

## پیش‌نگری بارش شمال‌غرب ایران مبتنی بر برونداد پروژه مقایسه متقابل مدل‌های جفت‌شده فاز ششم (CMIP6)

سعید جهانبخش اصل<sup>۱\*</sup>، مجید رضایی بنفشه<sup>۲</sup>، علی‌محمد خورشید دوست<sup>۳</sup>، هاشم رستم زاده<sup>۴</sup>، الناز استادی<sup>۵</sup>  
۱، ۲، ۳ و ۴- عضو هیات علمی دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، گروه آب و هواشناسی  
۵- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، گروه آب و هواشناسی

### چکیده

از مهم‌ترین اثرات تغییرات آب و هوایی تغییر در مشخصات بارش است. اهمیت آشکار بارش موجب تحلیل، بررسی و پیش‌بینی این عنصر اقلیمی در مناطق مختلف شده است. در این پژوهش نیز چشم‌انداز بارش روزانه شمال‌غرب ایران در دوره ۲۰۲۱-۲۱۰۰ براساس مدل‌های فاز ششم (CMIP6) تحت ۴ سناریو (SSP 1-2.6, SSP 2-4.5, SSP 3-7, SSP 5-8.5) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور با توجه به همبستگی داده‌های مشاهده شده و داده‌های دوره گذشته‌نگر مدل‌ها (۲۰۱۴-۱۹۹۵)، از بین ۲۶ مدل مطالعه شده، مدل MPI-ESM-1-2LR به عنوان مدل منتخب، برای پیش‌نگری بارش روزانه منطقه انتخاب شد. با توجه به بزرگ مقیاس بودن داده‌های مدل، ابتدا داده‌ها از نظر اریبی با روش دلتا تصحیح شدند و سپس ویژگی‌های بارشی منطقه از نظر درصد تغییر نسبت به دوره پایه، روند بارش در دوره آتی و تغییرات بارش در هر ماه تحت ۴ سناریو تحلیل و بررسی شد. نتایج نشان دادند که چشم‌انداز بارش منطقه تحت سناریوهای مختلف، مقادیر کاهشی و افزایشی خواهد داشت. بیشترین درصد تغییر و روند کاهشی تحت سناریو SSP 3-7 مشاهده شد (۱۲ درصد کاهش نسبت به دوره پایه) که در جنوب‌غرب منطقه نمایان‌تر است. برعکس مقادیر افزایشی بارش در اجرای مدل با سناریوی SSP 1-2.6 مشاهده شد که بیش از ۶ درصد افزایش متوسط بارش نسبت به دوره پایه، بویژه در بخش‌های مرکزی نشان می‌دهد. از دیگر نتایج مهم این مطالعه می‌توان به افزایش بارش‌های شدید و جابجایی آن به سمت ماه‌های گرم سال اشاره کرد که در روزهای محدودی رخ داده و موجب توزیع ناهمگن بارش خواهد شد.

کلید واژه‌ها: CMIP6، روند بارش، شمال‌غرب ایران، روش دلتا، سناریوهای اقلیمی.

## مقدمه

تغییر اقلیم، تغییر معنی‌دار متوسط داده‌های هواشناسی در یک دوره معین زمانی است. این دوره زمانی معمولاً ده ساله یا بیشتر بوده و شامل تغییر در میانگین شرایط آب و هوایی یا تغییر آماری معنی‌دار در توزیع پدیده‌های آب و هوایی نظیر باران، برف، تخییر و... می‌باشد (Udayashankara et al, 2016؛ قصاب فیض و همکاران، ۱۳۹۶؛ رضائی و همکاران، ۱۳۹۳). بالطبع چنین تغییری باعث تغییر فضای جهانی و تنوع طبیعی آب و هوا در دوره‌های قابل مقایسه می‌شود (Thapa et al, 2015). از جمله عناصر آب و هوایی متأثر از تغییر اقلیم، بارش است. بارش سومین عامل تفاوت‌های آب و هوایی ایران و پرنوسان‌ترین عنصر اقلیم است (مسعودیان، ۱۳۸۸؛ سلیقه و همکاران، ۱۳۹۷؛ رسولی و همکاران، ۱۳۹۷). تغییرات هر چند جزئی در نوع (بارش‌های جامد و مایع) و مقدار بارش می‌تواند تعادل محیط طبیعی را برهم زند. با توجه به اهمیت بارش پیش‌آگاهی از آن مسئله‌ای تعیین‌کننده و دارای اهمیت در بهره‌برداری از سامانه‌های منابع آب، کشاورزی و... است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴). برای درک اثرات تغییرات آب و هوا در آینده، نهادهای تحقیقاتی در سراسر جهان، اقلیم کره زمین را با مدل‌های جهانی آب و هوا (GCM) شبیه‌سازی کرده‌اند (Shrestha et al, 2017). از مدل‌های GCM برای ارزیابی اثرات گرمایش کره زمین بر آب و هوا و چرخه آب بطور گسترده استفاده می‌شود. با این حال وضوح کمتر این مدل‌ها مانع از آشکارسازی ویژگی‌های متغیرهایی مانند بارش می‌شود (Smitha et al, 2017) و استفاده از این مدل‌ها وجود منابعی از عدم قطعیت‌ها را به همراه دارد، بطوریکه اغلب در مقایسه با داده‌های مشاهده شده انحراف قابل توجهی نشان می‌دهند (Shrestha et al, 2017). از سوی دیگر برای ارزیابی اثرات تغییرات آب و هوا، به داده‌های اقلیمی با وضوح بالاتر نیاز می‌باشد (Mishra et al, 2020). بنابراین برای حل مشکل بزرگ مقیاس بودن داده‌های مدل‌های آب و هوایی از روش‌های تصحیح آماری (تصحیح اریبی) یا ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود (زرین و داداشی رودباری، ۱۳۹۹). از آنجا که دانش انسان در رابطه با فرآیندهای زمین‌شناختی ناقص است، همواره فرضیاتی برای پارامترسازی و فرمول‌های تجربی در توسعه مدل‌های گردش عمومی جو در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین همواره بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل‌های مذکور تفاوت‌هایی

وجود دارد که از این تفاوت به عنوان خطای اریبی یاد می‌شود. حذف این خطا از خروجی مدل‌های اقلیمی برای چشم‌انداز (Projection) سناریوهای اقلیمی و هیدرولوژیکی امری مهم و ضروری است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۹). طی دهه‌های گذشته چندین گروه مطالعاتی و همچنین فعالیت‌های مشترک بین‌المللی از جمله هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) با استفاده از مدل‌های اقلیم جهانی، مجموعه‌ای از داده‌های پیش‌بینی شده از شرایط گذشته و آینده اقلیم جهان را ارائه کرده‌اند. شبیه‌سازی‌های مدل‌های اقلیم جهانی توسط پروژه مقایسه متقابل مدل‌های اقلیمی (CMIP) آرشو شده است که یکی از مهم‌ترین منابع برای بررسی شرایط آب و هوایی قرن بیست و یکم محسوب می‌شوند (معصوم‌پور سماکوش و همکاران، ۱۳۹۶). اولین سری از داده‌های این پروژه با نام CMIP1 شامل نتایج اجرای کنترل (با فرض ثابت بودن تابش خورشید، غلظت دی‌اکسید کربن و سایر واداشته‌های خارجی اقلیمی) بودند. در سال ۱۹۶۶ مدل‌ها با سناریوی افزایش دی‌اکسیدکربن به میزان یک درصد در سال اجرا شدند که نتایج آن در قالب پروژه CMIP2 ارائه شد که علاوه بر داده‌های اجرای کنترلی، بروندهای با سناریوی افزایش دی‌اکسید کربن با آهنگ یک درصد در سال را نیز در برداشت (بابائیان و همکاران، ۱۳۹۸). شبیه‌سازی‌های فاز سوم CMIP به‌طور گسترده‌ای در سطح جهان مورد بررسی قرار گرفته و با چهارمین گزارش IPCC تلفیق شده است. طی سال‌های گذشته شبیه‌سازی‌ها برای فاز پنجم پروژه CMIP به اتمام رسیده و به‌طور گسترده در گزارش پنجم ارزیابی اقلیم جهانی توسط IPCC نمایان شده است (معصوم‌پور سماکوش و همکاران، ۱۳۹۶). اخیراً نسخه جدیدی از گزارش‌های مربوط به مدل‌های آب و هوایی (CMIP6) ارائه شده است که نسبت به گزارش‌های قبلی با پیشرفت در فرآیندهای فیزیکی و وضوح مکانی بالاتری از محورهای علمی برای ارزیابی تغییرات شرایط گذشته و آینده آب و هوایی است (Kim et al, 2020., Akinsanola et al, 2020). در شبیه‌سازی دوره تاریخی (۱۸۵۰-۲۰۱۴) گزارش ششم با توجه به اینکه هم از عوامل طبیعی (فوران‌های آتشفشانی و تغییرات فعل و انفعالات خورشیدی) و هم انسانی (غلظت CO2، کاربری اراضی) در اجرای مدل‌ها استفاده شده است، بنابراین در ارزیابی میانگین شرایط آب و هوایی می‌تواند مفید باشد (Srivastava et al, 2020., Wehner et al, 2020). این گزارش با داشتن تفاوت‌هایی نسبت به گزارش-

