

## پیش‌بینی خشکسالی تحت رویکرد تغییر اقلیم آینده (مطالعه موردی: قراخیل)

فاطمه رجائی<sup>\*۱</sup>

\*<sup>۱</sup>- استادیار، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

\* ایمیل نویسنده مسئول: [Rajaei\\_Fatemeh@znu.ac.ir](mailto:Rajaei_Fatemeh@znu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴

### چکیده

در این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشک‌سالی آینده در ایستگاه قراخیل (واقع در شهرستان قائم‌شهر)، خروجی سه مدل گردش کلی شامل CanESM2، CNRM-CM5، و CESM1-WACCM تحت سناریوهای انتشار RCP2.6 و RCP8.5 محاسبه شد. سپس با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) طی دوره‌ی پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) و دوره‌ی آینده (۲۰۴۰-۲۰۲۰)، در سری‌های زمانی ۱۲، ۶ و ۱۲ ماهه خشک‌سالی ارزیابی شد. نتایج نشان داد، تغییرات حداقل و حداکثر دمای سالانه تحت هر دو سناریو، در جهت افزایش دما خواهد بود. بیش‌ترین افزایش دمای حداقل سالانه مدل‌های AOGCM به میزان  $2/5^{\circ}C$  در ماه ژانویه و نیز بیش‌ترین افزایش دمای حداکثر به میزان  $4/7^{\circ}C$  در ماه ژانویه تحت سناریو RCP8.5 خواهد بود. تغییرات الگوی دما، تحت مدل CanESM2 با شدت بیش‌تری نسبت به مدل CNRM-CM5 خواهد بود. هم‌چنین، بارش فصلی مدل‌ها تحت هر دو سناریو در بهار کاهش و در پاییز و زمستان افزایش قابل ملاحظه‌ای در بارندگی پیش‌نگری نمی‌شود. نتایج ارزیابی خشک‌سالی نشان می‌دهد در دوره آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم در محدوده مورد مطالعه در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۶ و ۲۴ ماهه تعداد و تداوم دوره‌های خشک‌سالی در دوره آتی نسبت به ماه‌های با وضعیت مرطوب افزایش خواهد یافت. بنابراین، منطقه مطالعاتی در دوره آتی تغییرات اقلیمی و خشکسالی را تجربه خواهد کرد که بی‌تردید تأثیر قابل توجهی بر بوم نظام‌های زراعی و منابع آب (کمیت و کیفیت آب) این مناطق خواهد داشت.

### واژه‌های کلیدی

"تغییر اقلیم"، "شاخص خشک‌سالی"، "قراخیل"، "مدل‌های AOGCM"، "ریزمقیاس‌نمایی آماری".

### ۱- مقدمه

می‌توان به بانک‌های اطلاعاتی خشک‌سالی اروپا، مرکز ملی کاهش اثرات خشک‌سالی و پایگاه داده‌های شاخص‌های خشک‌سالی اشاره نمود. از طرفی، سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، جهت سازگاری با خشک‌سالی، برنامه‌ی مدیریت یکپارچه خشک‌سالی را از سال ۲۰۱۳ آغاز کرده است که این برنامه استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی برای نظارت بر این پدیده توصیه نموده است. شاخص‌های متعددی در منابع مختلف ارائه شده است: شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص خشک‌سالی احيایی (RDI)، شاخص استاندارد تبخیر و تعرق بارش استاندارد (SPEI)، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI) و شاخص رطوبت محصول (CMI)، شاخص شدت خشک‌سالی (SDI) و شاخص شدت خشک‌سالی پالم (PDSI). در این بین شاخص SPI به علت سادگی محاسبات و استفاده از داده‌های قابل دسترس و قابلیت محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف به‌طور گسترده استفاده می‌شود (Gaitán et al., 2020). هم‌چنین خروجی مدل‌های گردش کلی (GCM) در صورت انتخاب مدل‌های بهینه با منطقه مورد مطالعه و نیز استفاده از روش مناسب و معتبر در کوچک‌مقیاس‌سازی می‌تواند ابزارهای مناسبی برای پیش‌بینی وقایع خشک‌سالی آتی هر منطقه باشد. این مدل‌ها قادر به تولید سری‌های زمانی طولانی مدت هستند که می‌توان به کمک آن‌ها به آنالیز تغییرات احتمالی وقایع حدی در دوره‌های آینده پرداخت (گل محمدی و مساح بوانی، ۱۳۸۹). در اسپانیا شاخص‌های خشک‌سالی براساس نه مدل GCM، تحت دو سناریوی انتشار بررسی گردید بر اساس شاخص SPI

عوامل مختلفی باعث برهم خوردن شرایط حاکم بر اجزای مختلف سیستم اقلیم کره زمین می‌شود که می‌تواند تأثیراتی را بر اجزای دیگر بگذارد. در بین این عوامل تنها عاملی که به صورت غیر طبیعی بر سیستم اقلیم کره زمین تأثیر می‌گذارد، افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. این افزایش سبب می‌شود تا امواج مادون قرمز ساطع شده از زمین بیش از پیش توسط گازهای گلخانه‌ای جذب شده و باعث گرم‌تر شدن جو کره زمین شود. گرم‌تر شدن جو کره زمین نیز به نوبه خود بر وضعیت اجزای دیگر سیستم اقلیم تأثیر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم را موجب می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلف شامل منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، خشکسالی‌ها، سیلاب، تبخیر و تعرق و غیره اثرات منفی داشته باشد. خشک‌سالی یکی از پدیده‌های شدید آب و هوایی است که بیش‌ترین تأثیر را بر جمعیت جهان دارد و می‌تواند سالانه میلیون‌ها نفر را در سراسر کره زمین تحت تأثیر قرار دهد. هم‌چنین این پدیده تأثیرات جدی بر دسترس بودن آب و در نتیجه بر فعالیت‌های اقتصادی مانند کشاورزی، گردشگری، سلامت انسان و اکوسیستم‌ها خواهد داشت. با این وجود، خشک‌سالی پدیده‌ای است که به دلیل پیچیدگی و کمبود سوابق تاریخی نسبت به سایر پدیده‌های هواشناسی به‌ویژه در دوره‌های آینده کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ زیرا تعریف، تعیین و ارزیابی آن‌ها مشکل است. به همین دلیل، جامعه علمی و موسسات در حال انجام تلاش زیادی برای درک، شناسایی، مستندسازی و نظارت دقیق‌تر بر این پدیده می‌باشند. به‌عنوان مثال

