‌های زمانی است.

واریانس بارش ماهانه مشاهداتی با بارش شبیه سازی شده توسط مدل NCEP در طی دوره صحت سنجی را نشان می دهد. همان طور که در شکل مشاهده می شود تفاوت مقدار سری ها بسیار ناچیز می باشد و الگوی تغییرات این آماره ها در طی سال به خوبی شبیه سازی شده است.

جزئی بین متغیرهای پیش بینی کننده و پیش بینی شونده انتخاب و وارد مدل می شوند. پس از شناسایی متغیرهای بزرگ مقیاس و برای صحت سنجی مدل، بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط داده های NCEP از سری داده ها استخراج و مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۳ میزان انطباق مجموع و

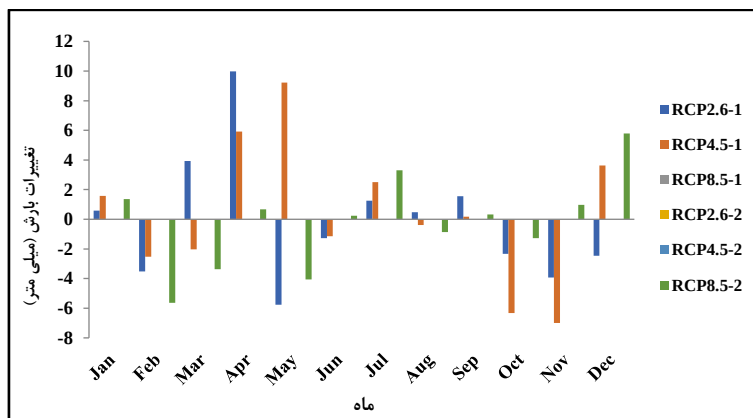


شکل ۳: مقایسه مجموع (الف) و واریانس (ب) بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل NCEP

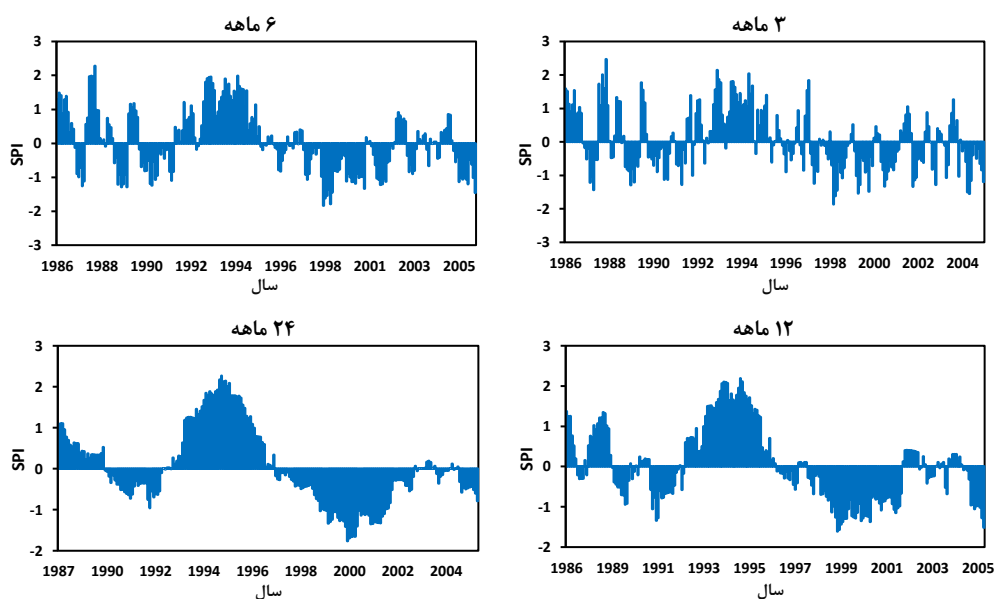
اگوست و سپتامبر نیز تغییرات بارش، ناچیز می باشد. در ماه های اکتبر و نوامبر تغییرات بارش زیادتر شده و بر اساس بیشتر سناریوها، مقدار آن کاهش خواهد یافت؛ در حالی که ماه نوامبر بر اساس اکثر سناریوها، با افزایش بارش همراه خواهد بود.

اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی: با استفاده از سری های زمانی بارش دوره پایه، مقادیر شاخص SPI در ارومیه در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد (شکل ۵). مقادیر شاخص SPI سه ماهه نشان می دهد طول دوره خشکسالی کوتاه اما تعداد رویدادها زیاد می شود یا به عبارتی تداوم دوره خشکسالی و ترسالی کاهش می یابد. بررسی مقادیر SPI در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه نشان می دهد در این مقیاس ها، بر تداوم و مدت زمان پایداری رویدادهای اقلیمی افزوده می شود. همچنین هرچه از مقیاس های زمانی کوتاه مدت به سمت مقیاس های زمانی بلند مدت پیش می رویم، تعداد دوره های خشکسالی و ترسالی کاهش می یابد.

پس از اطمینان از قابلیت مدل SDSM، متغیرهای بزرگ مقیاس CanESM2 وارد مدل شد و داده های بارش روزانه برای دو دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۱، ۲۰۷۰-۲۰۵۱ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ریزمقیاس گردید. تغییرات ماهانه بارش در دوره های آینده نسبت به دوره پایه در شکل ۴ آورده شده است. با توجه به شکل ۲، تغییرات بارش در ماه ژانویه در تمامی سناریوها افزایش می یابد ولی این افزایش به جز دوره اول و بر مبنای RCP2.6، در بقیه سناریوها کم می باشد. در ماه های فوریه و مارس، بارش در دوره های آینده کاهش خواهد یافت ولی در ماه های آوریل و می در بیشتر دوره ها و سناریوها، افزایش بارش وجود خواهد داشت. در ماه ژوئن، دوره اول (۲۰۳۱-۲۰۵۰) افزایش بارش و دوره دوم (۲۰۵۱-۲۰۷۰) کاهش بارش را پیش بینی کرده است، هر چند میزان این افزایش و کاهش بسیار کم است. در ماه جولای وضعیت برعکس است؛ یعنی در دوره اول، کاهش جزئی و در دوره دوم، افزایش جزئی بارش پیش بینی شده است. در ماه های



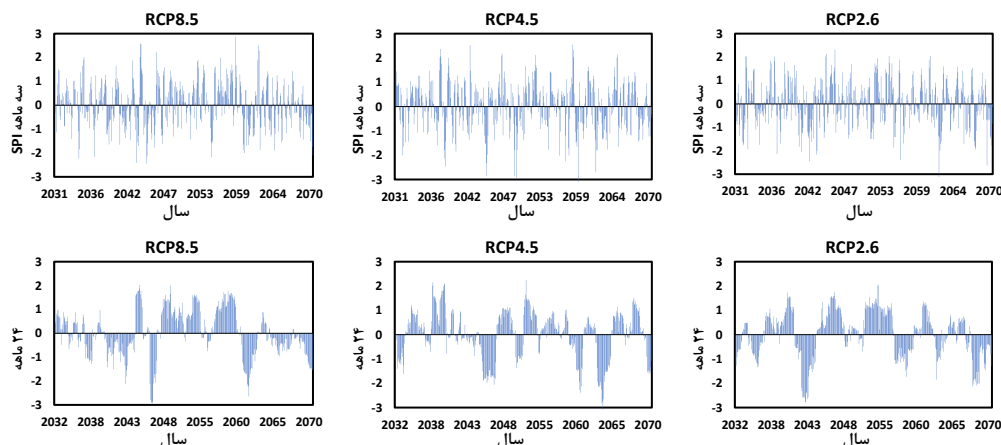
شکل ۴: تغییرات بارش در ایستگاه ارومیه در دوره‌های آینده بر اساس سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه



شکل ۵: مقادیر شاخص SPI در دوره پایه در ایستگاه ارومیه در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه

کوتاه‌تر بر مقادیر شاخص خشکسالی حاصل از دوره‌های بلندتر می‌باشد. گل‌محمدی و مساح‌بوانی (۱۳۹۰) و یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز افزایش شدت خشکسالی را برای شاخص SPI با مقیاس زمانی ۲۴ ماهه برای دوره آبی برآورد نموده‌اند. همچنین نتایج سناریو ۸/۵ نسبت به سایر سناریوها، شرایط شدت خشکسالی بیش‌تری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهند.