های قبلی خود از جمله سناریوهای انتشار کربن، در واقع نسخه به روز شده گزارش‌های IPCC برای مطالعه تغییر اقلیم است (Almazroui et al, 2020). به دلیل نبود داده‌های مشاهده شده، سناریوهای آب و هوایی فرض‌های ضمنی یا صریح از دوره‌های زمانی فعلی به دوره‌های زمانی آینده ارائه می‌دهند (Kerkhoff et al, 2014). سناریوها را می‌توان "در آینده چه اتفاقی ممکن است بیفتد یا فرض‌های محتمل در آینده" تعریف کرد (Pedde et al, 2020). سناریوهای SSP با هدف مستندسازی پیش‌آگاهی‌های کمی از خط سیرهای به اصطلاح مشترک اجتماعی - اقتصادی هستند؛ این سناریوها بخشی از چارچوب جدید تغییرات جهانی می‌باشند تا براساس آن تجزیه و تحلیل‌های یکپارچه‌ای از تأثیرات اقلیمی، آسیب-پذیری‌ها، سیاست‌های مرتبط با سازگاری و تعدیل را ارائه دهند (Frame et al, 2018). زرین و داداشی رودباری، (۱۳۹۹). تجزیه و تحلیل‌های سناریو به عنوان ابزار اساسی در مطالعات کاهش و سازگاری آب و هوا ظاهر شده‌اند. این سناریوها (SSPs) مسیرهای توسعه یافته اقتصادی - اجتماعی قرن ۲۱ هستند که اطلاعات کمی و غیرکمی را باهم ترکیب می‌کنند و شامل ۵ سناریو متناوب می‌باشند که با ویژگی‌های توسعه پایدار، رقابت منطقه‌ای، نابرابری، توسعه سوخت‌های فسیلی و توسعه متوسط مشخص می‌شوند (Chen et al, 2020). بطور خلاصه SSPs تحولات آینده در غیاب تغییرات آب و هوایی را توصیف می‌کند. سناریوهای ۱ و ۵ روندهای نسبتاً خوش‌بینانه‌ای برای توسعه انسانی از لحاظ آموزش، بهداشت، رشد اقتصادی در نظر می‌گیرند. با این تفاوت که SSP5 این روند را مبتنی بر انرژی‌های فسیلی و SSP1 بر مبنای توسعه پایدار فرض می‌کنند. SSPs ۳ و ۴ روند بدبینانه-ای با سرمایه‌گذاری اندک در زمینه بهداشت و آموزش، رشد سریع جمعیت و افزایش نابرابری‌ها تصور می‌کنند. در سناریو ۳ امنیت منطقه‌ای و در سناریو ۴ ناامنی داخل و بین کشورها در نظر گرفته می‌شود. در نهایت سناریو ۲ یک مسیر متعادل که در آن روندها ادامه الگوهای تاریخی خود هستند فرض می‌شود (O'Neill et al, 2016). از مطالعاتی که در سطح جهان و ایران در رابطه با پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی با استفاده از گزارش‌های CMIP6 انجام شده می‌توان به مواردی اشاره کرد: زرین و داداشی رودباری (۱۳۹۹) چشم‌انداز بلندمدت دمای کشور را با سه مدل از مدل‌های فاز ششم برای دوره ۲۰۲۰-۲۱۰۰ بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد بی-

هنجاری مثبت دما در ایران در تمام ماه‌های سال تا پایان قرن بیست و یکم مورد انتظار می‌باشد که این افزایش دما طبق سناریوهای SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 به ترتیب ۲/۱۵ و ۳/۳۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. زرین و صالح‌آبادی (۱۳۹۸) به پیش‌آگاهی مخاطره خشکسالی در تهران براساس برون‌داد سه مدل از مدل‌های CMIP6 در دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۵ پرداختند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی مقادیر بارش ماهانه تحت دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه در دهه‌های آینده نوسانات بالایی را تجربه خواهد نمود. ناصری و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از رویکرد مقایسه‌ای برون‌دادهای مدل‌های گردش عمومی جو، میزان کارآیی و شش مدل از سری مدهای GCM برای متغیر دمای روزانه در سطح استان البرز طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۵ را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که برون‌دادهای تاریخی مدل‌های اقلیمی درون مقایسه‌ای فاز ششم نیز به خوبی مدل‌های مستخرج از فاز پنجم قادر به شبیه‌سازی دوره‌های تاریخی هستند. محمدی و همکاران (۱۴۰۲) به پیش‌نگری بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 در شمال‌غرب ایران پرداختند. از بین مدل‌های مورد بررسی آن‌ها، مدل MPI-ESM1-2LR از دقت بیشتری در شبیه‌سازی بارش نشان داد. در ایران مطالعات دیگری توسط خان‌سالاری و محمدی (۱۴۰۲)، انصاری مهابادی و همکاران (۱۴۰۱)، زارعیان و همکاران (۱۴۰۱) در این زمینه انجام شده است. همچنین می‌شود و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به تصحیح آماری سه متغیر بارش، دمای حداکثر و حداقل روزانه در جنوب آفریقا پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند براساس ۴ سناریو-SSP1, SSP2-4.5, SSP3, SSP5-8.5, SSP7, دمای هوا ۳ تا ۵ درجه سانتیگراد و بارش ۱۳ تا ۳۰ درصد در دوره ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره ۲۰۱۴-۱۹۵۱ افزایش می‌یابد. ونر و همکاران (۲۰۲۰) به مطالعه مقایسه‌ای داده‌های بارش و دماهای حدی کره زمین در دوره-های تاریخی گزارش‌های CMIP5 و CMIP6 پرداختند. نتایج نشان داد که برون‌داد تاریخی CMIP6 قادر است همانند داده-های متناظر در CMIP5 بارش و دماهای حدی را شبیه‌سازی کند. المزروعی و همکاران (2020a) تغییرات بارش و دما در شبه‌جزیره عربستان را برای دوره آینده پیش‌نگری کردند. آن‌ها از برون‌داد ۳۱ مدل از CMIP6 در این مطالعه استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان داد که میانگین بارش سالانه حدود ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش یافته و تغییرات بارش

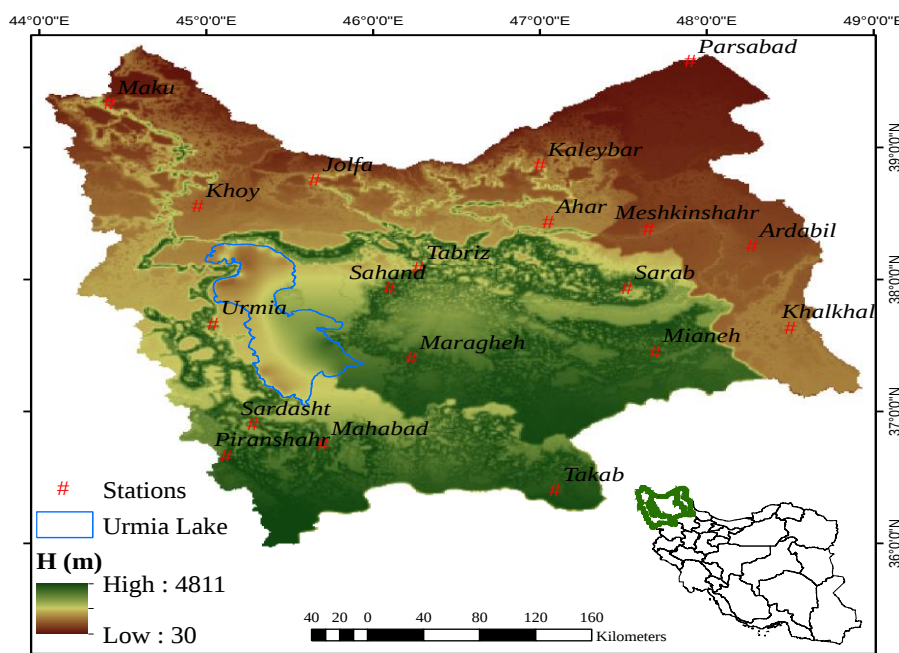
این محدوده براساس مطالعات صورت گرفته همانند بیش‌تر مناطق جهان تحت تاثیر تغییرات اقلیمی بوده است (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۸۷؛ جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۵؛ رضائی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۴؛ رستم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین عناصر هواشناسی منطقه تغییراتی را نشان می‌دهند و تغییرات بارش محسوس‌تر می‌باشد (فرامرزی فرد و قاسمی، ۱۳۹۲).