دوره‌های خشک و مرطوب و کاهش دوره نرمال را در دوره آتی پیش‌نگری کردند. در مطالعه نوروزی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، خشک‌سالی دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) در سری زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های هواشناسی ایلام ارزیابی شد. با استفاده از مدل گردش کلی HadCM3، مقادیر بارش ماهانه دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) و ریزمقیاس‌نمایی مقادیر بارش آینده بررسی گردید. نتایج ارزیابی خشک‌سالی در دوره پایه نشان داد دوره ۲۰۱۴-۲۰۰۸ نسبتاً دوره مرطوب بوده است. همچنین در ایستگاه ایلام بین سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۲۵ و در ایستگاه دهلران از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ دوره خشکی پیش‌نگری شد. از طرف دیگر، مطالعه سعید پور و همکاران (۱۳۹۸) با هدف پایش خشک‌سالی در مقیاس‌های زمانی مختلف در ۱۸ ایستگاه هواشناسی حوزه کارون بررسی گردید. در این مطالعه منطقه‌بندی براساس شاخص SPEI و با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای صورت پذیرفت. نتایج نشان داد با افزایش مقیاس زمانی، فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش می‌یابد، اما تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. نتایج منطقه‌ای شدن شاخص SPEI همچنین نشان داد که درصد فراوانی طبقه نرمال از طبقات خشک و مرطوب بیشتر است. با توجه به بررسی‌های صورت پذیرفته در استان مازندران در خصوص روند افزایشی دما و کاهش بارش طی ۳۰ سال گذشته (جعفری و همکاران، ۲۰۰۸)، تأثیر آن بر افزایش خشک‌سالی قابل انکار نیست. همچنین در استان مازندران، بارش نقش مهمی در حفظ معیشت مردم، اکوسیستم‌ها و زراعت، جوامع جنگلی، رژیم محلی هیدرولوژیکی دارد، که لزوم بررسی هرچه بیش تر تأثیرات تغییر اقلیم بر مؤلفه‌ها و متغیرهای هواشناسی در دوره آینده برای کاهش آثار و مدیریت این پدیده را مورد تأکید قرار می‌دهد. بنابراین در راستای این هدف، در ابتدا به شبیه‌سازی مقادیر بارش و دما در ایستگاه قراخیل با استفاده از دو مدل اقلیمی CNRM و CanESM2 تحت دو سناریو RCP 8.5 و RCP 2.6 پرداخته شد. همچنین مدل SDSM به منظور نمودن داده‌های اقلیمی مدل‌های AOGCM استفاده شد. در نهایت با نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی و با استفاده از شاخص SPI پایش و تجزیه و تحلیل مشخصات خشک‌سالی برای دهه‌های پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) و آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۰) در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲، ۲۴ ماهه صورت گرفت.

## ۲- روش انجام تحقیق

برای این تحقیق از آمار بارش، دمای حداقل و حداکثر روزانه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قراخیل (شکل ۱) واقع در حوزه آبخیز تالار در استان مازندران استفاده شد. این ایستگاه در سال ۱۹۸۴ تاسیس شده است و از دلایل انتخاب ایستگاه مذکور داده‌های کامل و طولانی طی سال‌های مورد مطالعه بوده است. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۱۴ متر و در طول جغرافیایی  $52^{\circ}12'$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ}43'$  قرار گرفته است. در این منطقه، ابتدا داده‌های دما و بارش دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۰) مدل‌های مذکور در جدول (۱) تحت سناریوهای انتشار RCP8.5 و RCP2.6 انتخاب شد. برای بررسی عمل‌کرد مدل‌ها در شبیه‌سازی دما و بارش منطقه، میانگین ماهانه دوره پایه از خروجی مدل‌ها با دوره آینده و نیز دوره مشاهداتی مقایسه و بهترین مدل انتخاب شد. کوچک مقیاس کردن

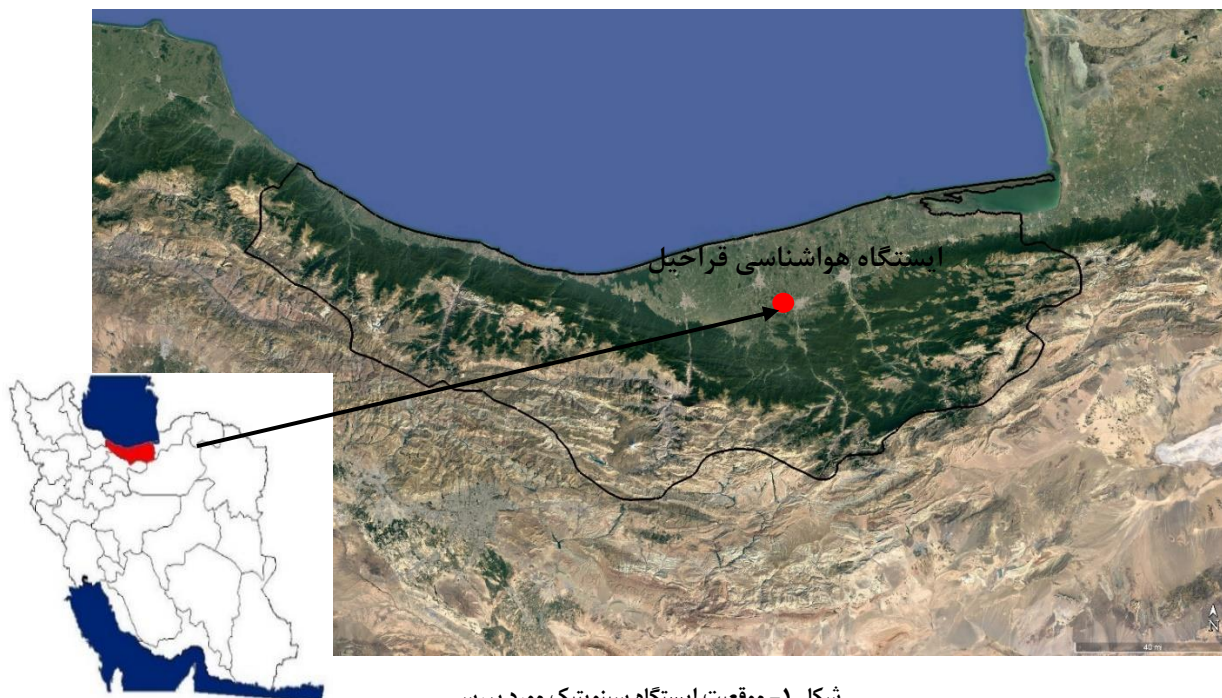
و SPEI، نتایج تغییرات در بیلان آبی و افزایش دوره‌های خشک‌سالی را نشان داد (Gaitán et al. 2020). در مطالعه‌ای دیگر، عبدالمالک و نوری (۱۳۹۸) در ۱۶ ایستگاه هواشناسی به بررسی تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی با استفاده از سه شاخص RDI، SPI و PET در بازه زمانی ۱۹۷۳-۲۰۱۶ و تأثیرات آن‌ها بر تولیدات کشاورزی در تونس پرداختند. بر اساس شاخص‌های RDI و SPI، تونس چندین خشک‌سالی چند ساله (۳ تا ۷ سال) را با شدت‌های مختلف به‌ویژه در سال ۱۹۸۱ و دوره ترسالی را در سال ۱۹۹۶ تجربه کرده است و نیز ارتباط قوی بین شاخص‌های خشک‌سالی و عملکرد محصولات مانند گندم، زیتون و مرکبات یافت شد. همچنین، Chim et al., (2020) داده‌های مدل CanESM تحت سه سناریو RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 را جهت بررسی وضعیت خشک‌سالی منطقه کامبوج بعد از ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و روش آماری (SDSM) بررسی نمودند. روند پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های خشک‌سالی SPI و SPEI با استفاده از آزمون Man-Kendall ارزیابی شد. نتایج نشان داد مدل‌های ANN و SDSM در پیش‌نگری کاهش میزان بارش ماهانه، دمای روزانه و ماهانه به خوبی عمل می‌کنند. همچنین، همه سناریوها گرم شدن و کاهش بارندگی قابل ملاحظه‌ای را نشان داد که به تشدید خشک‌سالی کمک می‌کند. در تحقیق Sun et al., (2019) در چین، تغییرات خشک‌سالی در اثر تغییر اقلیم با ریزمقیاس‌سازی دو مدل اقلیمی GCM تحت دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 بررسی شد. به این منظور از شاخص SPI و روزهای داغ (TX90p) برای تحلیل ریسک توأمان با استفاده از توابع مفصل استفاده گردید. نتایج نشان داد دما و بارش در هر دو سناریو طی دوره ۲۰۳۶-۲۰۹۵ افزایش می‌یابد. همچنین، دوره بازگشت توأم در بعضی ایستگاه‌ها با شدت و مدت طولانی‌تری در هر دو سناریو دیده شد و در برخی ایستگاه‌ها در جنوب غرب و مرکزی با دوره بازگشت کمتر از ۱ سال خشک‌سالی‌های مکرر و حداکثری را تجربه خواهند کرد. در مطالعه دیگر تجزیه و تحلیل جامعی از تغییرات مکانی-زمانی در چین در طول نیم قرن گذشته، بر اساس شاخص‌های مختلف خشک‌سالی از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۲ صورت پذیرفت. نتایج نشان می‌دهد که دو رویداد شدید خشک‌سالی در نیم قرن گذشته که در دوره‌های ۱۹۶۲-۱۹۶۳ و ۲۰۱۰-۲۰۱۱ رخ داده است و بیش از نیمی از مناطق غیرخشک چین را فرا گرفته است. خشک‌سالی‌های بزرگ معمولاً در منطقه‌ای از دشت شمال چین تا پایین دست رودخانه یانگ تسه متمرکز بودند. سه شاخص‌های خشک‌سالی عملکرد تقریباً یکسانی در مناطق مرطوب دارند، درحالی که SPI و RDI مناسب‌تر از SPEI در مناطق خشک عمل نموده‌اند (Xu 2014). در داخل کشور نیز مطالعات زیادی در این زمینه و در مناطق مختلف انجام گرفته است. کابوسی و کردجری (۱۳۹۶) تغییرات دمای حداقل و حداکثر، بارش و شدت خشک‌سالی استان گلستان طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۶ نسبت به دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵ را با خروجی مدل‌های HadCM3 و ECHO-G در ۱۲ ایستگاه هواشناسی بررسی نمودند. میانگین سالانه دمای حداقل به ترتیب ۱/۲ و ۱/۶ و دمای حداکثر به ترتیب  $C^{\circ} 1/2$  و  $C^{\circ} 1/7$  افزایش و بارش سالانه نیز به ترتیب افزایش و کاهش را نشان داد. هر دو مدل افزایش درصد وقوع