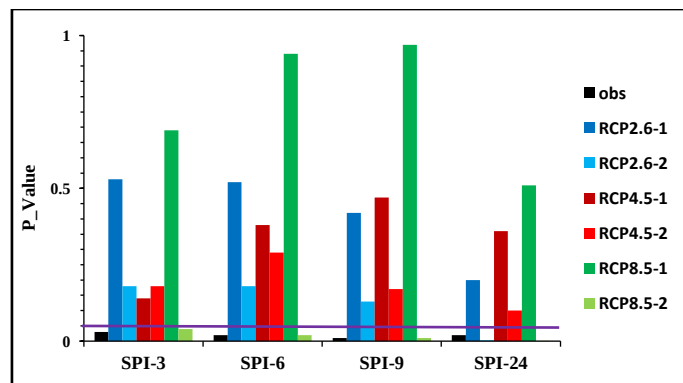
مقادیر شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ و ۲۴ ماهه برای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در طی ۴۰ سال آینده در شکل ۶ نشان داده شده است. مهمترین مقادیر شاخص را می‌توان در دوره زمانی بلندمدت مشاهده کرد که تفاوت آنها با مقادیر SPI سه ماهه مشهود است. هر چه دوره زمانی شاخص SPI از سه ماهه به سمت دوره‌های ۲۴ ماهه حرکت کند، مقادیر SPI شدت خشکسالی بیش‌تری را نشان می‌دهد. این مسئله تاثیر تجمعی مقیاس‌های زمانی



شکل ۶: مقادیر شاخص SPI در دوره‌های آینده در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۲۴ ماهه بر اساس سناریوهای مورد بررسی

اساس سناریوی RCP8.5 و در دوره آینده دوم، تمام مقادیر SPI (۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه) دارای روند معنی‌دار هستند. سناریوی RCP4.5 در هیچ‌کدام از سری‌های SPI روند معنی‌داری را نشان نداد و بر اساس سناریوی RCP2.6، تنها SPI ۲۴ ماهه و در دوره ۲۰۵۱-۲۰۷۰ دارای روند معنی‌دار می‌باشد.

برای بررسی روند در دوره پایه و دوره‌های آینده، با توجه به فصلی بودن مقادیر SPI از آزمون من-کندال فصلی که در آن ضریب خودهمبستگی داده‌ها در محاسبه اماره کندال در نظر گرفته می‌شود، استفاده گردید (شکل ۷). مطابق شکل در دوره پایه مقادیر SPI در تمام مقیاس‌های زمانی دارای روند معنی‌دار است. بر



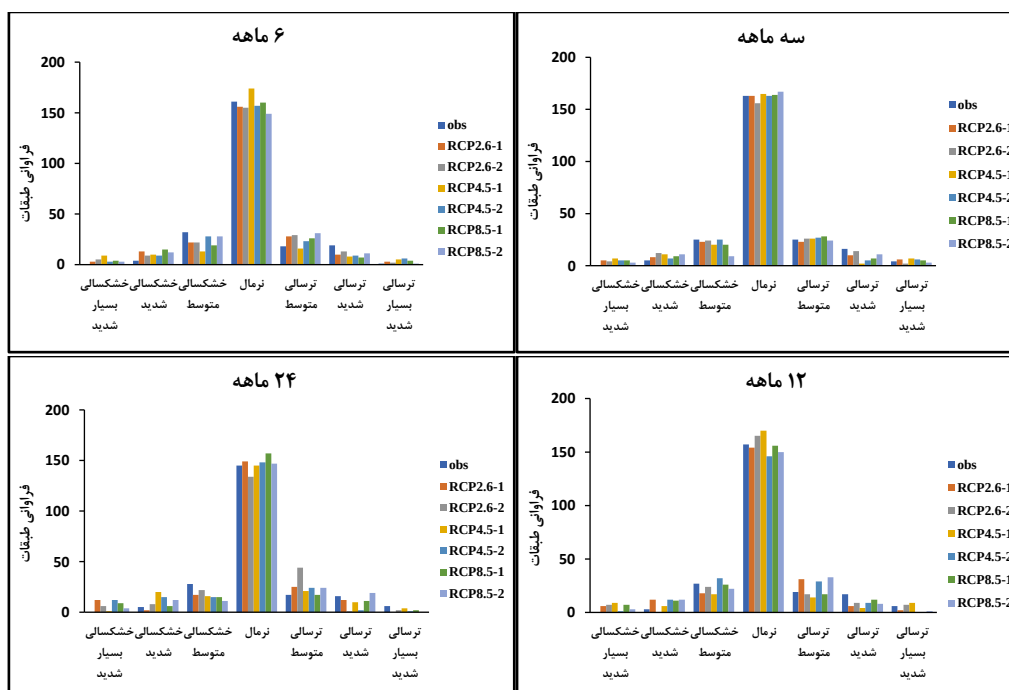
شکل ۷: نتایج آزمون من-کندال فصلی در ایستگاه ارومیه در دوره پایه و دوره‌های آینده