به منظور مطالعه پیش‌نگری بارش در مطالعه حاضر از سه پایگاه داده: آرشیو سازمان هواشناسی، برون‌داد مدل‌های فاز ششم و داده‌های پایگاه آفرودیت متناسب با هر مرحله استفاده شد. در گام اول داده‌های مشاهده شده روزانه بارش ایستگاه‌ها (۱۹۵۱-۲۰۱۹) از سازمان هواشناسی اخذ و سپس از نظر همگنی بررسی گردیدند و با توجه به اینکه برخی ایستگاه‌ها دوره آماری کوتاهی داشتند بنابراین از مطالعه حذف و تنها ایستگاه‌هایی که دارای حداقل ۲۰ سال دوره آماری مشاهده شده بودند در مطالعه گنجانده شدند. سری دوم داده‌ها، برون‌داد ۲۶ مدل از مدل‌های GCM برای فاز ششم در مقیاس روزانه بودند که برای دوره تاریخی یا هیستوریکال (۲۰۱۴-۱۹۸۰) و دوره آینده (۲۰۱۰-۲۰۱۵) از سایت <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/> دانلود شد.

به صورت کاهشی خواهد بود. همچنین المزروعی و همکاران (b2020) تغییرات بارش و دما را با داده‌های CMIP6 در آفریقا مطالعه کردند. نتایج نشان داد میانگین دمای سالانه تحت سناریوهای SSP 1-2.6, SSP 2-4.5, SSP 5-8.5 به ترتیب ۱/۲، ۱/۵ و ۱/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا خواهد کرد. طبق مطالعه آن‌ها تغییرات بارش تحت سناریوهای فوق به ترتیب ۶/۲؛ ۶/۸ و ۹/۵ میلی‌متر در دوره‌های آینده افزایش خواهد یافت؛ با این حال تغییرات بارش به صورت یکنواخت نخواهد بود. مطالعه حاضر با هدف پیش‌نگری بارش و مطالعه روند آن با استفاده از برون‌داد گزارش ششم IPCC برای بخشی از شمال‌غرب ایران انجام گرفت.

## مواد و روش

محدوده مورد مطالعه با مساحت حدود ۱۰۰ هزار کیلومتر مربع و اختلاف ارتفاع بیش از ۴۰۰۰ متر جزو مناطق کوهستانی شمال‌غرب ایران است. طبق آمار هواشناسی موجود میانگین بارش و دمای سالانه این منطقه به ترتیب ۳۵۲ میلی‌متر و ۱۱/۸۱ درجه سانتی‌گراد با گرادیان بارشی  $P = 228.81 + 0.093 h$  (P میانگین بارش سالانه به میلی‌متر و h ارتفاع از سطح دریا به متر) می‌باشد (شکل و جدول ۱).



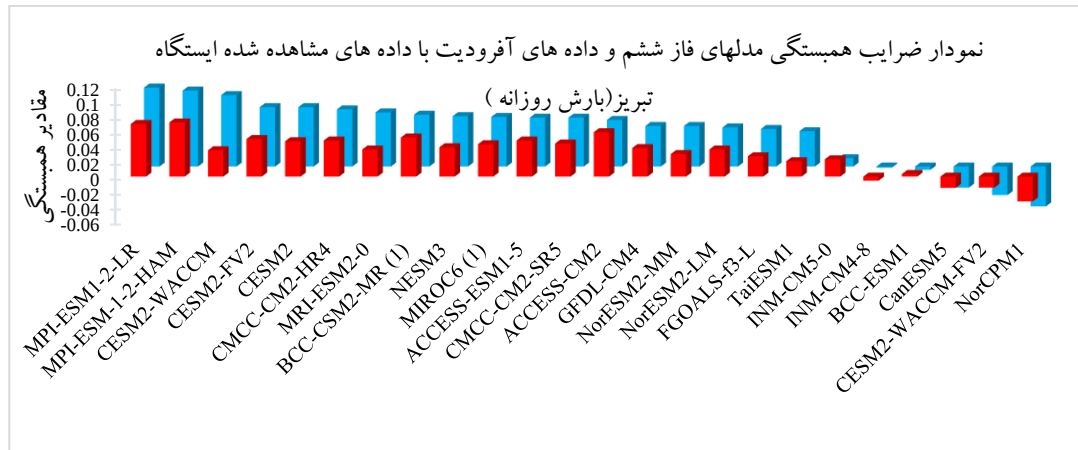
شکل ۱: نقشه رقومی ارتفاع محدوده و موقعیت ایستگاههای مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه (تاریخ پایان دوره آماری تمام ایستگاه‌ها ۲۰۱۹ می‌باشد)

| ردیف | ایستگاه   | ارتفاع | طول<br>جغرافیایی | عرض<br>جغرافیایی | تاریخ<br>شروع | میانگین<br>بارش | میانگین<br>دما |
|------|-----------|--------|------------------|------------------|---------------|-----------------|----------------|
| ۱    | اردبیل    | ۱۳۳۲   | ۴۸° ۱۷'          | ۳۸° ۱۵'          | ۱۹۸۴          | ۲۹۵.۵           | ۹.۲            |
| ۲    | ارومیه    | ۱۳۲۸   | ۴۵° ۳'           | ۳۷° ۴۰'          | ۱۹۵۱          | ۳۳۸.۶           | ۱۱.۶           |
| ۳    | اهر       | ۱۳۹۰.۵ | ۴۷° ۴'           | ۳۸° ۲۶'          | ۱۹۸۶          | ۲۸۵.۲           | ۱۱             |
| ۴    | پارس آباد | ۳۱.۹   | ۴۷° ۵۵'          | ۳۹° ۳۹'          | ۱۹۹۲          | ۲۷۱.۲           | ۱۵.۲           |
| ۵    | پیرانشهر  | ۱۴۵۵   | ۴۵° ۸'           | ۳۶° ۴۰'          | ۱۹۹۴          | ۶۷۲.۷           | ۱۲             |
| ۶    | تبریز     | ۱۳۶۱   | ۴۶° ۱۷'          | ۳۸° ۵'           | ۱۹۵۱          | ۲۸۵             | ۱۲.۶           |
| ۷    | تکاب      | ۱۸۱۷.۲ | ۴۷° ۶'           | ۳۶° ۲۴'          | ۱۹۹۲          | ۳۳۸.۶           | ۹.۴            |
| ۸    | جلفا      | ۷۳۶.۲  | ۴۵° ۴۰'          | ۳۸° ۴۵'          | ۱۹۸۶          | ۲۰۶.۲           | ۱۵             |
| ۹    | خلخال     | ۱۷۹۶   | ۴۸° ۳۱'          | ۳۷° ۳۸'          | ۱۹۹۲          | ۳۷۸.۶           | ۸.۲            |
| ۱۰   | خوی       | ۱۱۰۳   | ۴۴° ۵۸'          | ۳۸° ۳۳'          | ۱۹۶۰          | ۲۸۹.۲           | ۱۲.۱           |
| ۱۱   | سراب      | ۱۶۸۲   | ۴۷° ۳۲'          | ۳۷° ۵۶'          | ۱۹۸۹          | ۲۴۱.۵           | ۸.۷            |
| ۱۲   | سردشت     | ۱۵۵۶.۸ | ۴۵° ۲۹'          | ۳۶° ۹'           | ۱۹۹۸          | ۸۴۱.۲           | ۱۳.۱           |
| ۱۳   | سهند      | ۱۶۴۱   | ۴۶° ۷'           | ۳۷° ۵۶'          | ۱۹۹۶          | ۲۰۲.۷           | ۱۲.۳           |
| ۱۴   | کلبر      | ۱۱۸۰   | ۴۷° ۱'           | ۳۸° ۵۲'          | ۲۰۰۰          | ۳۸۶.۸           | ۱۲.۴           |
| ۱۵   | ماکو      | ۱۴۱۱.۳ | ۴۴° ۲۶'          | ۳۹° ۲۰'          | ۱۹۸۷          | ۳۰۲.۸           | ۱۰.۶           |
| ۱۶   | مراغه     | ۱۴۷۷.۷ | ۴۶° ۱۶'          | ۳۷° ۲۴'          | ۱۹۸۴          | ۳۰۹.۹           | ۱۳.۲           |
| ۱۷   | مشکین شهر | ۱۵۶۸.۵ | ۴۷° ۴۰'          | ۳۸° ۲۳'          | ۱۹۹۶          | ۳۷۳             | ۱۰.۸           |
| ۱۸   | مهاباد    | ۱۳۵۱.۸ | ۴۵° ۴'           | ۳۶° ۴۵'          | ۱۹۸۹          | ۴۰۳.۸           | ۱۳             |
| ۱۹   | میانه     | ۱۱۱۰   | ۴۷° ۴۲'          | ۳۷° ۲۷'          | ۲۰۰۰          | ۲۷۸             | ۱۴             |

مورد نظر محاسبه شد و در نهایت از ۲۶ مدل مورد بررسی (شکل ۲)، مدل MPI-ESM-1-2LR که در بیش‌تر ایستگاه‌ها دارای بالاترین همبستگی بود و همچنین به دلیل قابل دسترس بودن داده‌های دوره آینده، به عنوان مدل منتخب مورد بررسی قرار گرفت. این مدل آخرین نسخه مدل سیستم زمینی موسسه ماکس پلانک می‌باشد که در دو وضوح بالا و پایین در دسترس بوده و مبنای اساسی مدل‌های CMIP6 و پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی در مقیاس فصلی و چند دهه‌ای می‌باشد که با قدرت تفکیک افقی  $1/9^\circ \times 1/9^\circ$  درجه طول و عرض جغرافیایی ( $250$  کیلومتر مربع) تولید شده است (Muller et al, 2018., Karim et al, 2020). پیش-نگری بارش با برونداد مدل مذکور در چهار دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