مدل، متغیرهای بزرگ مقیاس معرفی شده در مرحله ۱، برای تعیین روابط همبستگی خطی چند متغیره استفاده می‌شوند. ۳- تولید چندین سری از وضعیت جاری اقلیم با استفاده از پیش‌نگری کننده‌های مشاهداتی. بلافاصله بعد از این که مدل آماری طراحی شد، می‌توان آن را ارزیابی کرد. ۴- تولید سری‌های مختلفی از داده‌های هواشناسی با استفاده از متغیرهای پیش‌نگری کننده GCM. مرحله نهایی آنالیز داده‌های پیش‌نگری شده (سناریوهای تغییر اقلیم) و مشاهداتی می‌باشد. در این مرحله مشخصات آماری سناریوی تغییر اقلیم را می‌توان با رفتار مشاهداتی ایستگاه مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در ادامه، تغییرات دما و بارش در بازه ۲۰۲۰-۲۰۴۰ نسبت به بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ میلادی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با معرفی سری‌های زمانی بارش تولید شده در دوره آبی و سری‌های زمانی بارش در دوره مشاهداتی با شاخص خشک-سالی بارش استاندارد (SPI) وضعیت خشک-سالی اقلیمی محدوده مورد مطالعه در مقیاس-های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه مورد بررسی قرار گرفت. مراحل محاسبه و فرمول‌های محاسباتی این شاخص بطور کامل در تحقیق لوکاس و همکاران آورده شده است (Loukas et al. 2004). در بررسی خشک-سالی با استفاده از شاخص SPI، خشک-سالی زمانی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- و یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد.

مقادیر بارندگی در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی از مدل‌های AOGCM می‌باشد. یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی آن‌ها نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این تحقیق برای کوچک مقیاس کردن داده‌های بارندگی مدل‌های منتخب، از روش آماری مبتنی بر رگرسیون خطی و نرم افزار SDSM استفاده شد. مدل، ارتباطات آماری بین رفتارهای بزرگ مقیاس و محلی را بر اساس روش رگرسیون خطی چندگانه برقرار می‌کند. این ارتباطات با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه و برونداهای (خروجی) مدل‌های گردش کلی در دوره مشابه دیدبانی ایجاد می‌شوند و بر این فرض است که این روابط در آینده نیز صادق باشند. به عبارت دیگر فرض اساسی در ریزمقیاس‌نمایی آماری مستقل از زمان بودن این ارتباطات است. مراحل کار بدین شکل است که قبل از انجام فرآیند ریزمقیاس‌نمایی، داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدل-های گردش کلی با توجه به مقادیر میانگین و انحراف معیار آن‌ها نرمال‌سازی می‌شوند. این کار به این دلیل انجام می‌شود که مدل‌های گردش کلی نمی‌توانند به خوبی اقلیم محلی را مانند دیدبانی شبیه-سازی نمایند. لذا مقایسه این دو باهم قبل از نرمال کردن می‌تواند موجب همبستگی‌های غیرمعقول گردد. متغیرهای پیش‌نگری کننده اطلاعات مربوط به حالت بزرگ مقیاس جو را فراهم می‌کنند، در حالیکه متغیرهای پیش‌نگری‌شونده حالت جو را در مقیاس نقطه‌ای یا محلی مشخص می‌کنند. فرآیند ریزمقیاس‌نمایی آماری در این مدل طی مراحل زیر انجام می‌شود ۱- بررسی اولیه توانمندی ریزمقیاس-نمایی توسط متغیرهای پیش‌نگری کننده (بزرگ مقیاس) ۲- واسنجی