است در حالی که بر اساس مقادیر SPI تولید شده توسط سناریوهای RCP و در هر دو دوره آینده، تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید افزایش یافته که فراوانی آن تحت سناریو RCP4.5، بیشتر از سایر سناریوها می‌باشد. فراوانی خشکسالی شدید در آینده و در تمام مقیاس‌های زمانی مورد بررسی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد در حالی که خشکسالی ملایم بر اساس اکثر سناریوها، نسبت به دوره پایه کاهش یافته است.

به‌منظور بررسی بیشتر شرایط خشکسالی در دوره پایه و آینده، فراوانی طبقات مختلف خشکسالی برای هر یک از مقیاس‌های زمانی SPI تعیین شد (شکل ۸). با توجه به شکل، در در دوره پایه و دوره‌های آتی بیشترین فراوانی مربوط به طبقه نرمال بوده و با افزایش و کاهش شدت طبقات خشکسالی و ترسالی، از فراوانی آنها کاسته می‌شود. در دوره پایه و در هیچ یک از مقیاس‌های زمانی، خشکسالی بسیار شدید رخ نداده

مقیاس‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه کاهش یافته است. به طور کلی در هر دو دوره آبی و دوره پایه، طبقه خشکسالی نرمال بالاترین فراوانی را به خود اختصاص داده است و کمترین فراوانی طبقات، مربوط به طبقه خشکسالی و ترسالی بسیار شدید می‌باشد.

طبقه ترسالی متوسط در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه افزایش و در مقیاس‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه کاهش یافته است، درحالی که فراوانی ترسالی شدید در تمام مقیاس‌های زمانی و نسبت به دوره پایه، کاهش یافته است. طبقه ترسالی خیلی شدید نیز در اکثر سناریوها و در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه افزایش و در



شکل ۸: فراوانی طبقات مختلف خشکسالی در ایستگاه ارومیه در دوره پایه و دوره‌های آینده

ارزیابی مدل SDSM نشان داد این مدل در تولید داده‌های آبی بسیار توانمند است، به‌طوری که مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده تطابق زیادی دارند. نتایج سایر مطالعات مشابه نیز نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش است. برای مثال حسینی بقانام و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی سه روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM، LARS-، WG و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در شمال غرب ایران پرداختند. یافته‌های آنان بیانگر عملکرد بهتر مدل ANN برای پیش‌بینی دمای حداقل و حداکثر و عملکرد بهتر مدل SDSM برای پیش‌بینی بارش می‌باشد. نتایج مشابه در مطالعات جهانگیر و همکاران (۱۳۹۸) نیز به اثبات رسیده است. همچنین ریزمقیاس‌نمایی سناریوهای

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی و تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر روی بارش ایستگاه ارومیه به کمک مدل CanESM2 تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای مشخص کردن وضعیت خشکسالی منطقه در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و برآورد خشکسالی در دو دوره آبی با استفاده از شاخص SPI پرداخته شد. به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی روزانه جهت تولید سناریوهای اقلیمی از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM استفاده شده و پارامتر بارش برای دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۳۱ و ۲۰۷۰-۲۰۵۱ برآورد شد و سپس روند مقادیر SPI در دوره پایه و آینده با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شد.

خشکسالی بیش‌تری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. بهلکه و همکاران (۱۳۹۶) و پیرنیا و همکاران (۱۳۹۷) نیز به نتایج مشابه رسیدند و بیان کردند که با افزایش پنجره زمانی شاخص SPI، از شدت خشکسالی‌ها کاسته شده در صورتی که تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. نتایج تحلیل روند نیز نشان‌دهنده تغییرات معنی‌دار SPI در دوره پایه و دوره‌های آینده بر اساس سناریو RCP8.5 است. از آنجایی که مدل‌های اقلیمی به عنوان معتبرترین ابزار تولید سناریوهای اقلیمی مطرح می‌باشند، ضروری است مدیران و تصمیم‌گیران بخش‌های مختلف منابع آب، کشاورزی و ... نتایج حاصل از چنین پژوهش‌هایی را نیز مدنظر قرار دهند تا امکان برنامه‌ریزی‌های بلندمدت برای منطقه میسر گردد.