با توجه به اینکه داده‌های GCM در مقیاس جهانی و فرمت nc می‌باشند؛ داده‌ها در نرم‌افزار R پکیج (netCDF) برای هر ایستگاه (نزدیک‌ترین گرید به هر ایستگاه) استخراج شدند. برای بررسی دوره هیستوریکال مدل‌ها، بعد از چندین بار سعی و خطا و محاسبه همبستگی بین داده‌های مدل‌ها با آمار مشاهده شده، دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ به عنوان دوره هیستوریکال در نظر گرفته شد. همچنین باید یادآور شد که برای ۵ ایستگاه (سردشت، سهند، کلبر، مشکین‌شهر و میانه) که دوره هیستوریکال آن‌ها کمتر از دوره مورد نظر (۱۹۹۵-۲۰۱۴) بود، برای جبران فقدان داده در سال‌های مورد نظر از داده‌های آفرودیت که همبستگی بالایی با داده‌های منطقه دارد، استفاده شد (مثلاً شروع دوره آماری ایستگاه میانه از سال ۲۰۰۰ است درحالی‌که دوره تاریخی مورد بررسی از سال ۱۹۹۵ می‌باشد، بنابراین برای دوره ۱۹۹۵-۲۰۰۰ این ایستگاه از داده‌های آفرودیت استفاده شد). داده‌های ایستگاهی با داده‌های هیستوریکال مدل‌ها مقایسه گردید و همبستگی آن‌ها در دوره



شکل ۲- نمودار ضرایب همبستگی مدل‌های گزارش ششم با ایستگاه تبریز و داده‌های آفرودیت

روش دلتا (عامل تغییر دلتا)  $\bar{P}_{GCM}$  متوسط بارندگی ماهانه آینده GCM و  $\bar{P}_{His}$  متوسط بارندگی ماهانه دوره تاریخی GCM می‌باشد.

#### آزمون من-کندال؛

این آزمون ابتدا توسط من (Mann) در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ بسط و توسعه یافت. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی‌ای که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد (ساری صراف و همکاران، ۱۳۹۴). در واقع وابسته نبودن به توزیع نرمال داده‌ها و حساسیت کم به داده‌های پرت از ویژگی‌های آزمون من-کندال است (Panda & Sahu, 2019). از این آزمون ساده و در عین حال قوی به توصیه سازمان جهانی هواشناسی برای تعیین روند در داده‌های محیطی استفاده می‌شود (Kocsis et al, 2020). در مطالعه حاضر نیز به منظور بررسی روند بارش‌های جامد در ساعات مختلف شبانه‌روز و در طول سال از آزمون من-کندال استفاده شد. در این آزمون تحت فرض  $H_0$ ، داده‌ها از سری که مستقل و دارای توزیع یکسان می‌باشد گرفته شده‌اند و به صورت معادله‌های زیر می‌باشند (باقرپور و همکاران، ۱۳۹۴):

$$s = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i), \text{ where } \text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

که واریانس فرآیند از معادله (۴) تعیین می‌شود.

$$Q_s^2 = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)] \quad (4)$$

در رابطه فوق  $m$  تعداد دسته‌ها با داده‌های گروه‌دار و  $t_i$  تعداد داده‌ها گروه‌دار در هر دسته  $m$  می‌باشد.

برای تصحیح اریبی داده‌های GCM از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که روش دلتا متداول‌ترین آن‌هاست (Graham et al, 2007., Bosshard et al, 2011., Teutschbein, & Seibert, 2012) بنابراین در پژوهش حاضر از روش فوق برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های روزانه بارش تحت ۴ سناریو SSP و در ۴ دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ استفاده شد. در این روش فرض می‌شود که مقدار تغییرات دما و بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه را می‌توان توسط خروجی‌های AOGCM محاسبه و بر روی داده‌های مشاهداتی ایستگاهی اعمال کرد. در این روش تغییرات دما و بارش در دوره آتی نسبت به حال، براساس خروجی‌های مدل‌های AOGCM تحت یک سناریو مشخص محاسبه می‌شود (منصوری و همکاران، ۱۳۹۷). در این روش، ریزمقیاس‌نمایی بارش و دما طبق رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه می‌شود (Fowler et al, 2007؛ چمنی و همکاران، ۱۳۹۹):

$$T_{GCM} = T_{obs} + (\bar{T}_{GCM} - \bar{T}_{His}) \quad (1)$$

$$P_{GCM} = P_{obs} * \left( \frac{\bar{P}_{GCM}}{\bar{P}_{His}} \right) \quad (2)$$

که در روابط فوق،  $T_{GCM}$  دمای آینده تصحیح شده برای روز مورد نظر،  $T_{obs}$  دمای مشاهده شده روزانه،  $\bar{T}_{GCM}$  متوسط دمای ماهانه GCM در دوره آینده،  $\bar{T}_{His}$  متوسط دمای ماهانه GCM در دوره تاریخی،  $P_{GCM}$  بارندگی تصحیح شده در روز مورد نظر برای آینده،  $P_{obs}$  بارندگی مشاهده شده روزانه،

افزایشی (کاهش) در سری داده‌ها است (میرعباسی و دین-پژوه، ۱۳۹۱).

### بحث

تغییرات بارش شمال‌غرب ایران در دوره‌های آینده چشم‌انداز بارشی شمال‌غرب ایران تحت ۴ سناریوی SSP تا سال ۲۱۰۰ پیش‌نگری شد. سپس اختلاف میانگین دوره پایه نسبت به مقادیر محاسبه شده هر چهار سناریو بدست آمد. نتایج نشان داد این منطقه در دوره آینده تغییرات کاهش و افزایش بارش نسبت به میانگین خود تجربه خواهد کرد. با توجه به تعریف تغییر اقلیم که تغییرات پدیده‌ها نسبت به متوسط آن‌ها را بررسی می‌کند؛ شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نمودار تغییرات و نقشه‌های درونیابی شده درصد تغییرات بارش نسبت به دوره پایه را تحت سناریوهای مختلف برای منطقه نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن میانگین بارش روزانه مشاهده شده منطقه (۰/۹۶ میلی‌متر)، در شکل ۳ به طور متوسط مقادیر محاسبه شده SSP 2-4.5 کمترین فاصله را با میانگین منطقه دارد؛ این فاصله در ایستگاه‌های تبریز و جلفا به نزدیک صفر می‌رسد. صعودی‌ترین حرکت نمودار نسبت به میانگین منطقه در سناریو SSP 5-8.5 و در ایستگاه تکاب قابل مشاهده است که حدود ۲۰ درصد افزایش بارش نسبت به میانگین خود در دوره پایه نشان می‌دهد. با این حال بیش‌ترین تغییرات کاهش و افزایشی همه ایستگاه‌ها به ترتیب در SSP 3-7 و SSP 1-2.6 نمایان می‌شود.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{Q_s}, & \text{if } s > 0 \\ 0, & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{Q_s}, & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

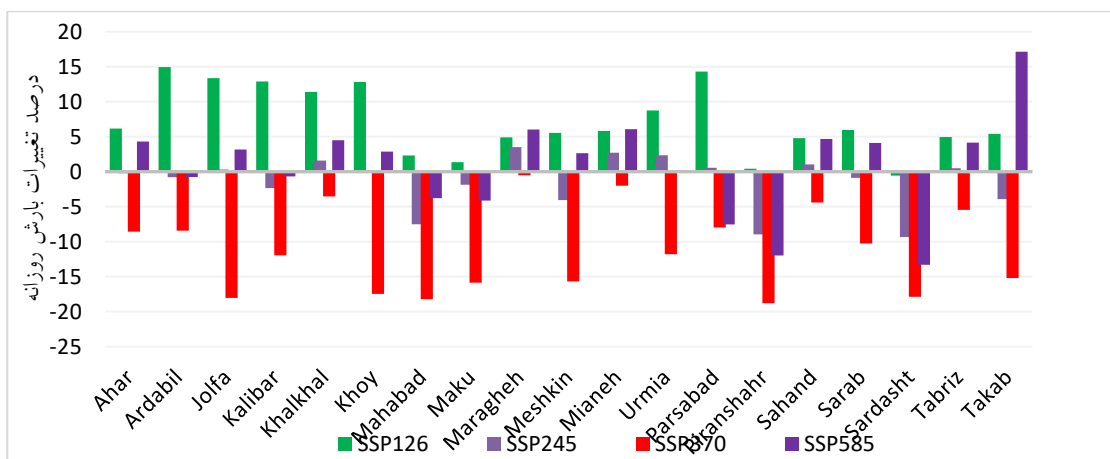
مقدار Z به‌دست آمده با رابطه‌های فوق با مقادیر Z بدست آمده از جدول توزیع نرمال استاندارد با سطح اطمینان مورد نظر مقایسه می‌شود. چنانچه Z محاسباتی بزرگتر از Z جدول باشد فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود روند با سطح اطمینان مورد نظر رد می‌شود. در صورت وجود روند مقادیر Z مثبت نشان دهنده روند مثبت و مقادیر Z منفی نشان دهنده روند منفی می‌باشد.