جدول ۱- مشخصات مدل‌های منتخب مورد استفاده در این تحقیق

مدل	وضوح مکانی	مرکز تحقیقاتی
CNRM-CM5	۱/۴*۱/۴	مرکز ملی تحقیقات هواشناسی - فرانسه
CanESM2	۲/۷۹*۲/۸۱	مرکز مدل‌سازی و تحلیل اقلیمی-کانادا
CESM1(WACCM)	۱/۸۹*۲/۵	مرکز ملی تحقیقات جوی آمریکا



شکل ۱- موقعیت ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی

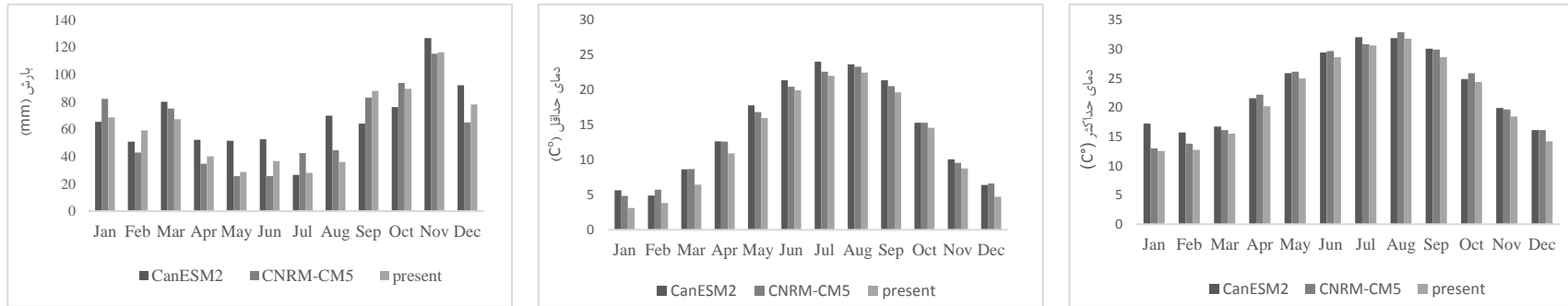
بود هر چند معنی دار نمی‌باشد. نتایج بارش فصلی مدل‌های CNRM-CM5RM تحت هر دو سناریو نشان می‌دهد در بهار کاهش بارندگی و در پاییز و زمستان تغییرات قابل ملاحظه‌ای در بارندگی نخواهیم داشت که کاهش بارندگی در فصل بهار می‌تواند به دلیل میزان کم بارش در دوره پایه باشد. همچنین مدل CNRM-CM5، ۴۴ درصد کاهش بارندگی، تحت سناریو RCP2.6 و به میزان ۱۸ درصد افزایش بارندگی تحت سناریو RCP8.5 در فصل تابستان پیش‌نگری شد. قابل ذکر است، عدم جابه جایی بارش از فصول سرد به فصول گرم خود نیز می‌تواند نشان دهنده تاثیر کمتر اختلالات پدیده تغییرات اقلیمی طی سال‌های آتی در منطقه مورد مطالعه باشد. میانگین سالانه بارش هر دو مدل و نیز تحت هر دو سناریو کاهش را نشان داد. دستاوردهای این تحقیق در زمینه تغییر اقلیم و تأثیر آن بر متغیرهای هواشناسی، اعم از بارش و دماهای حداقل و حداکثر در سال‌های آتی، مطابقت بسیار خوبی با نتایج سایر پژوهش‌گران دارد، به طوری که اکثر آن‌ها بر تغییرات بارندگی در فصول مختلف و افزایش دماهای حداقل و حداکثر در دوره‌های مورد پیش‌نگری تأکید دارند. از جمله یافته رزاقیان و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از دو مدل ECHO-G و HadCM3 تحت سناریو AIB، میزان بارش کمتر و دمای بیش‌تر را پیش‌نگری نموده است. همچنین مطالعه لکزبان پور و همکاران (۱۳۹۵) در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از مدل HadCM3 در بازه ۲۰۴۱ تا ۲۰۷۱ نشان داد؛ مقدار بارندگی در فصول زمستان و بهار کاهش و در فصول تابستان و پاییز افزایش خواهد یافت و درجه حرارت در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ میلادی، به مقدار  $1/2^{\circ}\text{C}$  و  $1/1^{\circ}\text{C}$  به ترتیب تحت سناریوهای A2 و B2 افزایش خواهد

### ۳- نتایج و بحث

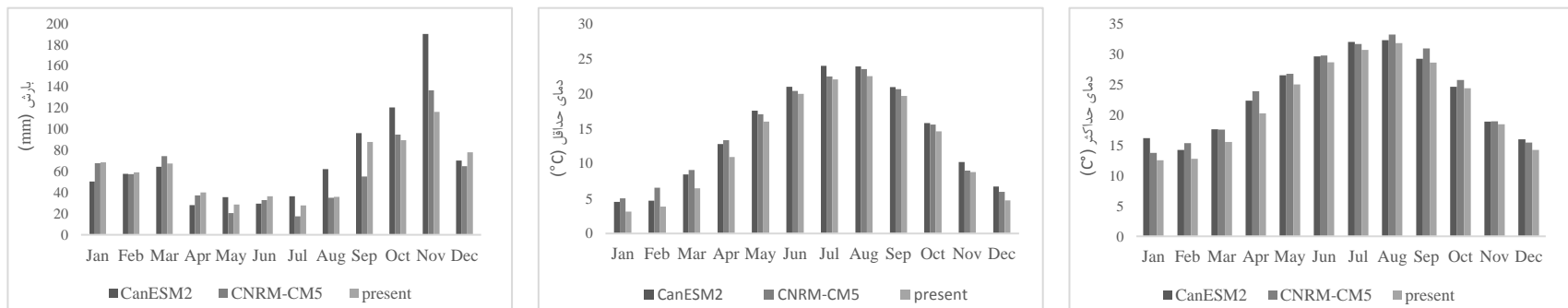
همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها مطرح گردید، آمار دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش ۳ مدل CanESM2، CNRM-CM5، CESM1-WACCM از مجموعه مدل‌های AOGCM، در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۰ به عنوان دوره آینده و بازه ۱۹۸۵-۲۰۰۵ به عنوان دوره پایه، استخراج شد. در این تحقیق از ۳ مدل نام‌برده، دو مدل CanESM2 و CNRM-CM5 برای دما و مدل CNRM-CM5 برای بارش مناسب تشخیص داده شد. ایراد وارد بر مدل‌های مردود مربوط به تغییرات بسیار زیاد دمای ماهانه دوره آتی نسبت به دوره پایه و نیز تغییرات بسیار زیاد دوره پایه و دوره مشاهداتی بود. همان‌طور که در شکل شماره (۲) نشان داده شده است، اطلاعات دوره آتی مدل‌های AOGCM (CanESM2 و CNRM-CM5) تحت دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5، با اطلاعات دوره پایه بررسی گردید. نتایج نشان داد تغییرات حداقل و حداکثر دمای سالانه مدل‌ها تحت هر دو سناریو، در جهت افزایش دما خواهد بود. بیش‌ترین افزایش دمای حداقل سالانه مدل‌های AOGCM تحت سناریو RCP2.6 به میزان  $2/6^{\circ}\text{C}$  در ماه فوریه و تحت سناریو RCP8.5 به میزان  $2/5^{\circ}\text{C}$  در ماه ژانویه پیش‌نگری شد. از طرف دیگر، بیش‌ترین افزایش دمای حداکثر تحت سناریو RCP8.5 به میزان  $4/7^{\circ}\text{C}$  در ماه ژانویه و تحت سناریو ۲ به میزان  $3/6^{\circ}\text{C}$  در ماه ژانویه و اپریل خواهد بود. قابل ذکر است تغییرات الگوی دما، تحت مدل CanESM2 با شدت بیش‌تری نسبت به مدل CNRM-CM5 خواهد