منابع

۱. بهلکه، مر جان. فتح‌آبادی، ابوالحسن. روحانی، حامد. سیدیان، سیدمرتضی. ۱۳۹۶. بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های دوره‌های ترسالی و خشکسالی (مطالعه موردی ایستگاه‌های آرازکوسه و تمر در استان گلستان)، هواشناسی کشاورزی، دوره ۵، شماره ۲، ۲۳-۱۱.
۲. پیرنیا، عبدالله. گلشن، محمد. بیگنه، سمیرا. سلیمانی، کریم. ۱۳۹۷. ارزیابی وضعیت خشکسالی در حوضه آبخیز تمر (بالادست سد گلستان) با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI تحت شرایط اقلیمی حال و آینده، اکوهیدرولوژی، دوره ۵، شماره ۱، ۲۲۸-۲۱۵.
۳. جعفری، قربان. شاهکویی، اسماعیل. قانقرمه، عبدالعظیم. ۱۳۹۷. پیش‌بینی خشکسالی‌های استان خراسان شمالی با مدل HadCM3 و شاخص‌های SPI و RDI، آمایش جغرافیایی فضا، سال ۸، شماره ۳۰، ۱۷۳-۱۵۹.
۴. جوان، خدیجه. عرفانیان، مهدی. ۱۳۹۹. ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی ایستگاه تبریز طی دوره‌های آتی با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG، پژوهش آب ایران، شماره ۳۸، ۱۰۶-۹۷.
۵. جوان، خدیجه. عزیززاده، محمدرضا. بشیری، هوشنگ. شهریار سرنقی، فریبا. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی SPI و DI با استفاده از داده‌های شبکه‌ای بارش

آتی با استفاده از مدل SDSM نشان داد به طور کلی در دوره آینده اول، بر اساس دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5، میانگین بارش افزایش می‌یابد ولی در دوره دوم کاهش بسیار کمی در میزان بارش دیده می‌شود. بر اساس نتایج پیرنیا و همکاران (۱۳۹۷) نیز با استفاده از مدل SDSM، بارندگی در آینده نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که این افزایش در سناریوی RCP8.5 بیشتر است. بر اساس نتایج شاخص SPI در بررسی شرایط خشکسالی دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ نشان داده شد که با افزایش مقیاس زمانی، از شدت خشکسالی‌ها کاسته شده و تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. ارزیابی خشکسالی در دوره‌های آینده نیز نشان داد مقادیر SPI در مقیاس زمانی طولانی‌مدت، شدت خشکسالی بیشتر را نشان می‌دهند و در بین سناریوهای مورد بررسی، RCP8.5 نسبت به سایر سناریوها، شدت

- در شمال غرب ایران، جغرافیای طبیعی، سال ۸، شماره ۲۹، ۱۱۷-۱۳۰.
۶. جهانگیر، محمدحسین. موسوی رینه، سیده‌مهسا. ابوالقاسمی، مهناز. ۱۳۹۸. شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی بارش و دبی استان تهران تحت مدل CanESM2 (براساس تطبیق دو شاخص خشکسالی SPI و SSI)، پژوهش‌های دانش زمین، سال ۱۱، شماره ۴۳، ۱۶۶-۱۴۹.
۷. حسینی‌زاده، عطیه. سیدکابلی، حسام. زارعی، حیدر. آخوندعلی، علی‌محمد. ۱۳۹۵. تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم آتی مطالعه موردی دشت دزفول - اندیشمک. علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۳۹، شماره ۱، ۴۳-۳۳.
۸. درویشی، یوسف. فدائیان، محمد. سارلی، رضا. ۱۳۹۹. واپایش تغییرات اقلیمی با تمرکز بر مخاطره خشکسالی با استفاده از فن‌آوری فضایی جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حریم پوششی رودخانه کارون)، پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، دوره ۱، شماره ۱، ۳۲-۱۵.
۹. شمسی‌پور، علی‌اکبر. رودگر صفاری، وحید. ۱۳۹۹. بررسی پیامدهای تغییرات آب و هوایی با تمرکز بر تحلیل فضایی شدت خشکسالی در استان گلستان با شاخص‌های آماری و