### روش تخمین‌گر شیب سن

از روش تخمین‌گر ناپارامتری سن برای پیش‌بینی شیب واقعی داده‌های سری زمانی هیدرومتری استفاده می‌شود (Hussain et al, 2015). این روش نیز همانند روش من‌کندال بر اساس مفهوم تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بنا نهاده شده است. با این تفاوت که روش من-کندال تنها روند را نشان می‌دهد اما روش شیب سن نشانگر بزرگی شیب روند است. بنابراین برای محاسبه شیب واقعی روند بارش‌های جامد در شمال‌غرب ایران از روش شیب سن استفاده شد. در این روش شیب بین هر جفت داده در سری محاسبه گشته و میانه سری شیب‌های به‌دست آمده استخراج می‌گردد (سن، ۱۹۶۸):

$$\beta = \text{Mediam} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \forall i < j \quad (6)$$

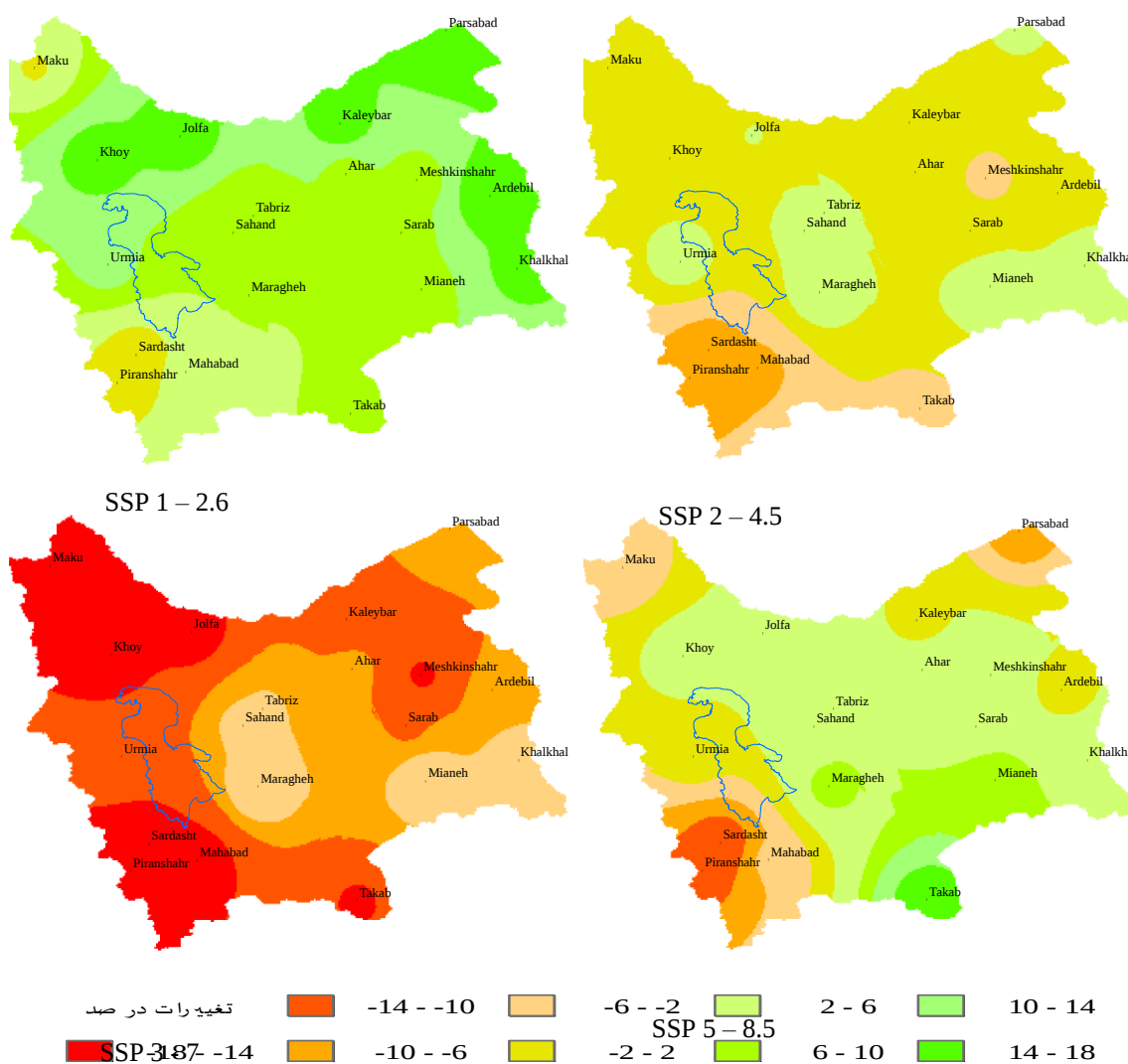
در رابطه فوق  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $x_i$  مقدار مشاهده  $i$ ام می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی)  $\beta$  نشان دهنده روند



شکل ۳ نمودار درصد تغییرات بارش پیش‌نگری شده ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه

سناریو متعادل با میانگین بارش ایستگاه‌ها در دوره مشاهده شده تفاوت کمتری داشته و اختلاف کاهشی در ایستگاه‌های سردشت و پیرانشهر محسوس‌تر است. در کنار تغییرات منفی بارش، مقادیر مثبت و افزایشی نیز به چشم می‌خورد که در سناریو خوش‌بینانه (SSP 1-2.6) به بالاترین مقدار خود می‌رسد. براساس داده‌های این سناریو میانگین بارش در ایستگاه‌های اردبیل و پارس‌آباد نسبت به دوره مشاهده شده حدود ۱۵ درصد افزایش نشان می‌دهد.

شکل ۴ نقشه‌های درون‌بایی شده درصد تغییرات بارش به روش IDW می‌باشد و نشان می‌دهد در جنوب‌غرب منطقه به مرکزیت ایستگاه‌های پیرانشهر و سردشت بیش‌ترین تغییرات کاهشی بارش در دوره‌های آینده تحت هر ۴ سناریو و بویژه سناریو SSP 3-7 قابل مشاهده است. تحت این سناریو دامنه تغییرات بارش منطقه از ۰.۵- تا ۱۸- میلی‌متر بین ایستگاه‌ها متفاوت است. کم‌ترین دامنه تغییرات در سناریو متعادل (SSP 2-4.5) به چشم می‌خورد. میانگین بارش



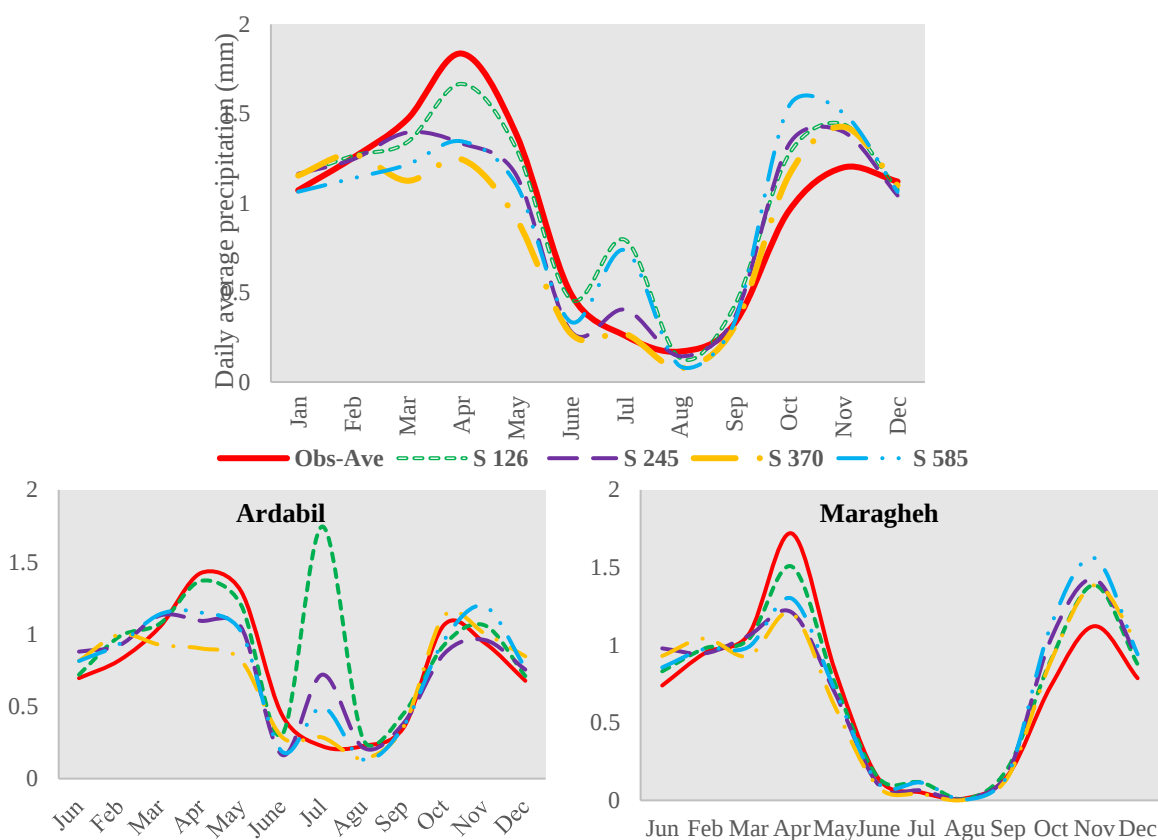
شکل (۴) درصد تغییرات بارش منطقه نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای مورد استفاده