CanESM2 سه سال در دهه سی و مدل CNRM-CM5 دو سال در دهه سی را خشک-سالی شدید پیش‌نگری نمود. در نهایت، در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه مدل CanESM2 تحت سناریوی RCP 2.6، سه سال خشک-سالی شدید در دهه سی و مدل CNRM-CM5 دو سال خشک-سالی شدید در دهه چهل را پیش‌نگری نمود که این افزایش خشک سالی‌ها عمدتاً به دلیل کاهش بارندگی‌ها رخ می‌دهد. از طرف دیگر، تحت سناریوی RCP 8.5، هر دو مدل CNRM-CM5 و CanESM2 یک سال دوره خشک-سالی شدید در دهه سی را پیش‌نگری نمودند. در خصوص پیش‌نگری دوره‌های ترسالی شدید، مدل CanESM2 برای دوره آبی در مقیاس ۲۴ ماهه و تحت سناریوی RCP 2.6، یک دوره ترسالی شدید در دهه سی و تحت سناریوی RCP 8.5 مدل CNRM-CM5 سه دوره ترسالی شدید در دهه سی و مدل CanESM2 دو سال دوره ترسالی شدید در دهه چهل را پیش‌نگری نمودند. در دوره آبی در مقیاس ۱۲ ماهه مدل CanESM2 تحت سناریوی RCP 2.6 دو دوره ترسالی شدید در دهه چهل و تحت سناریوی RCP 8.5 دو سال ترسالی شدید در دهه سی و نیز مدل CNRM-CM5 دو سال ترسالی بسیار شدید در دهه چهل تحت سناریوی RCP 8.5 را پیش‌نگری نمودند.

یافت. تحقیق صورت پذیرفته در حوضه آبخیز گرگان‌رود با استفاده از مدل‌های اقلیمی HadCM3، CGCM1 و CSIRO-Mk3.6.0 نیز نشان داد که بارندگی سالانه حوضه آبخیز به میزان ۳/۲ تا ۶/۷ درصد کاهش و دمای حداقل  $C^{\circ}$  ۲/۳ تا  $C^{\circ}$  ۹/۳ و دمای حداکثر از  $C^{\circ}$  ۳/۶ تا  $C^{\circ}$  ۹/۸ در سناریوهای مختلف تغییر خواهد داشت (Azari et al. 2013). از طرف دیگر، مطالعه Seeboonruang et al. (2017) در تمام سناریوهای پیش‌نگری‌شده، کاهش بارندگی با استفاده از مدل گردش عمومی نسل سوم MRI-AGCM3.1S را پیش‌نگری نمود. در مطالعه‌های دیگر، شبیه‌سازی میان دوره‌های آبی در دو حوزه در جنوب آسیا تحت دو سناریوی A1B و A2 نشان داد میزان بارش در طول و بعد از تابستان در هر دو حوضه افزایش می‌یابد در حالی که میزان بارش قبل از تابستان در هر دو حوضه کاهش می‌یابد (شهریار و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین تغییر اقلیم دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و اثر آن بر خشک-سالی حوزه آبخیز اسکندری واقع در استان اصفهان از خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 نشان داد بارش به سمت فصل گرم جابه‌جا خواهد شد (بحری و همکاران، ۱۳۹۳). با این حال، برخی از یافته‌های مخالف نیز ظاهر شده‌است: به‌طوری‌که، مهدیزاده و همکاران (۱۳۹۰) در فصل پاییز و زمستان تا ۴۳ افزایش و در بهار و تابستان تا ۲۳ mm کاهش بارندگی را نشان دادند. همچنین Sa'adi et al. (2017) از ۲۰ مدل اقلیمی برای پیش‌بینی بارش آینده در مالزی استفاده کردند و نتایج نشان داد منطقه مورد مطالعه احتمالاً کاهش بارندگی را تجربه خواهد نمود. با این حال، برخی از یافته‌های مخالف نیز وجود دارد به طوری که Tahir et al. (2020) و Sa'adi et al. (2017) دریافتند که به دلیل تغییرات آب و هوایی، در آینده در حوضه آبریز رودخانه لیمانگ، مالزی، تحت تمام سناریوها افزایشی در میزان بارش وجود خواهد داشت. تغییرات در شدت بارندگی در مناطق موسمی ممکن است به دلیل تأثیرات مختلف ENSO، طوفان‌های استوایی و سایر موارد باشد. علاوه بر این، ارتباط عوامل محلی بر تغییرپذیری بارش، فعل و انفعالات توده هوای محلی، تغییر کاربری زمین نیز تأثیر قابل توجهی بر روند خشکسالی و اقلیم پیچیده دارند. در نتیجه، شرایط خشکسالی متفاوتی در برخی از حوضه‌های کشور می‌توان شاهد بود. همچنین، یافته‌های پنجمین گزارش ارزیابی گروه کاری IPCC (2014)، ارتباط تغییرات بارش با منطقه فیزیوگرافی را مورد تأیید قرار داده‌است. شکل‌های (۴) و (۵) وضعیت شاخص خشک-سالی SPI را برای مقیاس‌های زمانی ۶ ماهه، ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) و دوره آبی (۲۰۲۰-۲۰۴۰) تحت تأثیر دو مدل گردش کلی CanESM2 و CNRM-CM5 و سناریو انتشار RCP 2.6 و RCP 8.5 نشان می‌دهد. در دوره ۱۹۸۵-۲۰۰۵ در مقیاس ۶ ماهه سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۸۵، ۱۹۹۱، در مقیاس ۱۲ ماهه سال ۱۹۸۶ و در مقیاس ۲۴ ماهه سال ۱۹۸۷ دارای خشک-سالی شدید بوده‌است. در هر سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه، شاخص خشک-سالی در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت هر دو سناریوی انتشار، نوسانات زیادی را نشان داد. همچنین، پیش‌نگری احتمال وقوع حالت حدی خشک-سالی در دوره آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج مدل CNRM-CM5 در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه تحت سناریوی RCP 2.6، یک سال در دهه چهل خشک-سالی شدید را نشان داد. همچنین تحت سناریوی RCP 8.5 مدل



شکل ۲- تغییرات دمای حداقل و حداکثر و بارش ایستگاه قراخیل در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) و دوره آینده تحت سناریو RCP8.5 (۲۰۲۰-۲۰۴۰)