- سنجش از دوری، پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، دوره ۱، شماره ۳، ۶۵-۷۶.
۱۰. صفریان زنگیر، وحید. سبحانی، بهروز. رضائی بنفشه، مجید. ۱۳۹۹. مدل‌سازی و پایش پدیده خشکسالی در شمال غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۸، شماره ۳۱، ۱۴۳-۱۶۵.
۱۱. گل‌محمدی، مریم. مساح بوانی، علیرضا. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم. نشریه آب و خاک، دوره ۲۵، شماره ۲، ۳۱۵-۳۲۶.
۱۲. یعقوب‌زاده، مصطفی. امیرآبادی‌زاده، مهدی. خزیمه‌نژاد، حسین. زراعتکار، زهرا. ۱۳۹۷. ارزیابی سه روش ریزمقیاس نمایی در پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی تحت تأثیر تغییر اقلیم، آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۱۲، شماره ۲، ۳۲۴-۳۳۴.
13. Ahmadelipour. Ali, Moradkhani, Hamid, Castelletti. Andrea, and Magliocca. Nicholas, 2019, Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth. *Science of the Total Environment*, 662: 672-686.
14. Ahmadebrahimpour. Edris, Aminnejad. Babak, and Khalili. Keivan, 2019, Assessing future drought conditions under a changing climate: a case study of the Lake Urmia basin in Iran. *Water Supply*, 19(6): 1851-1861.
15. Al-Kaisi. Mahdi, Elmore. Roger, Guzman. Jose, Hanna. Mark, Hart. Chad, Helmers. Matthew, and Sawyer. John, 2013, Drought impact on crop production and the soil environment: 2012 experiences from Iowa. *Journal of Soil and Water Conservation*, 68(1): 19A-24A.
16. Azizzadeh. Mohammad Reza, and Javan. Khadijeh, 2015. Analyzing trends in reference evapotranspiration in northwest part of Iran. *Journal of Ecological Engineering*, 16(2).
17. Barlow. Mathew, Zaitchik. Benjamin, Paz. Shlomit, Black. Emily, Evans. Jason, and Hoell. Andrew, 2016. A review of drought in the Middle East and southwest Asia. *Journal of Climate*, 29(23): 8547-8574.
18. Chen. Hua, Xu. Chong-Yu, and Guo. Shenglian, 2012, Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of hydrology*, 434: 36-45.
19. Cook. Edward, Seager. Richard, Cane. Mark, and Stahle. David, 2007, North American drought: Reconstructions, causes, and consequences. *Earth-Science Reviews*, 81(1-2): 93-134.
20. Guo. Hao, Bao. Anming, Ndayisaba. Felix, Liu. Tie, Jiapaer. Guli, El-Tantawi. Attia, & De Maeyer. Philippe, 2018, Space-time characterization of drought events and their impacts on vegetation in Central Asia. *Journal of Hydrology*, 564: 1165-1178.
21. Habeeb. Dana, Vargo. Jason, and Stone. Brian, 2015. Rising heat wave trends in large US cities. *Natural Hazards*, 76(3): 1651-1665.
22. Hassan. Zulkarnain, Harun. Sobri, and Abdul Malek. Marlinda, 2012, Application of ANNs Model with the SDSM for the Hydrological Trend Prediction in the Sub-catchment of Kurau River, Malaysia. *Journal of Environmental Science and Engineering*. B, 1(5B): 577-585.
23. Hayes. Michael, Svoboda. Mark, Wall. Nicole, and Widhalm. Melissa, 2011. The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4): 485-488.
24. Hayes. Michael, Svoboda. Mark, Wihite. Donald, and Vanyarkho. Olga, 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American meteorological society*, 80(3): 429-438.
25. Heim. Richard, 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1166.
26. Hosseini Baghanam. Ayda, Eslahi. Mehdi, Sheikhabaei. Ali, and Seifi. Arshia, 2020. Assessing the impact of climate change over the northwest of Iran: an overview of statistical downscaling methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 141: 1135-1150.