حاکمی از تغییرات شدید میانگین بارش روزانه در برخی ماه‌ها است. این تغییرات به‌صورت افزایشی و کاهشی می‌باشد؛ به‌طور متوسط بیش‌ترین تغییرات کاهشی و افزایشی بارش منطقه به ترتیب در ماه اوت و اکتبر دیده شد. می‌توان گفت ماه

تغییرات میانگین بارش روزانه در هر ماه میانگین بارش روزانه هر ماه، در دوره‌های پایه و آینده بررسی شد و تغییرات میانگین بارش در تمام ایستگاه‌ها و متوسط منطقه‌ای به‌صورت نمودار رسم گردید (شکل ۵). یافته‌ها

هر کدام از ایستگاه‌ها رفتار متفاوتی نشان دادند؛ درحالی‌که تغییرات میانگین بارش روزانه در ماه‌های سال در ایستگاه‌هایی مانند ارومیه، ماکو و مراغه تحت هر ۴ سناریو تقریباً به‌صورت یکنواخت بود. با این وجود در ایستگاه‌هایی مانند اردبیل، تکاب و پارس‌آباد تغییر ناگهانی میانگین بارش در برخی ماه‌ها مشاهده شد؛ این تغییر گاهی بصورت افزایشی می‌باشد و عامل آن رخداد بارش‌های سنگین در روزهای محدودی از ماه است (شکل ۵).

اوت (مرداد) کم‌بارش‌ترین ماه سال در دوره مشاهده شده و پیش‌نگری شده است. بطوریکه از میزان بارش ناچیز این ماه بطور متوسط حدود ۵ درصد نیز در دوره‌های آینده کم خواهد شد. دومین ماه کم بارش سال در دوره مشاهده شده ماه ژوئیه (تیر) است که در دوره‌های آینده به مقدار بارش آن افزوده خواهد شد و در کنار ماه‌های اکتبر، نوامبر، ژانویه و سپتامبر جزو ماه‌هایی خواهد بود که در دوره‌های آینده افزایش بارش نسبت به دوره مشاهده شده دارند. علاوه بر میانگین منطقه‌ای،



شکل ۵- نمودارهای میانگین بارش در هر ماه

به ترتیب در ایستگاه سردشت و ایستگاه تبریز مشاهده می‌شود (جدول ۲). شکل ۶ روند تغییرات بارش منطقه را به‌صورت نقشه‌های درونیایی شده به تصویر می‌کشد. در این نقشه‌ها قسمت‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه روند منفی با مقادیر کم و حتی روند افزایشی در تغییرات بارش را نشان می‌دهند. برعکس در نیمه شرقی منطقه روند کاهشی بارش تحت سناریوهای SSP 2-4.5، SSP 3-7 و SSP 5-8.5 به خوبی قابل

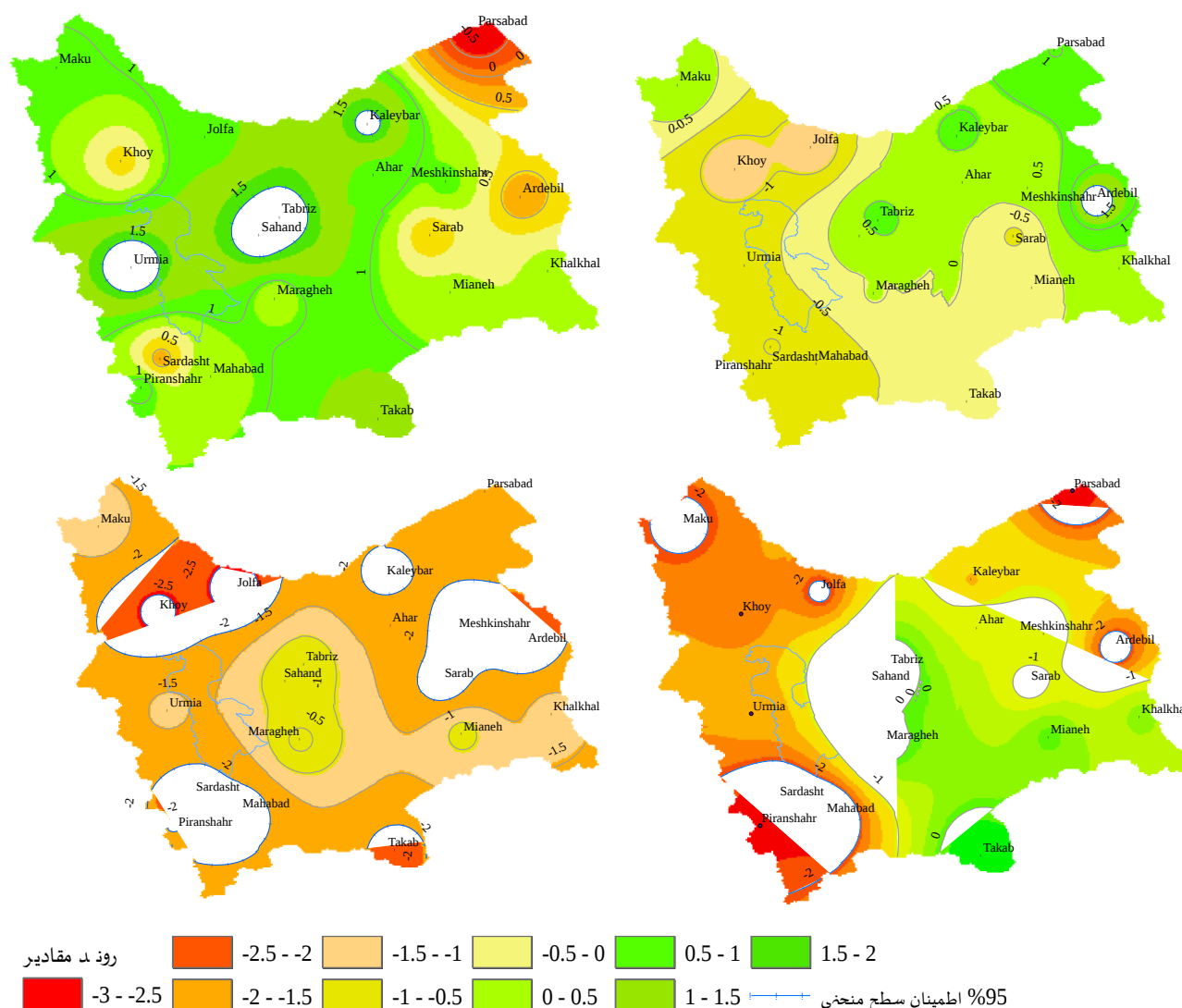
روند بارش‌های شمال‌غرب تحت سناریوهای چهارگانه پس از پیش‌نگری بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه با چهار سناریو مختلف، روند بارش در هر ایستگاه با آزمون من-کندال و شیب سن محاسبه شد. نتایج نشان دادند روند بارشی این منطقه در دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۱ تحت سناریو SSP 3-7 در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه کاهشی خواهد بود. با این حال سناریو SSP 1-2.6 روند افزایشی در ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. بیش‌ترین روند کاهشی و افزایشی تحت هر ۴ سناریو

تشخیص است. مقایسه خروجی‌های درونیابی شده، اختلاف سناریوی SSP 1-2.6 نسبت به سناریوهای دیگر را نمایان می‌سازد؛ به‌طوریکه تغییرات بارش تحت این سناریو روند افزایشی حدود ۰/۹۶ را نشان می‌دهد. تفاوت دیگر این سناریو در وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین روند بارش و تغییرات ارتفاع است که حدود ۰/۵۷ می‌باشد.