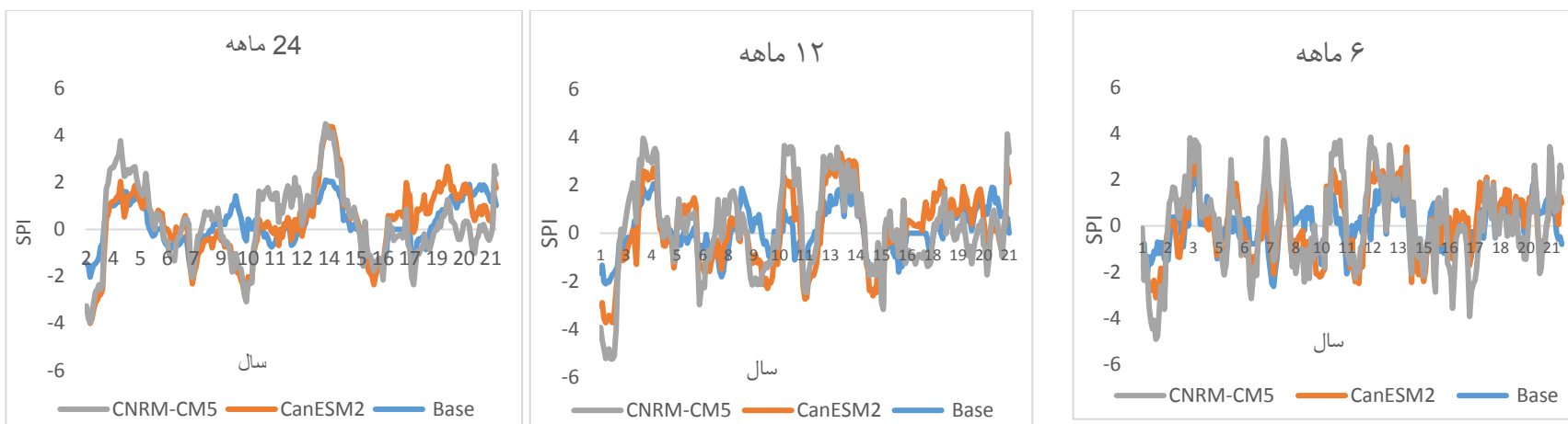
شکل ۳- تغییرات دمای حداقل و حداکثر و بارش ایستگاه قراخیل در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) و دوره آینده تحت سناریو RCP2.6 (۲۰۲۰-۲۰۴۰)

در جدول (۲)، فراوانی وقوع خشک‌سالی‌ها در محدوده مطالعاتی در طول دو دوره آماری ۲۱ ساله ۱۹۸۵-۲۰۰۵ و ۲۰۲۰-۲۰۴۰ براساس شاخص SPI و در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۶ و ۲۴ ماهه تحت دو سناریوی انتشار RCP 2.6 و RCP 8.5 ارائه شده است. طبق نتایج موجود در جدول (۲)، در مقیاس‌های زمانی ۶ ماهه در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت مدل CanESM2، تعداد ماه‌های با وضعیت خشک‌سالی و ترسالی هر دو افزایش و ماه‌های نرمال کاهش یافته است اما در مدل CNRM-CM5 تحت هر دو سناریو دوره ترسالی کاهش و دوره نرمال افزایش یافته است و تغییرات قابل ملاحظه‌ای در دوره خشک‌سالی مشاهده نشد. در دوره ۱۲ ماهه هر دو مدل تحت هر ۲ سناریو، افزایش دوره خشک‌سالی نسبت به دوره پایه را نشان داد. در دوره ۲۴ ماهه تحت هر دو سناریو و هر دو مدل CanESM2 و CNRM-CM5 افزایش دوره خشک‌سالی و کاهش دوره ترسالی و نیز افزایش دوره نرمال را نشان دادند. بنابراین پیش‌نگری شد که در دوره آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم در محدوده مورد مطالعه در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۶ و ۲۴ ماهه میزان خشک‌سالی‌ها موجود در دوره آتی نسبت به ماه‌های با وضعیت مرطوب بیشتر باشد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۸) و Philip et al., 2017 و Fowler et al., (2007) نیز به کاهش دوره خشک‌سالی و افزایش دوره خشک‌سالی در مطالعات خود اشاره نمودند. همچنین مطالعه (Seebonruang et al., 2017) هم‌چنین خشک‌سالی خفیف آینده در مناطق مختلف تایلند با استفاده از مدل گردش کلی ژاپن (MRI-AGCM3) را پیش‌نگری نمود. مطالعه سعید پور و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل‌های اقلیمی در حوزه کارون کاهش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب و افزایش وقوع دوره نرمال را در مقیاس ماهانه دوره آتی پیش‌نگری نمود. البته مطالعاتی نیز عکس این روند را نشان داده‌اند به‌طوری‌که، مطالعه گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۸۸) با استفاده از آنالیز مقادیر پیش‌بینی شده سری زمانی SPI و نمودارهای شدت خشکسالی تجمعی وزنی سالانه، افزایش بارندگی و بهبود وضعیت انواع خشکسالی در حوضه قره سو را بیان نمودند. همچنین افزایش شدت بارش در ماه‌های جولای و اگوست در فصل تابستان حتی بیشتر از ماه‌های فصل زمستان در این حوزه بوده است که نشان دهنده مفهوم توزیع زمانی نامناسب بارندگی بوده که در نتیجه بروز اختلالات رژیم آب و هوا به دلیل پدیده تغییرات اقلیمی طی سال‌های آتی می‌باشد.

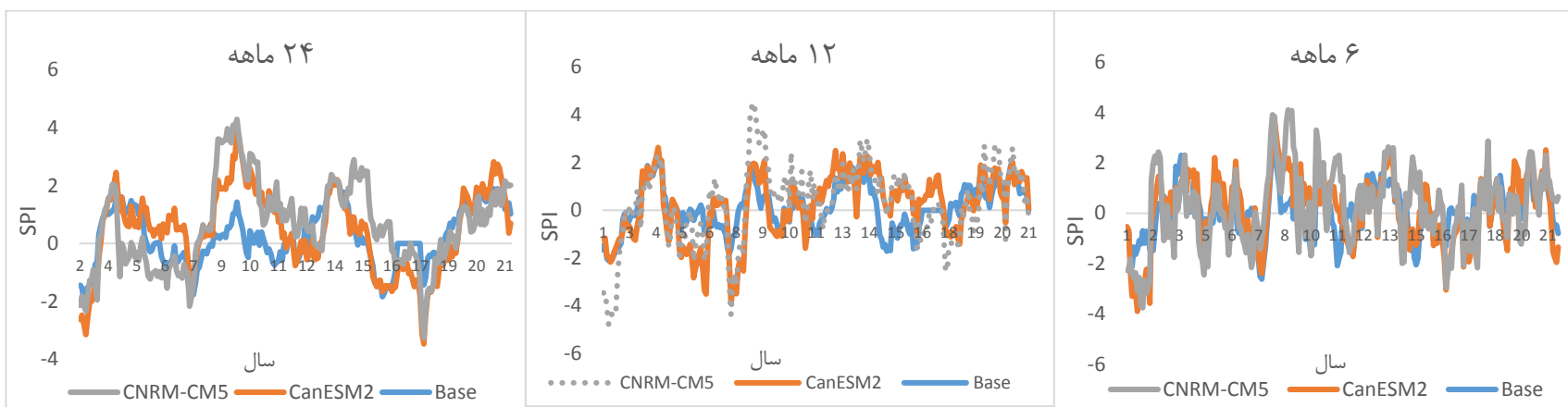
در جدول ۲ - فراوانی خشک‌سالی براساس شاخص بارش SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف

جدول ۲ - فراوانی خشک‌سالی براساس شاخص بارش SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف

SPI	Model	Scenarios	Dry Period	Neutral	Wet period
۶ ماهه	Base	-	۱۶	۶۸	۱۶
	CanESM2	RCP2.6	۱۸	۶۱	۲۱
		RCP 8.5	۱۵	۶۶	۱۸
	CNRM-CM5	RCP2.6	۱۶	۷۰	۱۴
RCP8.5		۱۴	۷۰	۱۵	
۱۲ ماهه	Base	-	۱۲	۶۶	۲۱
	CanESM2	RCP2.6	۲۳	۵۵	۲۳
		RCP8.5	۱۴	۶۶	۲۱
	CNRM-CM5	RCP2.6	۲۰	۶۲	۱۷
RCP8.5		۱۲	۶۸	۲۰	
۲۴ ماهه	Base	-	۱۲	۶۰	۲۸
	CanESM2	RCP2.6	۱۴	۶۹	۱۷
		RCP8.5	۱۱	۶۹	۲۰
	CNRM-CM5	RCP2.6	۱۹	۶۲	۱۹
RCP8.5		۱۸	۶۲	۲۰	



شکل ۴ نمودارهای شاخص خشک-سالی SPI در مقیاسهای زمانی مختلف برای دوره پایه (۱۹۸۵ - ۲۰۰۵) و تحت سناریوی RCP2.6 (۲۰۲۰-۲۰۴۰)



شکل ۵ نمودارهای شاخص خشک-سالی SPI در مقیاسهای زمانی مختلف برای دوره پایه (۱۹۸۵ - ۲۰۰۵) و تحت سناریوی RCP8.5 (۲۰۲۰-۲۰۴۰)



#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه تغییرات بارش، دما و خشک‌سالی هواشناسی دوره آینده در ایستگاه سینوپتیک قراخیل در استان مازندران با استفاده از سه مدل گردش کلی CanESM2، CNRM-CM5، و CESM1-WACCM، تحت سناریوی انتشار RCP2.6 و مجموعه مدل‌های AOGCM، در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۰ به عنوان دوره آینده و بازه ۱۹۸۵-۲۰۰۵ به عنوان دوره پایه، بررسی یگرديد و نتایج به شرح ذیل می باشد:

۱- تغییرات حداقل و حداکثر دمای سالانه مدل‌ها تحت هر دو سناریو، در جهت افزایش دما خواهد بود. قابل ذکر است تغییرات الگوی دما، تحت مدل CanESM2 با شدت بیشتری نسبت به مدل CNRM-CM5 خواهد بود.

۲- نتایج بارش فصلی مدل CNRM-CM5RM تحت هر دو سناریو نشان می‌دهد در بهار کاهش بارندگی و در پاییز و زمستان تغییرات قابل ملاحظه‌ای در بارندگی نخواهیم داشت.

۳- در مقیاس‌های زمانی ۶ ماهه در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت مدل CanESM2، تعداد ماه‌های با وضعیت خشک‌سالی و ترسالی هر دو افزایش و ماه‌های نرمال کاهش خواهد یافت اما در مدل CNRM-CM5 تحت هر دو سناریو دوره ترسالی کاهش و دوره نرمال افزایش یافته است و تغییرات قابل ملاحظه‌ای در دوره خشک‌سالی مشاهده نشد.

#### منابع

- آذری، م.، مرادی ح.، ثقفیان، ب. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم حوضه آبخیز گرگانرود، مجله آب خاک، ۲۷، ۵۴۷-۵۳۷.
- بحری، ب.، دستورانی، ب.، گودرزی، گ. ۱۳۹۴. ارزیابی خشکسالی آینده تحت تغییرات اقلیمی، مطالعه موردی: حوض اسکندری، استان اصفهان. مجله مدیریت تحقیقات منابع آب، ۷ (۲)، ۱۵۷-۱۶۵.
- گودرزی، م.، فاضلی فر، ع. و عبوسی پور، ف. ۱۳۹۸. بررسی دو متغیره تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی با شاخص SPEI و توابع تفصیلی (مطالعه موردی: دوگنبدان). مجله تحقیقات منابع آب، ۴ (۱۵)، ۳۵۲-۳۶۵.
- جعفری، ف. ۱۳۸۷. تحلیل تغییرات اقلیمی در طول پنجاه سال اخیر در جنگل‌های خزر. مجله پژوهش‌های جنگل. ۲ (۱۶)، ۳۱۴-۳۲۶.
- کبوسی، ک و کردجی، م. ۱۳۹۶. تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی و خشکسالی استان گلستان. تحقیقات منابع آب، ۱۳ (۳)، ۲۰۵-۲۱۳.
- لکزیان پور، ح. و رضایپور، م. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه نالوچه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله توسعه و زمین شناسی. ۱۴ (۴۲)، ۱۸۳-۱۹۸.
- مساح بوانی، ع. و گل محمدی، م. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره عود خشکسالی در حوضه قره سو در دوره های آبی متاثر از تغییرات اقلیمی. مجله آب خاک، ۲۵ (۲)، ۳۲۶-۳۱۵.
- نوروزی، ع.، رستمی، ن. و جهانگیر، م. ۱۳۹۷. پیش‌بینی خشکسالی در بازه زمانی ۹۷-۱۳۹۷ با رویکرد تغییر اقلیم (مطالعه موردی: ایستگاه‌های ایلام و دهلران). اکوهیدرولوژی، ۵ (۳)، ۹۷۷-۹۹۱.
- پرما، ب.، راسخی، ع. و نودفراهانی، ن. ۱۳۹۷. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارندگی و خشکسالی دوره آینده حوضه شادگان. مدیریت منابع آب، ۱۴ (۳)، ۱۶۰-۱۷۲.
- Abdelmale, M. and Nouiri, I. 2020. Study of trends and mapping of drought events in Tunisia and their impacts on agricultural production, Sci. Total Environ, Vol. 734, P. 139311.
- Chim, C., et al. 2020. Identifying future climate change and drought detection using CanESM2 in the upper Siem Reap River, Dyn. Atmos, Oceans, Vol. 101182(4-6).
- Fowler, H.J., et al. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. Int. J. Climatol., Vol. 27 (12), P.1547-1578.
- Gaitán, E., et al. 2020. Impact of climate change on drought in Aragon (NE Spain). Sci. Total Environ., 740,140094.