27. Kauffman. Gerald, and Vonck. K. 2011, Frequency and intensity of extreme drought in the Delaware Basin, 1600–2002. *Water Resources Research*, 47(5).
28. IPCC, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
29. IPCC, 2014, *Summary for policymakers*. In: IPCC. *Climate change, impact, adaptation and vulnerability. Contribution of working group 2 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernment Panel of Climate Change*, pp. 132. Cambridge, UK and New York, USA, Cambridge University Press.
30. Ledger. Mark, Edwards. Francois, Brown. Lee, Milner. Alexander, & Woodward. Guy, 2011, Impact of simulated drought on ecosystem biomass production: an experimental test in stream mesocosms. *Global Change Biology*, 17(7): 2288-2297.
31. Lee. Joo-Heon, Kwon. Hyun-Han, Jang. H0-Won, and Kim. Tae-Woong, 2016, Future changes in drought characteristics under extreme climate change over South Korea. *Advances in Meteorology*, 2016.
32. Lin. Hui, Wang. Jiangcai, Li. Fan, Xie. Yangyang, Jiang. Chenjuan, and Sun, Lipin, 2020, Drought Trends and the Extreme Drought Frequency and Characteristics under Climate Change Based on SPI and HI in the Upper and Middle Reaches of the Huai River Basin, China. *Water*, 12(4), 1100.
33. Logan. Kelly, Brunsell, Nathaniel, Jones, A., and Feddema, Johannes, 2010. Assessing spatiotemporal variability of drought in the US central plains. *Journal of Arid Environments*, 74(2): 247-255.
34. Mahmoudi. Peyman, Rigi. Allahbakhsh, and Miri Kamak. Mahdiye, 2019. A comparative study of precipitation-based drought indices with the aim of selecting the best index for drought monitoring in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3-4): 3123-3138.
35. McKee. Thomas, 1995, Drought monitoring with multiple time scales. In *Proceedings of 9th Conference on Applied Climatology*, Boston, 1995.
36. Meresa. Hadush, Osuch. Marzena, and Romanowicz. Renata, 2016. Hydro-meteorological drought projections into the 21-st century for selected Polish catchments. *Water*, 8(5): 206.
37. Mishra. Ashok, Singh. Vijay, & Desai. V., 2009, Drought characterization: a probabilistic approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(1): 41-55.
38. Mishra. Ashok, and Singh. Vijay, 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
39. Moss. Richard, Edmonds. Jae, Hibbard. Kathy, Manning. Martin, Rose. Steven, Van Vuuren. Detlef, ... and Wilbanks. Thomas, 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756.
40. New. Mark, Todd. Martin, Hulme. Mike, and Jones. Phil, 2001. Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(15): 1889-1922.
41. Nicholls. Neville, 2004. The changing nature of Australian droughts. *Climatic change*, 63(3), 323-336.
42. Partal. Turgay, and Kahya, Ercan, 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(9): 2011-2026
43. Sharafati. Ahmad, Nabaei. Sina, and Shahid. Shamsuddin, 2020. Spatial assessment of meteorological drought features over different climate regions in Iran. *International Journal of Climatology*, 40(3): 1864-1884.
44. Shiru. Mohammed-Sanusi, Shahid. Shamsuddin, Chung. Eun-Sung, and Alias. Noraliani, 2019. Changing characteristics of meteorological droughts in Nigeria during 1901–2010. *Atmospheric Research*, 223: 60-73.
45. Spinoni. Jonathan, Naumann. Gustavo, Vogt. Jürgen, and Barbosa. Paulo, 2015. The biggest drought events in Europe

- from 1950 to 2012. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3: 509-524.
46. Tabari. Hossein, and Hosseinzadeh Talaei. Parisa, 2011. Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. *Journal of Hydrology*, 396(3-4): 313-320.
47. Wilby. Robert, Dawson. Christian, & Barrow. E., 2002, SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2): 145-157.
48. Wang. Jingcai, Lin. Hui, Huang. Jinbai, Jiang. Chenjuan, Xie. Yangyang, and Zhou. Mingyao, 2019. Variations of Drought Tendency, Frequency, and Characteristics and Their Responses to Climate Change under CMIP5 RCP Scenarios in Huai River Basin, China. *Water*, 11(10): 2174.