جدول ۲ مقادیر روند من-کندال و شیب سن محاسبه شده ایستگاه‌ها برای هر سناریو

| ایستگاه   | من کندال  |         |           |           | شیب سن    |         |           |           |
|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|
|           | SSP 5-8.5 | SSP 3-7 | SSP 2-4.5 | SSP 1-2.6 | SSP 5-8.5 | SSP 3-7 | SSP 2-4.5 | SSP 1-2.6 |
| اردبیل    | ۰.۳۷      | *۱.۷۷   | *-۲.۳۲    | *-۲.۲۵    | ۰         | ۰.۰۰۲   | ۰.۰۰۲     | ۰.۰۰۲     |
| ارومیه    | *۱.۷۳     | -۰.۵۹   | -۱.۴۱     | *-۱.۶۳    | ۰.۰۰۳     | ۰.۰۰۱   | ۰.۰۰۲     | ۰.۰۰۳     |
| اهر       | ۱.۱       | ۰.۰۶    | *-۱.۵۳    | -۰.۷۸     | ۰.۰۰۱     | ۰.۰۰۲   | ۰         | ۰.۰۰۱     |
| پارس آباد | -۰.۹      | ۱.۰۱    | *-۱.۷۲    | *-۲.۴۶    | ۰.۰۰۱     | ۰.۰۰۲   | ۰.۰۰۱     | ۰.۰۰۳     |
| پیرانشهر  | ۱.۰۵      | -۰.۶۷   | *-۱.۹۹    | *-۲.۴۸    | ۰.۰۰۴     | ۰.۰۰۲   | ۰.۰۰۵     | ۰.۰۰۸     |
| تبریز     | *۱.۶۸     | ۰.۷۹    | -۰.۵۴     | ۰.۵۱      | ۰.۰۰۱     | ۰.۰۰۱   | ۰.۰۰۱     | ۰.۰۰۱     |
| تکاب      | ۱.۳۵      | -۰.۳۵   | *-۲.۱۶    | ۰.۷۱      | ۰.۰۰۲     | ۰       | ۰.۰۰۲     | ۰.۰۰۲     |
| جلفا      | ۱.۰۶      | -۱.۴۶   | *-۲.۸۲    | *-۲.۰۷    | ۰.۰۰۲     | ۰.۰۰۲   | ۰.۰۰۳     | ۰.۰۰۳     |
| خلخال     | ۰.۸۶      | ۰.۳۶    | -۱.۳۴     | ۰.۳۵      | ۰.۰۰۲     | ۰       | ۰.۰۰۲     | ۰         |
| خوی       | ۰.۶       | -۱.۴۳   | *-۲.۶۳    | *۱.۸۵     | ۰.۰۰۱     | ۰.۰۰۲   | ۰.۰۰۴     | ۰.۰۰۴     |
| سراب      | ۰.۵۱      | -۰.۵۹   | *-۲.۳۵    | ۱.۱۴      | ۰         | ۰       | ۰.۰۰۲     | ۰.۰۰۱     |
| سردشت     | ۰.۴۳      | -۱.۰۴   | *-۲.۳۷    | *۲.۶۱     | ۰.۰۰۲     | ۰.۰۰۴   | ۰.۰۰۹     | ۰.۰۱۲     |
| سهند      | *۱.۷      | ۰.۲۳    | -۰.۸۲     | ۰.۴۴      | ۰.۰۰۱     | ۰       | ۰.۰۰۱     | ۰         |
| کلیر      | *۱.۵۷     | ۰.۶۴    | *-۲.۱۸    | ۱.۴۳      | ۰.۰۰۳     | ۰.۰۰۱   | ۰.۰۰۳     | ۰.۰۰۲     |
| ماکو      | ۰.۹۸      | ۰.۴۶    | ۱.۳       | *۲.۱۰     | ۰.۰۰۲     | ۰.۰۰۱   | ۰.۰۰۲     | ۰.۰۰۳     |
| مراغه     | ۰.۸۴      | ۰.۰۲    | ۰.۳۸      | ۰.۲۵      | ۰.۰۰۱     | ۱       | ۰         | ۰         |
| مشکین شهر | ۱         | ۰.۰۷    | *۲.۴۲     | ۰.۸       | ۰.۰۰۱     | ۰       | ۰.۰۰۳     | ۰.۰۰۱     |
| مهاباد    | ۰.۸۹      | ۱       | *۲.۲۸     | *۲.۸۵     | ۰.۰۱      | ۰.۰۰۲   | ۰.۰۰۳     | ۰.۰۰۶     |
| میانه     | ۰.۸۴      | ۰.۲۳    | ۰.۸۵      | ۰.۰۵      | ۰.۰۰۱     | ۰       | ۰.۰۰۱     | ۰         |

\* significance level =0.05



شکل ۶ نقشه‌های مقادیر روند بارش تحت سناریوهای مورد استفاده (بدلیل تفاوت در سناریوها فاصله طبقات یکسان نیست)

### نتیجه‌گیری

ذات آشوب‌مند بارش، مطالعه این پدیده اقلیمی را با عدم قطعیت‌هایی همراه می‌سازد؛ این مشکل بویژه هنگامی که مطالعه و تحلیل در مقیاس زمانی کوتاه و مقیاس مکانی کوچک مد نظر باشد چنین عدم قطعیت‌ها را مضاعف می‌کند. با این حال به دلیل اهمیت بارش، در پژوهش حاضر چشم‌انداز و روند بارش روزانه شمال‌غرب در دوره‌های آتی با استفاده از برونداد گزارش ششم (CMIP6) مطالعه شد. از بین مدل‌های موجود در گزارش CMIP6، مدل MPI-ESM-1-2LR بدلیل همبستگی داده‌های گذشته‌نگر با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها و در دسترس بودن داده‌های دوره آینده انتخاب شد. تغییرات بارش در دوره‌های آینده

تحت سناریوهای SSP بصورت نمودار و نقشه‌های درونیایی شده برای محدوده بررسی شد؛ نتایج نشان داد با وجود اینکه تغییر اقلیم یک پدیده جهانی است با این حال منطقه مورد مطالعه به دلیل تفاوت اقلیم در هر بخش از آن، نسبت به تغییرات آب و هوایی بویژه تغییرات پدیده بارش رفتار متفاوتی نشان می‌دهد. بطوریکه هم تغییرات افزایشی و هم کاهش‌ی در آن مشاهده می‌شود. این تفاوت با اجرای هر یک از سناریوها به بالاترین حد خود می‌رسد؛ به‌طوری‌که متوسط چشم‌انداز بارشی منطقه در دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP 3-7 و SSP1-2.6 بترتیب کمترین و بیش‌ترین مقدار را نشان می‌دهد. بویژه در سناریو خوش‌بینانه SSP 1-2.6 توزیع ناهمگن و افزایش ناگهانی بارش نسبت به میانگین

- and air pollution in Tabriz, Environmental Risk Management, No, 2, pp 217-230.
- 8- Rostamzadeh, H., Rezaei Banafsheh, M., & Hosseinnajad, A. (2019). Identification of non-spatial patterns Hourly variations of the temperature on a monthly, seasonal, and annual basis (Case Study: Synoptic Station of Tabriz). *Climate Change and Climate Change*, 1(1), 56-76.
  - 9- Rasouli, A. A., Ostadi, E., & Azizzadeh, M. R. (2019). Spatial distribution of the daily precipitation concentration Index inside the Northwest of Iran. *Geography and Planning*, 23(69), 87-103.
  - 10- Rezaei, M., Nohtani, M., Abkar, A., Rezaei, M., & Mirkazehi, R. M. (2014). Performance evaluation of statistical downscaling model (SDSM) in forecasting temperature indexes in two arid and hyper-arid regions (case study: Kerman and Bam).
  - 11- Rezaei Banafsheh, M., Jalali, A. T., Zarghami, M., & Asghari, M. A. (2015). Investigate climate change impacts on groundwater levels in the Tasuj basin by the statistical downscaling method.
  - 12- Zarrin, A., & Dadashi Roudbari, A. A. (2020). Projection of the Long-Term Outlook Iran's Future Temperature Based on the Output of the coupled model intercomparison project Phase 6 (CMIP6). *Journal of the Earth and Space Physics*, 46(3), 583-602.
  - 13- Sari Sarraf B, Jalali Onsroudi T, Sarafrouzeh F (2016) Impacts of Global Warming on the Climate of Cities in the Lake Urmia Basin." *Biannual Journal of Urban Ecology Researches*. 6:33-48.
  - 14- Saligeh, M., Naserzadeh, M., & Ghaffari, A. (2018). Investigation of spring convection loads of northwest Iran using unstable indices (a case study of Tabriz station). *Geography and Planning*, 22(64), 129-147.
  - 15- Faramarzi Fard S, Ghasemi M (2013) Analysis of the relationship between spatial factors and snowy days in Iran, *Journal of Meteorological Organization* 80:3-14.
  - 16- Ghasabfeiz, mostafa., eslami, hossein, 2017, Variations Trend Evaluation of Rainfall Using Mann-Kendall and Linear Regression in Khuzestan Province, *Water Engineering*, N2, pp 121-113.
  - 17- Mohammadi, F., Zarin, A., & Babaeiyan, I. (2015). The ability of the RegCM4 climate model to simulate precipitation in the cold period of Fars. case study: 1990-2010 period. *Journal of the Earth and Space Physics*, 41(3), 511-524.
  - 18- Masodian, S. (2009). Precipitation regions of Iran. *Geography and Development Iranian Journal*, 7(13), 79-91.
- دوره پایه در برخی از ماه‌ها را آشکار ساخت. از دیدگاه فصلی نیز بارش پیش‌بینی شده مدل نسبت به دوره پایه تغییرات کاهشی در فصول بهار و زمستان و تغییرات افزایشی در تابستان و پاییز نشان می‌دهد. نتیجه مهم این مطالعه نه تنها در مقدار بارش، بلکه در جابجایی آن است؛ به‌طوری‌که حرکت بارش به سمت ماه‌های گرم سال با رخداد بارش‌های شدید ملاحظه شد. از این نظر نتایج این مطالعه با نتایج پژوهشی در سایر نقاط جهان مانند مطالعات چن و همکاران (۲۰۲۱) و المزروعی و همکاران (۲۰۲۰) تطابق دارد.