- Loukas, A. and Vasiliades, L. 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece, Nat. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., Vol. 4, P. 719-731.
- Philip, G.O., et al. 2017. Impacts of climate change on hydro-meteorological drought over the Volta basin, west Africa, Glob. Planet. Change, Vol. 155(1), P. 121-132.
- Saeidipour, M., et al. 2019. Meteorological Drought Monitoring Using the Multivariate Index of SPEI (Case Study: Karun Basin), AUT J Civil Eng, Vol. 3(1), P. 85-92.
- Sa'adi, Z., et al. 2017. Projection of spatial and temporal changes of rainfall in Sarawak of Borneo Island using statistical downscaling of CMIP5 models, Atmos. Res, Vol. 197, P. 446 – 460.
- Seeboonruang, U. 2016. Impact assessment of climate change on groundwater and vulnerability to drought of areas in Eastern Thailand, Environ. Earth Sci, Vol. 75 (1), P. 42-51.
- Sun, C. X., et al. 2019. Drought occurring with hot extremes: changes under future climate change on Loess Plateau, China, Earth's Future, Vol. 7(6), P. 587-604.
- Tahir, T., et al. 2020. Statistical downscaling of rainfall under transitional climate in Limbang River Basin by using SDSM. Paper presented at the IOP Conference Series. Earth Environ. Sci. Trans. R. Soc. Edinb. Vol. 140 (1), P. 012037.
- Xu, K., et al. 2014. Spatio-temporal variation of drought in China during 1961-2012: A climatic perspective. J. Hydrol., Vol. 526, P. 253-264.

# Drought forecasting under the approach of future climate change (Case study: Qarakhil)

Fatemeh Rajaei<sup>1\*</sup>

1- Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

\* Email Address: Rajaei\_Fatemeh@znu.ac.ir

## Introduction

Drought is one of the most severe weather phenomena that has the greatest impact on the world's population and can affect millions of people around the world every year. Various indicators have been defined to calculate the drought index. Among these, the SPI index is widely used due to the simplicity of calculations and the use of available data and the ability to calculate at different time scales. Also, the output of general circulation models (GCM) can be suitable tools for predicting future drought events in each region if the optimal models are selected and a suitable and valid method is used in downscaling. On the other hand, with the studies conducted in Mazandaran province regarding the increasing trend of temperature and decreasing rainfall over the past 30 years, its effect on increasing drought is undeniable. Also, in Mazandaran province, rainfall has an important role in maintaining the livelihood of people, ecosystems and agriculture, forest communities, local hydrological regime, which needs to be studied possible the effects of climate change on meteorological components in the future. Therefore, in this research, initially the precipitation and temperature values at Qarakhil station in Siahrood watershed in Mazandaran province were simulated using three models: CanESM2, CNRM-CM5, CESM1-WACCM under two scenarios: RCP 8.5 and RCP 2.6. Also, the statistical method based on linear regression and SDSM software was used. Finally, with the results obtained from the simulation and using SPI index, monitoring and analysis of drought characteristics were considered for the basic decades (1985-2005) and future (2020-2040) in time scales 6, 12 and 24 months.

## Methodology

Statistics of maximum temperature, minimum temperature and precipitation of 3 models CanESM2, CNRM-CM5, CESM1-WACCM were extracted from AOGCM models in the period 2020-2040 as the future period and in the period 1985-2005 as the base period. In this study, from the three mentioned models, two models, CanESM2 and CNRM-CM5 for temperature and CNRM-CM5 model for suitable precipitation were identified. The problem with the rejected models was the large changes in the monthly temperature of the future period compared to the base period, as well as the very large changes in the base period and the observation period. One of the major problems in using the output of AOGCM models is the large scale of their computational cell relative to the study area. In this study, the statistical method is based on linear regression and SDSM software to scale the rainfall data of selected models. The model establishes statistical relationships between large-scale and local behaviors based on multiple linear regression methods. These connections are made using station observational data and the outputs of general circulation models in the same observation period, and it is assumed that these relationships will be true in the future. In other words, the basic premise in statistical downscaling is that time is independent of these relationships. Then, changes in temperature and precipitation in the period 2020-2040 compared to the period 1985 to 2005 and were examined. Finally, by introducing the rainfall time series produced in the future period and the rainfall time series in the observation period with the standard rainfall drought index (SPI), the drought status of the study area in time scales 6, 12 and 24 Months were examined. The calculation steps and computational formulas of this index are fully presented in the research of Loukas et al. 2004.

## Conclusion

Future period data of AOGCM models (CanESM2 and CNRM-CM5) under two scenarios of RCP2.6 and RCP8.5, were examined with baseline data. The results showed that the minimum and maximum annual temperature changes of the models under both scenarios will be in the direction of temperature increase.

The highest annual minimum temperature increases of AOGCM models under RCP2.6 scenario was predicted by 2.6 ° C in February and under RCP8.5 scenario by 2.5 ° C in January. On the other hand, the maximum maximum temperature increases under scenario 8 will be 4.7 ° C in January and under scenario 2 will be 3.6 ° C in January and April. It should be noted that the temperature pattern changes under the CanESM2 model will be more intense than the CNRM-CM5 model, although it is not significant. The results of seasonal precipitation of CNRM-CM5RM models under both scenarios show a decrease in precipitation in spring and in autumn and winter we will not have significant changes in precipitation. The CNRM-CM5 model also predicted a 44% decrease in rainfall under the RCP2.6 scenario and an 18% increase in rainfall under the RCP8.5 scenario in the summer. The average annual rainfall of both models and under both scenarios showed a decrease. In the period 1985-2005, it had severe drought on a 6-month scale in 1991, 1985, 1995, on a 12-month scale in 1986, and on a 24-month scale in 1987. In all three-time scales of 6, 12 and 24 months, the drought index in the future period showed a lot of fluctuations compared to the base period under both diffusion scenarios. It is also important to predict the probability of the occurrence of drought limit conditions in the coming period. The results of seasonal precipitation of CNRM-CM5RM models under both scenarios show a decrease in precipitation in spring and in autumn and winter we will not have significant changes in precipitation. The CNRM-CM5 model also predicted a 44% decrease in rainfall under the RCP2.6 scenario and an 18% increase in rainfall under the RCP8.5 scenario in the summer. The average annual rainfall of both models and under both scenarios showed a decrease. As the results showed, the study area will experience climate change and drought in the coming period, which will undoubtedly have a significant impact on the ecosystem of agricultural systems and water resources (quantity and quality of water) in these areas. Therefore, facing these conditions requires extensive studies and planning in the field of the impact of future climate change on the country's natural resources, and the results of climate models of this study can deal with this phenomenon, especially in agriculture, water resources and The environment and adopting appropriate adaptation and mitigation measures to be used.

#### **Key words**

"Climate change", "Drought index", "Gharakheil", "AOGCM models", "Statistical downscaling".