## منابع

- 1- Ansari, Samin., Dehban, Hossein., Zareian, Mohammad Javad., Farokhnia, Ashkan. (2022). Investigation of temperature and precipitation changes in Iran's basins in the next 20 years based on the output of the CMIP6 model. *Iranian Water Research Journal*, 16(1), 11-24.
- 2- Babaeian, I., Karimian, M., Modirian, R., & Mirzaei, E. (2019). Future climate change projection over Iran using CMIP5 data during 2020-2100. *Nivar*, 43(104-105), 62-71.
- 3- Bagherpour M, S. M Seyyedian, A Fathabadi, A Mohammadi (2017) Evaluation of Mann-Kendall Test for Identification of Autocorrelation Series. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 36: 11-21.
- 4- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A., Alinejad, M. H., & Poursaghr, F. (2016). Impact of climate change on precipitation and temperature by taking the uncertainty of models and climate scenarios (case study: Shahrchay basin in Urmia). *Hydrogeomorphology*, 2(7), 107-122.
- 5- Chamani, R., & Azari, M. (2020). Hydrological response to future climate changes in Chehelchay Watershed in Golestan Province.
- 6- Khansalari, Sakineh., Mohamadi, Atefeh. (2023). Projection of extreme precipitation over Iran based on the ensemble approach of CMIP6 models in the near future (2026-2050) with rank-based weighting. 10.22059/JESPHYS.2023.351711.1007476
- 7- Khorshiddoust, Ali Mohammad., Mohammadi, GholamHasan., Aghlmand, Fariba., Hoseini Sadr, Atefeh, 2018, Statistical-descriptive analysis of the relationship between atmospheric parameters

- the annual cycle in the climate change signal. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(9), 2777-2788.
- 29- Chadwick, R., Coppola, E., & Giorgi, F. (2010). Downscaling of GCM parameter outputs to RCM spatial scale using an artificial neural network. *EGUGA*, 2207.
  - 30- Chen, H., Matsushashi, K., Takahashi, K., Fujimori, S., Honjo, K., & Gomi, K. (2020). Adapting global shared socio-economic pathways for national scenarios in Japan. *Sustainability Science*, 1-16.
  - 31- Chen, C. A., Hsu, H. H., & Liang, H. C. Evaluation and Comparison of CMIP6 and CMIP5 Model Performance in Simulating the Seasonal Extreme Precipitation in the Western North Pacific and East Asia. *Weather and Climate Extremes*, 100303.
  - 32- Fowler, H. J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(12), 1547-1578.
  - 33- Frame, B., Lawrence, J., Ausseil, A. G., Reisinger, A., & Daigneault, A. (2018). Adapting global shared socio-economic pathways for national and local scenarios. *Climate Risk Management*, 21, 39-51.
  - 34- Graham, L. P., Andréasson, J., & Carlsson, B. (2007). Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods—a case study on the Lule River basin. *Climatic Change*, 81(1), 293-307.
  - 35- Hussain F, Nabi Gh, Boota M (2015) Rainfall trend analysis by using the mann-kendall test & sen's slope estimates: a case study of district chakwal rain gauge, Barani area, northern Punjab province, Pakistan. *Science International*. 4: 3159-165.
  - 36- <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/>
  - 37- Karim, R., Tan, G., Ayugi, B., Babaousmail, H., & Liu, F. (2020). Evaluation of Historical CMIP6 Model Simulations of Seasonal Mean Temperature over Pakistan during 1970–2014. *Atmosphere*, 11(9), 1005.
  - 38- Kerkhoff, C., Künsch, H. R., & Schär, C. (2014). Assessment of bias assumptions for climate models. *Journal of Climate*, 27(17), 6799-6818.
  - 39- Kim, Y. H., Min, S. K., Zhang, X., Sillmann, J., & Sandstad, M. (2020). Evaluation of the CMIP6 multi-model ensemble for climate extreme indices. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100269.
  - 19- Masoompour Samakosh, J., Miri, M., & Purkamar, F. (2018). Assessment of CMIP5 climate models with observed precipitation in Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 11(4), 40-53.
  - 20- Mansouri, A., Aminnejad, B., & Ahmadi, H. (2018). Investigating the Effect of Climate Change on Inflow Runoff into the Karun-4 Dam Based on IPCC's Fourth and Fifth Report. *The JWSS-Isfahan University of Technology*, 22(2), 345-359.
  - 21- Mirabbasi R, Dinpashoh Y (2013) An analysis of the trend of changes in precipitation in northwestern Iran during the last half-century. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*, 59-73.
  - 22- Mohammadi, Nabi., Sari Sarraf, Behrooz., Rostamzadeh, Hashem. (2023). Projection of precipitation using CMIP6 models until the end of the 21st century in northwest Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10.22067/GEOEH.2022.76646.1223
  - 23- Naseri, Erfan., Massah Boani, Alireza., Saadi, Tawfiq, (2020), Evaluation of the efficiency of GCM models in estimating the average temperature of Alborz province during the statistical period 2015-1985, Sixth Regional Climate Change Conference, Tehran.
  - 24- Zareian, Mohammad Javad., Dehban, Hossein., Gohari, Alireza, (2022), Evaluation of the Accuracy of CMIP6 Models in Estimating the Temperature and Precipitation of Iran Based on a Network Analysis. *Journal of Water and Irrigation Management*, 12 (4), 783-797. DOI: <http://doi.org/10.22059/jwim.2022.345975.1006>
  - 25- Akinsanola, A. A., Kooperman, G. J., Pendergrass, A. G., Hannah, W. M., & Reed, K. A. (2020). Seasonal representation of extreme precipitation indices over the United States in CMIP6 present-day simulations. *Environmental Research Letters*.
  - 26- Almazroui, M., Islam, M. N., Saeed, S., Saeed, F., & Ismail, M. (2020). Future Changes in Climate over the Arabian Peninsula based on CMIP6 Multimodel Simulations. *Earth Systems and Environment*, 1-20.
  - 27- Almazroui, M., Saeed, F., Saeed, S., Islam, M. N., Ismail, M., Klutse, N. A. B., & Siddiqui, M. H. (2020). Projected change in temperature and precipitation over Africa from CMIP6. *Earth Systems and Environment*, 1-21.
  - 28- Bosshard, T., Kotlarski, S., Ewen, T., & Schär, C. (2011). Spectral representation of

- 47- Smitha, p. s., Narasimhan, B., Sudheer, K. P., Annamalai, H, 2017, An improved bias correction method of daily rainfall data using a sliding window technique for climate change impact assessment, *Journal of Hydrology*, S0022-1694(17)30764-3, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.010>.
- 48- Sen PK (1968) Asymptotically efficient tests by the method of n rankings. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*. 30:312-317.
- 49- Srivastava, A., Grotjahn, R., & Ullrich, P. A. (2020). Evaluation of historical CMIP6 model simulations of extreme precipitation over contiguous US regions. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100268.
- 50- Teutschbein, C., & Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456, 12-29.
- 51- Thapa P L. Climate Change and The Agriculture Crisis: Agroecology as a Solution. Published by: Focus on the Global South, India. 2015.
- 52- Udayashankara, T.H., Sadashiva Murthy, B.M., Madhukar, M, 2016, Impact of Climate Change on Rainfall Pattern and Reservoir Level, *Journal of Water Resource Engineering and Management*, ISSN: 2349-4336(online), Volume 3, Issue 1.
- 53- Wehner, M., Gleckler, P., & Lee, J. (2020). Characterization of long period return values of extreme daily temperature and precipitation in the CMIP6 models: Part 1, model evaluation. *Weather and Climate Extremes*, 30, 100283.
- 40- Kocsis T, Kovács-Székely I, Anda A (2020) Homogeneity tests and non-parametric analyses of tendencies in precipitation time series in Keszthely, Western Hungary. *Theoretical and Applied Climatology*. 139: 849-859.
- 41- Mishra, V., Bhatia, U., & Tiwari, A. D. (2020). Bias-corrected climate projections from Coupled Model Intercomparison Project-6 (CMIP6) for South Asia. *arXiv preprint arXiv:2006.12976*.
- 42- Müller, W. A., Jungclaus, J. H., Mauritsen, T., Baehr, J., Bittner, M., Budich, R., ... & Marotzke, J. (2018). A Higher-resolution Version of the Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1. 2-HR). *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10(7), 1383-1413.
- 43- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Vuuren, D. P. V., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482.
- 44- Panda A, Sahu N (2019) Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir, and Koraput districts of Odisha, India. *Atmospheric Science Letters* (20): e932.
- 45- Pedde, S., Harrison, P. A., Holman, I. P., Powney, G. D., Loft, S., Schmucki, R., ... & Bullock, J. M. (2020). Enriching the Shared Socioeconomic Pathways to co-create consistent multi-sector scenarios for the UK. *Science of The Total Environment*, 143172.
- 46- Shrestha, M., Acharya, S. C., & Shrestha, P. K. (2017). Bias correction of climate models for hydrological modeling—are simple methods still useful? *Meteorological Applications*, 24(3), 531-539.